



Processos Químicos Orgânicos e Inorgânicos

Brasília-DF.

Elaboração

Gislaine Patricia de Andrade

Roseli Hiromi Sato

Produção

Equipe Técnica de Avaliação, Revisão Linguística e Editoração

Sumário

APRESENTAÇÃO	5
ORGANIZAÇÃO DO CADERNO DE ESTUDOS E PESQUISA	6
INTRODUÇÃO.....	8
UNIDADE I	
A INDÚSTRIA QUÍMICA E SUAS PECULIARIDADES	9
 CAPÍTULO 1	
A INDÚSTRIA QUÍMICA	9
 CAPÍTULO 2	
A ÁGUA NA INDÚSTRIA QUÍMICA	23
 CAPÍTULO 3	
TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS	34
 UNIDADE II	
PROCESSOS QUÍMICOS INORGÂNICOS	46
 CAPÍTULO 1	
SIDERÚRGICA	46
 CAPÍTULO 2	
CIMENTO	80
 CAPÍTULO 3	
A INDÚSTRIA CLORO-ÁLCALI	86
 UNIDADE III	
PROCESSOS QUÍMICOS ORGÂNICOS	95
 CAPÍTULO 1	
TINTAS	95
 CAPÍTULO 2	
PAPEL E CELULOSE	105
 CAPÍTULO 3	
ÓLEO E GORDURA	111
 CAPÍTULO 4	
SABÕES E DETERGENTES	117

UNIDADE IV

A INDÚSTRIA PETROQUÍMICA E DE OUTROS COMBUSTÍVEIS	122

CAPÍTULO 1

PETRÓLEO E DERIVADOS	122

CAPÍTULO 2

POLÍMEROS E PETROQUÍMICA (ETOXILADOS)	130

CAPÍTULO 3

ÁLCOOL ETÍLICO	136

CAPÍTULO 4

BIOCOMBUSTÍVEIS	141

REFERÊNCIAS	145

Apresentação

Caro aluno

A proposta editorial deste Caderno de Estudos e Pesquisa reúne elementos que se entendem necessários para o desenvolvimento do estudo com segurança e qualidade. Caracteriza-se pela atualidade, dinâmica e pertinência de seu conteúdo, bem como pela interatividade e modernidade de sua estrutura formal, adequadas à metodologia da Educação a Distância – EaD.

Pretende-se, com este material, levá-lo à reflexão e à compreensão da pluralidade dos conhecimentos a serem oferecidos, possibilitando-lhe ampliar conceitos específicos da área e atuar de forma competente e conscienciosa, como convém ao profissional que busca a formação continuada para vencer os desafios que a evolução científico-tecnológica impõe ao mundo contemporâneo.

Elaborou-se a presente publicação com a intenção de torná-la subsídio valioso, de modo a facilitar sua caminhada na trajetória a ser percorrida tanto na vida pessoal quanto na profissional. Utilize-a como instrumento para seu sucesso na carreira.

Conselho Editorial

Organização do Caderno de Estudos e Pesquisa

Para facilitar seu estudo, os conteúdos são organizados em unidades, subdivididas em capítulos, de forma didática, objetiva e coerente. Eles serão abordados por meio de textos básicos, com questões para reflexão, entre outros recursos editoriais que visam tornar sua leitura mais agradável. Ao final, serão indicadas, também, fontes de consulta para aprofundar seus estudos com leituras e pesquisas complementares.

A seguir, apresentamos uma breve descrição dos ícones utilizados na organização dos Cadernos de Estudos e Pesquisa.



Provocação

Textos que buscam instigar o aluno a refletir sobre determinado assunto antes mesmo de iniciar sua leitura ou após algum trecho pertinente para o autor conteudista.



Para refletir

Questões inseridas no decorrer do estudo a fim de que o aluno faça uma pausa e reflita sobre o conteúdo estudado ou temas que o ajudem em seu raciocínio. É importante que ele verifique seus conhecimentos, suas experiências e seus sentimentos. As reflexões são o ponto de partida para a construção de suas conclusões.



Sugestão de estudo complementar

Sugestões de leituras adicionais, filmes e sites para aprofundamento do estudo, discussões em fóruns ou encontros presenciais quando for o caso.



Atenção

Chamadas para alertar detalhes/tópicos importantes que contribuam para a síntese/conclusão do assunto abordado.



Saiba mais

Informações complementares para elucidar a construção das sínteses/conclusões sobre o assunto abordado.



Sintetizando

Trecho que busca resumir informações relevantes do conteúdo, facilitando o entendimento pelo aluno sobre trechos mais complexos.



Para (não) finalizar

Texto integrador, ao final do módulo, que motiva o aluno a continuar a aprendizagem ou estimula ponderações complementares sobre o módulo estudado.

Introdução

Dentre a diversidade de indústrias existentes, pode-se afirmar que a indústria química é majoritariamente responsável por fornecer componentes, matérias-primas, solventes e outros produtos para as demais indústrias.

Ainda, é um dos setores produtivos com maior faturamento no mundo, inclusive no Brasil.

Apesar da importância da indústria química, esta ainda é responsável pela geração de resíduos contaminantes do meio ambiente. Dessa forma, é importante que existam meios de a indústria causar menos impactos ambientais, aumentando tanto sua produtividade quanto devolvendo para a natureza e para a sociedade todos os recursos utilizados.

Neste material, veremos a indústria química e suas peculiaridades, o tratamento residual das águas geradas. Ainda serão apresentados processos químicos inorgânicos e orgânicos utilizados nas diversas cadeias produtivas da indústria química, assim como o funcionamento da indústria petroquímica, da indústria alcooleira e produtora de biodiesel.

Objetivos

- » Conhecer a indústria química e os setores produtivos aos quais ela abrange.
- » Compreender o desempenho econômico que a indústria química gera para o Brasil.
- » Conhecer os principais tipos de águas a serem empregados na indústria química.
- » Conhecer os diversos meios de tratamentos de efluentes industriais.
- » Entender os processos inorgânicos envolvidos na indústria química.
- » Entender os processos orgânicos envolvidos na indústria química.
- » Conhecer e compreender o funcionamento da indústria petroquímica.
- » Conhecer a indústria de biodiesel.

A INDÚSTRIA QUÍMICA E SUAS PECULIARIDADES

UNIDADE I

CAPÍTULO 1

A indústria química

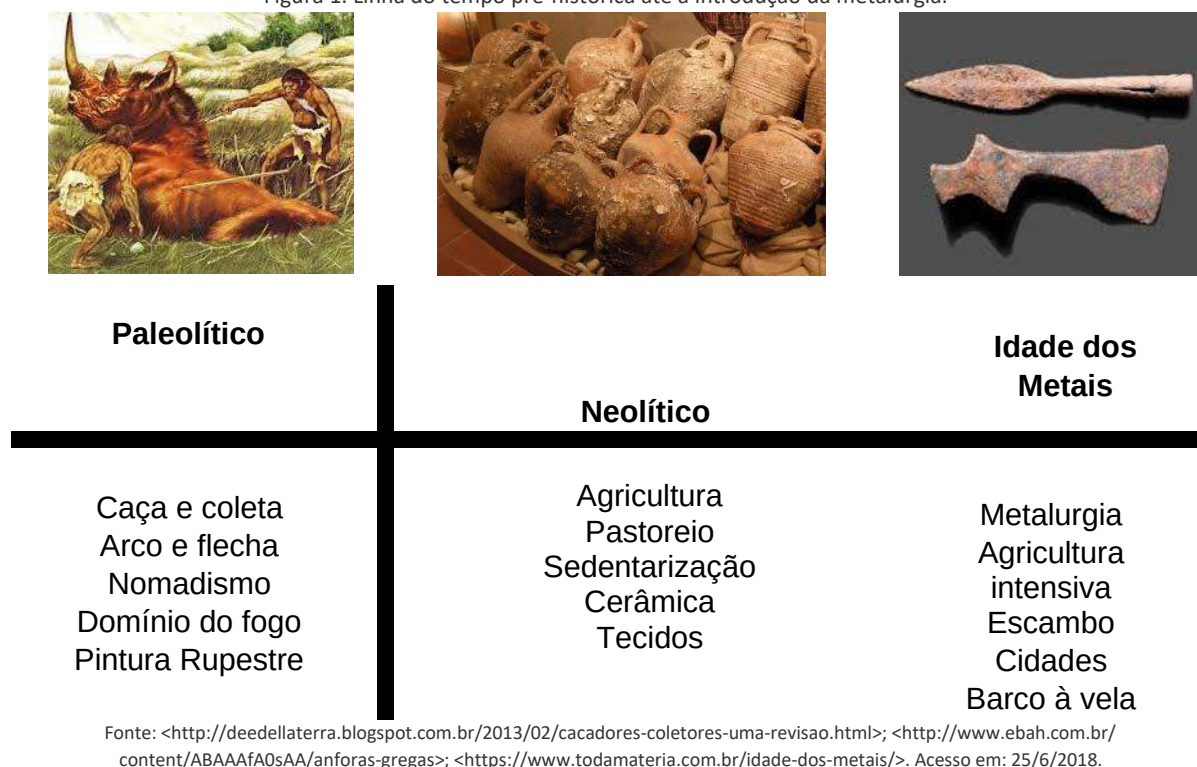
Introdução

Ao longo do tempo, o homem vem evoluindo e, devido essa evolução, viu que era necessário realizar transformações com os produtos oriundos da natureza. Tais transformações foram necessárias justamente para que o ser humano pudesse se adaptar ao seu novo meio.

Com a sedentarização do homem, viu-se que era necessário a fabricação de ferramentas para que os alimentos fossem cultivados, bem como para a agropecuária. O desenvolvimento do sedentarismo levou ao aumento populacional formando-se então as vilas, cidades e outras aglomerações populacionais.

A partir da idade dos metais (compreendida na pré-história), pode-se dizer que os primeiros passos dos processos produtivos foram iniciados. Foi nessa época que a fundição dos metais como ouro, prata e cobre começou a ser realizada para se obter ferramentas, armas e joias.

Figura 1. Linha do tempo pré-histórica até a introdução da metalurgia.



A indústria química

A definição genérica de indústria química pode ser entendida como o setor industrial responsável pela transformação de substâncias presentes na natureza em materiais, suprimentos e produtos utilizados tanto na vida cotidiana como aplicáveis em outros setores e processos industriais.

Devido às divergências causadas em definir com exatidão o que é a indústria química e principalmente por confusões associadas aos setores industriais independentes, como acontece com a indústria petroquímica por exemplo, a Organização das Nações Unidas (ONU) aprovou a classificação internacional incluída a partir da revisão nº 3 da *International Standard Industry Classification* (ISIC) e consolidada na revisão nº 4 (Organização das Nações Unidas, 2008).

Segundo a *International Standard Industry Classification*, a indústria química é denominada “*Manufacture of chemicals and chemical products*” ou **manufatura de químicos e produtos químicos**. A classificação se dá por esta divisão industrial incluir a transformação de matérias-primas orgânicas e inorgânicas por um processo químico e a formação de produtos. Distingue da produção de produtos químicos básicos que constituem o primeiro grupo industrial da produção de produtos

intermediários e finais produzidos por processamento adicional de produtos químicos básicos que compõem as classes restantes da indústria.

Dentro da divisão de manufatura de químicos e produtos químicos, existem as subclasses da indústria química que são destacadas a seguir (Organização das Nações Unidas, 2008):

- » Fabricação de produtos químicos básicos, fertilizantes e compostos nitrogenados, plásticos e borracha sintética em formas primárias.
- » Fabricação de produtos químicos básicos.
- » Fabricação de fertilizantes e compostos nitrogenados.
- » Fabricação de plásticos e borracha sintética em formas primárias.
- » Fabricação de outros produtos químicos não classificados em outra parte.
- » Fabricação de pesticidas e outros produtos agroquímicos.
- » Fabricação de tintas, vernizes e produtos similares, tintas de impressão e mástiques.
- » Fabricação de sabão e detergentes, produtos de limpeza e polimento, perfumes e preparações de toalete.
- » Fabricação de fibras sintéticas ou artificiais.

Fabricação de produtos químicos básicos, fertilizantes e compostos nitrogenados, plásticos e borracha sintética em formas primárias

Este grupo inclui a fabricação de produtos químicos básicos, fertilizantes e compostos nitrogenados utilizados como fertilizantes ou não, a fabricação de plásticos e borrachas sintéticas.

Fabricação de produtos químicos básicos

Esta classe inclui a fabricação de produtos químicos usando processos básicos, como por exemplo, o craqueamento térmico e a destilação. O produto final desse tipo de

processo de fabricação geralmente são elementos químicos separados ou compostos quimicamente separados. Esta classe inclui as seguintes manufaturas:

» Fabricação de gases industriais ou medicinais inorgânicos:

- › Gases elementares.
- › Gases isolantes.
- › Gases refrigerantes.
- › Gases inertes, como o dióxido de carbono.
- › Ar líquido ou comprimido.
- › Gases industriais misturados.

Figura 2. Indústria de gases medicinais e industriais.



Fonte: <<http://diariogaucha.clicrbs.com.br/rs/dia-a-dia/noticia/2017/08/empresa-de-gases-industriais-e-medicinais-buscaestagiarios-no-rs-9873612.html>>. Acesso em: 25/6/2018.

- » Fabricação de corantes e pigmentos na forma básica ou concentrada.
- » Fabricação de elementos químicos.
- » Fabricação de ácidos inorgânicos, exceto ácido nítrico.
- » Fabricação de álcalis, lixívias e outras bases inorgânicas, exceto amônia.
- » Fabricação de outros compostos inorgânicos.

- » Fabricação de produtos químicos orgânicos básicos:
 - › Hidrocarbonetos acíclicos saturados e insaturados.
 - › Hidrocarbonetos cíclicos saturados e insaturados.
 - › Álcoois acíclicos e cíclicos.
 - › Ácidos mono e policarboxílicos, incluindo o ácido acético.
 - › Outros compostos de função oxigenada, incluindo aldeídos, cetonas, quinonas e compostos de função oxigenada dupla ou poli.
 - › Glicerol sintético.
 - › Compostos orgânicos com função azotada, incluindo aminas.
 - › Fermentação de cana de açúcar, milho ou similar para produzir álcool e ésteres.
 - › Outros compostos orgânicos, incluindo produtos de destilação da madeira, como por exemplo, o carvão vegetal, entre outros.
- » Fabricação de água destilada.
- » Fabricação de produtos aromáticos sintéticos.
- » Torração de pirritas de ferro.

Fertilizantes e compostos nitrogenados

Esta classe inclui:

- » Fabricação de fertilizantes:
 - › Fertilizantes heterogêneos, fosfatados ou potássicos, simples ou complexos.
- » Ureia, fosfatos naturais brutos e sais de potássio naturais bruto.
- » Fabricação de produtos nitrogenados associados:
 - › Ácidos nítrico e sulfonítrico, amoníaco, cloreto de amônio, carbonato de amônio, nitritos e nitratos de potássio.

Plásticos e borracha sintética

Esta classe inclui a fabricação de resinas, materiais plásticos e elastômeros termoplásticos não vulcanizáveis, mistura de resinas em base personalizada, assim como resinas sintéticas não personalizadas. Nesta classe, estão contidos os processos de fabricação a seguir:

» Fabricação de plásticos em formas primárias:

- › Polímeros, incluindo os de etileno, propileno, estireno, cloreto de vinilo, acetato de vinilo e acrílicos.
- › Poliamidas.
- › Resinas fenólicas e epóxicas e poliuretanos.
- › Resinas alquídicas e poliéster e poliéters.
- › Silicones.
- › Trocadores iônicos baseados em polímeros.

» Fabricação de borracha sintética em formas primárias:

- › Borracha sintética.
- › Factice (óleo vegetal ou animal insaturado vulcanizado).

Figura 3. Factice branco.



Fonte: <<https://www.indiamart.com/proddetail/white-factice-12495198862.html>>. Acesso em: 25/6/2018.

» Fabricação de misturas de borracha sintética e borracha natural ou gomas do tipo borracha (por exemplo, balata).

Figura 4. Balateira (*Manilkara bitentata*). Árvore da qual é extraído o látex para a produção da balata.



Fonte: <<http://www.mppa.mp.br/index.php?action=Menu.interna&id=6236&class=N>>. Acesso em: 25/6/2018.

Fabricação de outros produtos químicos

Este grupo inclui a fabricação de produtos químicos que não sejam os básicos e fibras sintéticas ou artificiais. Esta classificação inclui uma variedade de produtos, tais como pesticidas, tintas, sabões, produtos de limpeza, perfumes e produtos domissanitários, explosivos e produtos pirotécnicos, produtos químicos para uso fotográfico (incluindo filmes e papel sensibilizado), gelatinas, preparações diagnósticas compostas etc.

Fabricação de pesticidas e outros agroquímicos

Estão incluídos nessa classe:

- » Fabricação de inseticidas, rodenticidas, fungicidas e herbicidas.
- » Fabricação de produtos anti-germinadores e reguladores de crescimento de plantas.
- » Produção de desinfetantes (para uso agrícola e outros).
- » Fabricação de outros produtos agroquímicos.

Fabricação de tintas, vernizes e produtos similares, tintas de impressão e mástiques

Pertencem a esta classe:

- » Produção de tintas e vernizes, esmaltes ou lacas.
- » Fabricação de pigmentos preparados e corantes, opacificantes e cores.

- » Fabricação de esmaltes e esmaltes vitrificáveis, engobes (verniz para cerâmica) e preparações semelhantes.

Figura 5. Engobes.



Fonte: <<http://www.arteprecolombino.com.ar/engobes.htm>>. Acesso em: 25/6/2018.

- » Fabricação de mástiques (resina obtida do lentisco (*Pistacia lentiscus*)).

Figura 6. Mástique (cilindro cinza) aplicado como impermeabilizante.



Fonte: <<http://imperuniao.blogspot.com.br/2011/01/corpo-de-apoio-para-massas-selantes-em.html>>. Acesso em: 25/6/2018.

- » Fabricação de compostos para calefação e enchimento ou revestimento não refratário ou preparações de superfície.
- » Produção de solventes e diluentes orgânicos compostos.

- » Fabricação de removedores de tintas ou vernizes preparados.
- » Fabricação de tinta de impressão.

Fabricação de sabões e detergentes, produtos de limpeza e polimento, perfumes e produtos domissanitários

Esta classe inclui:

- » Produção de agentes orgânicos de superfície.
- » Fabricação de sabão.
- » Fabricação de papel, enchimento, feltro revestidos ou recobertos de sabão ou detergente.
- » Produção de glicerol bruto.
- » Fabricação de preparações tensoativas:
 - › Sabão em pó ou líquido para têxteis.
 - › Preparações para lava-louça.
 - › Amaciantes têxteis.

Fabricação de produtos de limpeza e polimento:

- › Preparações para perfumar ou desodorizar salas.
- › Ceras artificiais e ceras preparadas.
- › Polimentos e cremes para couro.
- › Polimentos e cremes para madeira.
- › Polimentos para carroçaria, vidro e metal.
- › Pastas e pós abrasivos, incluindo papel e enchimento.
- » Fabricação de perfumaria e de produtos domissanitários:
 - › Perfumes e águas sanitárias.
 - › Preparações de beleza e maquiagem.
 - › Filtros solares e preparações bronzeadoras.
 - › Preparações para manicuros e pedicuros.
 - › Xampus, lacas para cabelo, ondulações e alisamentos.
 - › Dentifrícios e preparações para higiene bucal, incluindo preparações fixadoras de próteses dentárias.
 - › Preparações para barbear, incluindo preparações pré-barba e pós-barba.
 - › Desodorantes e sais de banho.
 - › Depilatórios.

Fabricação de outros produtos químicos não classificados em outra parte

Esta classificação inclui os produtos:

- » Fabricação de pós propelentes.
- » Fabricação de explosivos e produtos pirotécnicos, incluindo tampas de percussão, detonadores, sinalizadores etc.

- »
- » Produção de gelatina e seus derivados, colas e adesivos preparados, incluindo colas e adesivos à base de borracha.
- » Produção de extratos de produtos aromáticos naturais.
- » Fabricação de resinoides.
- » Produção de águas destiladas aromáticas.
- » Manufatura de misturas de produtos odoríferos para fabricação de perfumes ou alimentos.
- » Produção de chapas fotográficas, películas, papéis sensibilizados e outros materiais sensibilizados.
- » Fabricação de preparações químicas para usos fotográficos.
- » Fabricação de outros produtos químicos:
 - › Peptonas, derivados de peptona, outras substâncias proteicas e seus derivados.
 - › Óleos essenciais.
 - › Óleos e gorduras quimicamente modificados.
 - › Materiais utilizados no acabamento de têxteis e couro.
 - › Pós e pastas utilizados em soldagem ou brasagem.
 - › Substâncias usadas para decapagem de metal.
 - › Aditivos preparados para cimentos.
 - › Carvão ativado, aditivos de óleo lubrificante, aceleradores de borracha e catalisadores.
 - › Outros produtos químicos para uso industrial.
 - › Preparações antibatidas, preparações anticongelantes.
 - › Reagentes de diagnóstico ou de laboratório.

Fabricação de fibras sintéticas ou artificiais

Esta classe inclui:

- » Fabricação de cabos e filamentos sintéticos ou artificiais.
- » Fabricação de fibras sintéticas ou artificiais descontínuas, não cardadas, não penteadas nem transformadas de outro modo para fiação.
Produção de fios de filamentos sintéticos ou artificiais, incluindo os fios de alta tenacidade.
- » Fabricação de monofilamentos sintéticos ou artificiais ou de tiras.

A indústria química no Brasil

No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) definiu a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) inserindo e reclassificando, de acordo com a classificação da ISIC, as atividades da indústria química (CNAE, 2006).

A classificação brasileira foi publicada no Diário Oficial da União, em 5 de setembro de 2006, conforme segue:

Fabricação de produtos químicos inorgânicos

- » Fabricação de cloro e álcalis.
- » Fabricação de intermediários para fertilizantes.
- » Fabricação de adubos e fertilizantes.
- » Fabricação de gases industriais.
- » Fabricação de produtos químicos inorgânicos não especificados anteriormente.

Fabricação de produtos químicos orgânicos

- » Fabricação de produtos petroquímicos básicos.
- » Fabricação de intermediários para plastificantes, resinas e fibras.
- » Fabricação de produtos químicos orgânicos não especificados anteriormente.

»

Fabricação de resinas e elastômeros

- » Fabricação de resinas termoplásticas.
- » Fabricação de resinas termofixas.
- » Fabricação de elastômeros.

Fabricação de fibras artificiais e sintéticas » Fabricação de

fibras artificiais e sintéticas.

Fabricação de defensivos agrícolas e desinfetantes domissanitários

- » Fabricação de defensivos agrícolas.
- » Fabricação de desinfetantes domissanitários.

Fabricação de sabões, detergentes, produtos de limpeza, cosméticos, produtos de perfumaria e higiene pessoal

- » Fabricação de sabões e detergentes sintéticos.
- » Fabricação de produtos de limpeza e polimento.
- » Fabricação de cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal.

Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes, lacas e produtos afins

- » Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes e lacas.
- » Fabricação de tintas de impressão.
- » Fabricação de impermeabilizantes, solventes e produtos afins.

Fabricação de produtos e preparados químicos diversos

- » Fabricação de adesivos e selantes.
- » Fabricação de explosivos.
- » Fabricação de aditivos de uso industrial.
- » Fabricação de catalisadores.

Fabricação de produtos químicos não especificados anteriormente.

Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos

Fabricação de produtos farmoquímicos (substâncias e produtos químicos empregados na produção de medicamentos)

- » Fabricação de produtos farmoquímicos.

Fabricação de produtos farmacêuticos » Fabricação de medicamentos para uso humano.

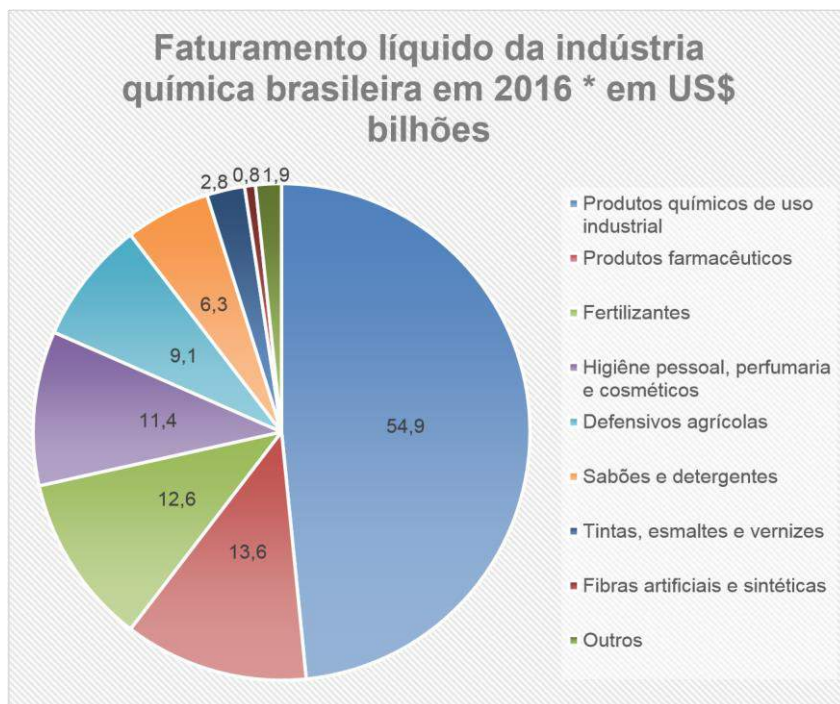
- » Fabricação de medicamentos para uso veterinário.
- » Fabricação de preparações farmacêuticas.

Desempenho da indústria química no Brasil

Em 2016, a indústria química brasileira faturou cerca de US\$113,5 bilhões (ABIQUIM, 2016). A figura a seguir mostra o gráfico do faturamento líquido por segmento da indústria química.

Figura 7. Gráfico do faturamento líquido por segmento da indústria química em bilhões de dólares, no ano de 2016.

»



Fonte: Abiquim (2016).

Analisando-se o gráfico de faturamento, observa-se que o maior montante é proveniente da indústria de produtos químicos para o uso industrial. Isto se dá principalmente por este segmento ser o responsável pelo fornecimento das matérias-primas iniciais para o restante das indústrias químicas e outros segmentos, como a indústria alimentícia, por exemplo.



A Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM, em seu site, fornece uma lista completa com todos os produtos químicos produzidos no Brasil. Para ter acesso ao catálogo é necessário acessar o link <[http://canais.abiquim.org.br/ braz_new/](http://canais.abiquim.org.br/braz_new/)>.

CAPÍTULO 2

A água na indústria química

Água para fins industriais

A água que é utilizada para fins industriais necessita de pureza adequada para cada fim no qual será aplicada e passa por diferentes processos de tratamentos para a sua obtenção. Ressalta-se que a água para fins industriais, muitas vezes, possui pureza mais elevada do que a água potável, como no caso da aplicação em indústrias farmacêuticas.

Dentro dos processos industriais, a água pode ser aplicada de algumas formas. Dentre elas, destacam-se a aplicação como matéria-prima, para obtenção de energia, como fluido de aquecimento e resfriamento, transporte de contaminantes e fluído auxiliar.

Água como matéria-prima

É empregada nas indústrias alimentícias, de bebidas e de química fina, por exemplo, sendo incorporada ao produto final. O nível de pureza para aplicação como matéria-prima vai desde aquelas aceitas para o consumo humano, quanto com qualidade superior.

Água para geração de energia

Este tipo de água é utilizada como encontrada na natureza, geralmente as águas de rios, lagos e oceanos. Observa-se apenas os índices como detritos e substâncias corrosivas para que não ocorra o dano do equipamento gerador de energia.

Água como fluído de resfriamento e aquecimento

A água como fluído de resfriamento e aquecimento é utilizada para resfriar ou aquecer equipamentos. Este tipo de água necessita seguir os parâmetros para água limpa.

Água para transporte de contaminantes

Este tipo de água é utilizado na lavagem de equipamentos e instalações. Quando aplicada para a limpeza de equipamentos, é necessário que esta água tenha um elevado grau de pureza pois alguns processos industriais não toleram a presença de outras substâncias químicas ou micro-organismos.

Água para fluído auxiliar

A água para fluído auxiliar é utilizada na preparação de soluções, reagentes e em lavagens de embalagens. O grau de pureza deste tipo de água irá depender do processo produtivo ao qual será empregada.

Tipos de águas aplicadas à indústria química

Existem basicamente cinco tipos de águas utilizadas na indústria química, farmacêutica e laboratórios: água potável, água reagente, água purificada, água para injetáveis e água ultrapura.

Água potável

A água potável é obtida a partir do tratamento de águas oriundas de mananciais. Este tipo de água segue as especificações da resolução nº 357, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, de 17 de março de 2005.

Quadro 1. Parâmetros de potabilidade da água segundo resolução do CONAMA nº 357.

Parâmetros	Unidade	Valor limite
pH	-	6,0 – 9,0
Alcalinidade (CaCO ₃)	ppm	400,0
Condutividade	μS/cm	50 – 1500
Ferro	ppm	0,3
Manganês	ppm	0,1
Cloreto	ppm	250,0
Sódio	Não definido	Não definido
Potássio	ppm	0,17
Sulfatos	ppm	250,0
O ₂ dissolvido	ppm	6,0
Dureza total (ppm)	ppm CaCO ₃	500,0

Fonte: Ministério do meio ambiente (2005).

Água reagente

Este tipo de água é produzido a partir da água potável e esta passa pelos processos de filtração e destilação. É empregada na limpeza de equipamentos e materiais.

Quadro 2. Especificações para a água grau reagente.

Parâmetro	Tipo I	Tipo II	Tipo III

Bactérias (UFC/mL)	≤ 10	≤ 1000	Não
pH	Não	Não	5,0 – 8,0
Resistividade à 25 °C (M Ω .cm)	≥ 10	≥ 1	$\geq 0,1$
Condutividade à 25 °C (μ S/cm)	$\leq 0,1$	$\leq 1,0$	≤ 10
SiO ₂ (mg/L)	$\leq 0,05$	$\leq 0,1$	$\leq 1,0$
Sólidos totais (mg/L)	$\leq 0,1$	≤ 1	≤ 5
Carbono orgânico oxidável total	$\leq 0,05$	$\leq 0,2$	≤ 1

Fonte: Breda (2001).

As subdivisões em tipo I, tipo II e tipo III estão associadas à aplicação deste tipo de água sendo a I como o maior nível de pureza, a II com nível intermediário, na qual há a tolerância de níveis de micro-organismos, e a tipo III utilizada na limpeza.

Água purificada

Pode ser produzida a partir da água potável ou da água reagente, passando pelos processos de múltipla destilação, osmose reversa e ultrafiltração. É usada para o preparo de soluções e na fabricação de medicamentos e cosméticos.

Quadro 3. Especificações para água purificada.

Parâmetro	
Bactérias (UFC/mL)	≤ 100
Endotoxinas (EU/mL)	$< 0,25$
Resistividade à 25 °C (MW.cm-1)	$> 1,0$
Condutividade à 25 °C (mS/cm)	0,1 – 1,3
Carbono orgânico oxidável total (mg/L)	$\leq 0,05$

Fonte: ANVISA (2017).

Água para injetáveis

Este tipo de água possui uso muito específico. O controle químico e microbiológico é bastante rigoroso sendo controlado os níveis de endotoxinas, partículas e esterilidade. É utilizada tanto na fabricação de produtos injetáveis e parenterais como na limpeza dos equipamentos de fabricação desses produtos.

Quadro 4. Especificações para água para injetáveis.

Parâmetro	
Bactérias (UFC/100mL)	

Endotoxinas (EU/mL)	≤ 10
	$< 0,25$

Fonte: ANVISA (2017).

Água ultrapura

A água ultrapura é utilizada principalmente em ensaios laboratoriais, nos quais há a necessidade de mínima interferência e máxima precisão e exatidão dos resultados. A obtenção deste tipo de água é bastante custosa, sendo praticamente nula sua utilização nos processos industriais.

Quadro 5. Especificações para água purificada.

Parâmetro	
Bactérias (UFC/100mL)	≤ 100
Resistividade à 25 °C (MΩ.cm)	$> 18,0$
Condutividade à 25 °C (μS/cm)	0,055 – 0,1
Carbono orgânico oxidável total (mg/L)	$\leq 0,05$

Fonte: ANVISA (2017).

Tipos de tratamentos da água para fins industriais

Existem tratamentos específicos para cada tipo de uso da água dentro da indústria química. Dependendo do setor a ser empregada, é necessário que esta água tenha menor ou maior grau de pureza.

Dentre os tratamentos a serem realizados, estão o abrandamento, a desmineralização por troca iônica, a osmose reversa e ainda a inserção de componentes como os inibidores de corrosão.

Abrandamento

O sistema de abrandamento é utilizado para remover, principalmente, os sais de cálcio e magnésio que conferem dureza à água.

A presença desses sais pode causar danos à equipamentos pela sua deposição, principalmente em tubulações. Além disso, necessita-se de uso excessivo de detergentes

para a limpeza, já que esses metais reagem com os detergentes, formando quelatos, diminuindo seu poder de limpeza.

Figura 8. Tubulação com incrustação proveniente da água dura.



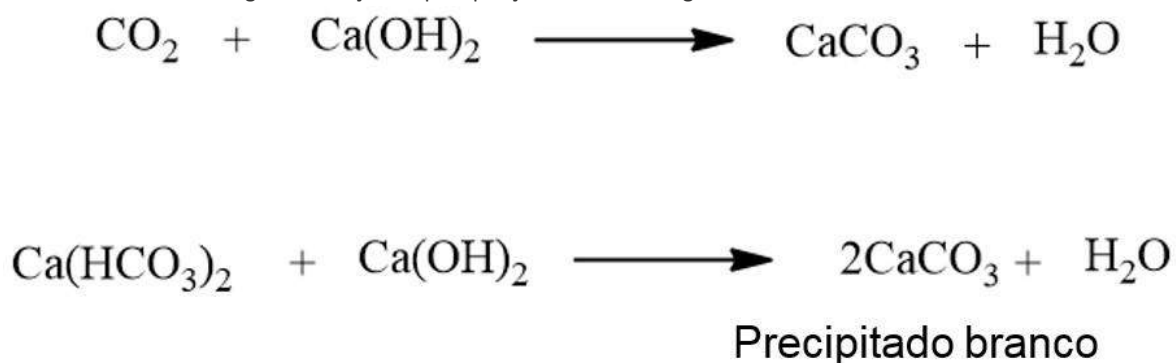
Fonte: <<http://acquality.com.br/blog/tubulacoes-antigas/>>. Acesso em: 25/6/2018.

Alguns métodos são utilizados para o abrandamento. Dentre eles, destacam-se a precipitação química, troca catiônica e nanofiltração.

a. Precipitação química – a precipitação química é utilizada para águas com dureza elevada. Além de eliminar os sais de cálcio e magnésio, é capaz de precipitar contaminantes como metais pesados e arsênio (GAUTO; ROSA, 2011).

A reação de precipitação mais empregada é aquela que utiliza cal virgem (CaO). A cal adicionada reage com o CO₂ dissolvido, formando o precipitado de CaCO₃ (carbonato de cálcio). Em seguida, a cal reage com o bicarbonato de cálcio, Ca(HCO₃)₂ formando o carbonato de cálcio, que pode ser removido por filtração simples.

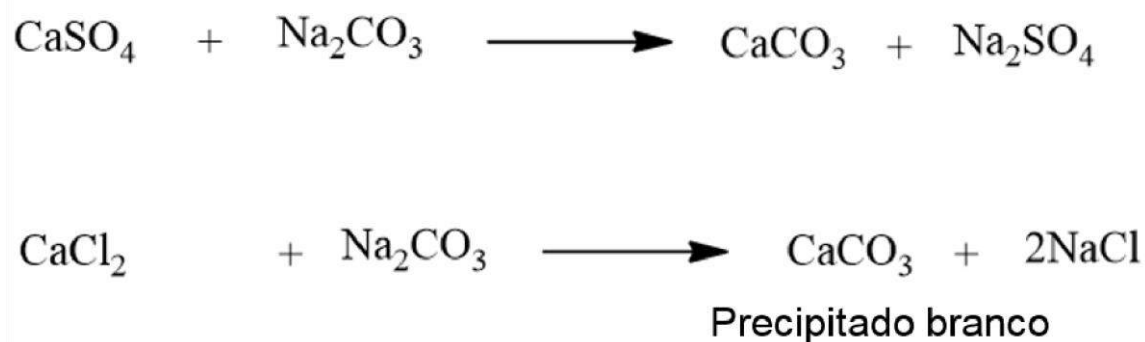
Figura 9. Reação de precipitação entre a cal virgem e o bicarbonato de cálcio.



Fonte: própria autoria.

Para a remoção de não carbonatos (sulfatos e cloretos), é necessário primeiramente a adição de carbonato de cálcio (conhecido como barrilha leve) para a precipitação.

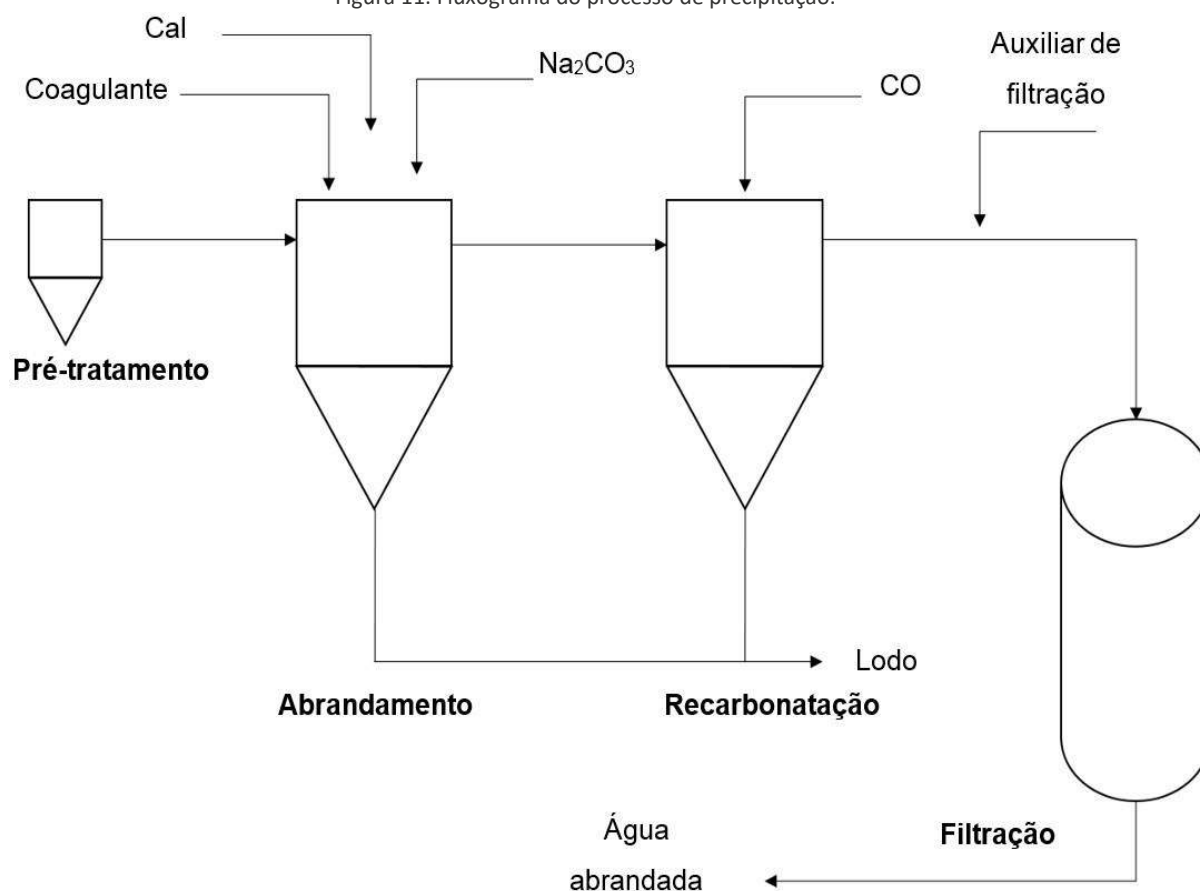
Figura 10. Reação de precipitação na presença de sulfatos.



Fonte: própria autoria.

O esquema do processo de precipitação química pode ser observado na figura 11, a seguir:

Figura 11. Fluxograma do processo de precipitação.

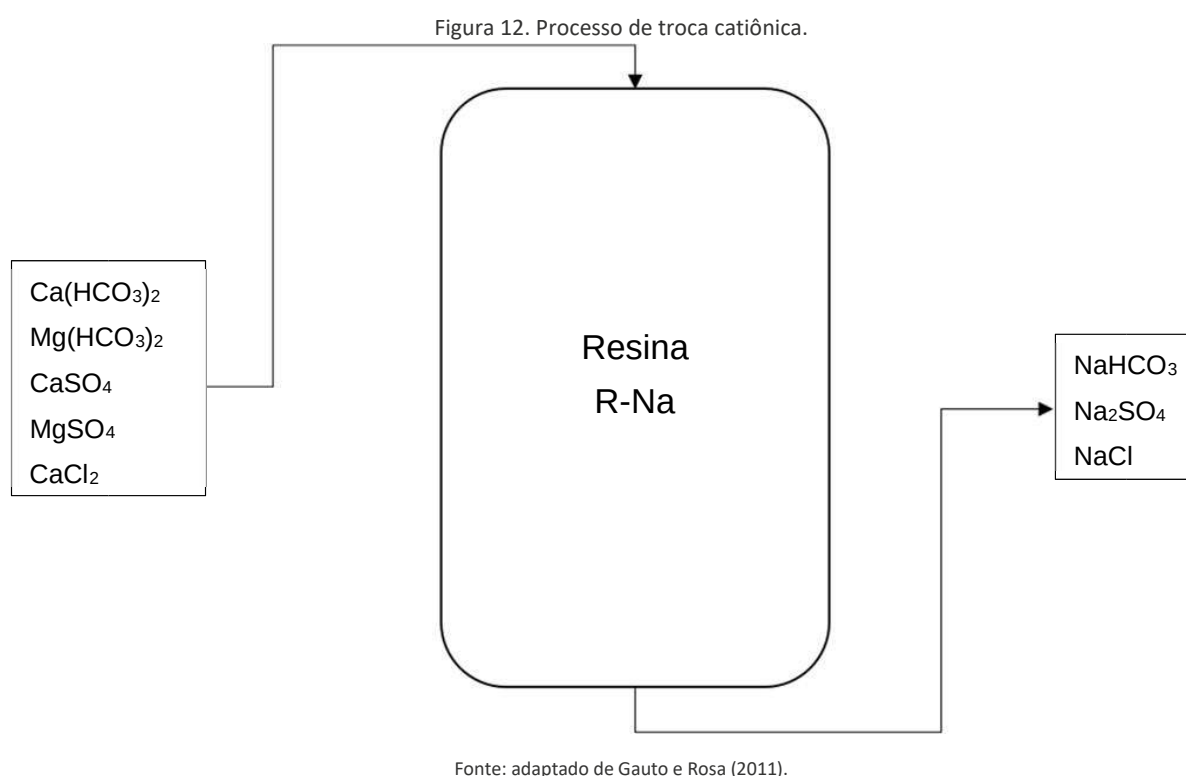


Fonte: adaptado de Gauto e Rosa (2011).

b. Troca catiônica – o processo por troca catiônica é mais utilizado para águas com dureza mais baixa. Possui boa eficiência na remoção de íons responsáveis pela dureza, com a possibilidade de regeneração das resinas de troca.

Este tipo de processo envolve a troca entre íons móveis de um sólido por íons de mesma carga de uma solução.

As desvantagens deste processo são a necessidade de pré-tratamento da água e a regeneração diária da resina.



c. Nanofiltração – na nanofiltração, utiliza-se membranas poliméricas, com poros de diâmetro entre 0,0005 a 0,005 µm como meio filtrante, capazes de reter os íons causadores da dureza da água. O processo de nanofiltração é bastante eficiente, não necessitando de produtos químicos. Sua desvantagem principal é a necessidade de pré-tratamento da água e elevado custo.

Desmineralização por troca iônica

O processo de desmineralização por troca iônica constitui na remoção de minerais dissolvidos na **água** utilizando resinas de troca iônica (componentes orgânicos sintéticos) ou por zeólitas (minerais com estrutura porosa).

Figura 13. Zeólita.



Fonte: <<https://www.saludconsultas.com/pt/las-zeolitas-son-realmente-seguras-y-eficaces/17666>>. Acesso em: 26/6/2018.

Figura 14. Resina de troca iônica.



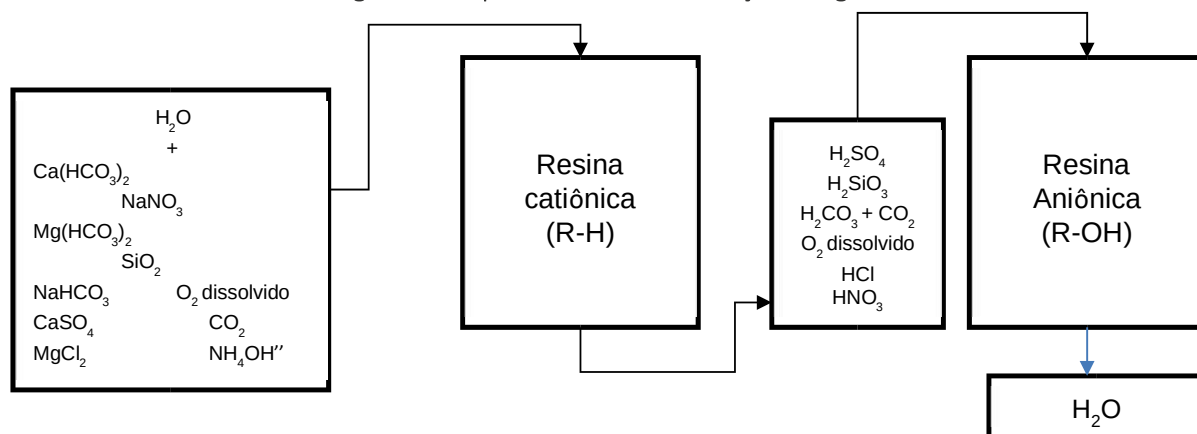
Fonte: <<http://www.naturaltec.com.br/resina-de-troca-ionica/>>. Acesso em: 26/6/2018.

No processo de desmineralização por troca iônica, a substância que deve ser removida da água necessariamente precisa ser ionizável. Compostos orgânicos, por exemplo, não podem ser removido por esse sistema pois não são capazes de se ionizar. Na etapa de desmineralização, praticamente todos os íons são removidos.

O processo mais conhecido de desmineralização é o sistema de deionização, no qual a água passa por um único leito composto por resinas catiônicas e aniônicas.

A ordem de passagem da água pelo sistema é primeiramente pelas resinas catiônicas, pois estas são mais resistentes quimicamente e posteriormente pelas resinas aniônicas.

Figura 15. Esquema de desmineralização da água.



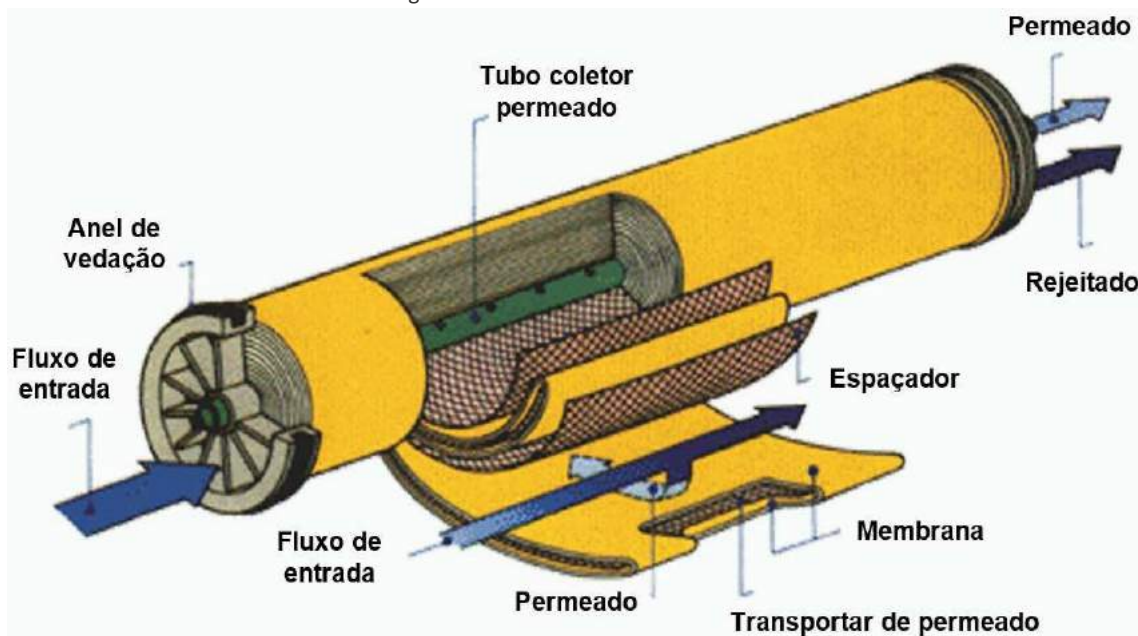
Fonte: adaptado de Gauto e Rosa (2011).

Desmineralização por osmose reversa

A desmineralização por osmose reversa utiliza-se de membranas semipermeáveis. Neste processo, é requerido uma elevada pressão para que se reverta a osmose direta.

As membranas da osmose reversa são montadas de uma forma espiral cilíndrica com o objetivo de aumentar a área disponível para a captação de íons.

Figura 16. Membrana de osmose reversa.



Fonte: <<http://www.aquabios.pt/osmoseinversa>>. Acesso em: 26/6/2018.

O funcionamento da osmose reversa se dá pela pressão exercida pela água através das membranas, forçando-a a entrar por um lado do cilindro contendo a camada de membrana a ser permeada, sendo coletada na outra extremidade do cilindro.

A água que passará pela osmose reversa, necessariamente, precisa passar por filtração em carvão ativado para eliminar materiais em suspensão e o cloro.

A seguir, é apresentado um quadro comparativo entre os processos de troca iônica e osmose reversa.

Quadro 6. Comparativo entre os processos utilizando resinas de troca iônica e membranas de osmose reversa.

Parâmetro	Resinas de troca iônica	Membranas de osmose reversa
Salinidade	Indicada para até 60 ppm	Indicada para valores acima de 80 ppm
Cloro	Tolera pequenas concentrações	Controle rigoroso
Sólidos suspensos	Clarificação convencional basta	Requer micro/ultrafiltração
Deposição de microrganismos	Monitorar o tratamento convencional com cloro	Sensíveis ao cloro, requer biocidas não oxidantes
Frequência de regeneração	Diária	1 a 3 meses
Geração de efluentes	Elevado devido ao ciclo de regeneração	Reduzido em carga química, embora o volume de descarte aproveitável seja elevado
Consumo KW/h	Moderado	Elevado

Fonte: Dalmolin (2018).

Inibidores de corrosão

Inibidores de corrosão são substâncias adicionadas à água desmineralizada para impedir a formação de células eletroquímicas e, consequentemente, o fenômeno da corrosão.

Os inibidores de corrosão podem ser utilizados nos esquemas preventivo ou curativo. O esquema preventivo protege contra a corrosão antes que esta se inicie. Já o esquema curativo aplica-se ao se detectar os danos da corrosão.

Os inibidores fornecem proteção anódica e catódica, proteção por meio de inibição e por recobrimento superficial.

Mecanismo de funcionamento de um inibidor

1. O inibidor adsorve sobre uma superfície metálica.

2. Este provoca a formação de uma película de óxido protetor do metal base.
3. O inibidor reage com um componente potencialmente corrosivo presente no meio aquoso.

Exemplos de inibidores

- » **Inibidor anódico:** nitrito de sódio, oxida o ferro formando uma película de Fe_2O_3 .
- » **Inibidor catódico:** sulfato de zinco, magnésio e níquel. A formação de hidróxidos insolúveis cessa o processo corrosivo.
- » **Inibidor de adsorção:** coloides, sabões de metais pesados, aldeídos, aminas, compostos heterocíclicos nitrogenados e ureia.

CAPÍTULO 3

Tratamento de efluentes industriais

Introdução

A atividade industrial afeta diretamente a qualidade das águas por meio do despejo direto ou pela própria implementação industrial, que altera o meio ambiente.

Dentro dos processos produtivos, a água pode ser utilizada de diversas formas, como na lavagem de equipamentos e instalações, incorporada aos produtos fabricados, nos sistemas de resfriamento de caldeiras e geração de vapor, e nos esgotos produzidos pelo uso dos funcionários. Os efluentes líquidos são, portanto, gerados pelos resíduos dos processos de produção.

Os efluentes líquidos são formados por poluentes característicos aos processos produtivos nos quais foram gerados e necessitam de tratamentos específicos para serem despejados no meio ambiente.

Definição de efluente industrial

Efluente industrial é o despejo líquido gerado nas etapas de um determinado processo produtivo, ou seja, é toda a água que, após utilizada em uma indústria, é descartada.

De acordo com a norma brasileira da ABNT – NBR 9800/1987, os efluentes industriais são “despejos líquidos provenientes das áreas de processamento industrial, incluindo os originados nos processos de produção, as águas de lavagem de operação de limpeza e outras fontes, que comprovadamente apresentem poluição por produtos utilizados ou produzidos no estabelecimento industrial” (ABNT, 1987).

Sabe-se que, historicamente, o desenvolvimento urbano e industrial se deu ao longo de rios e outras fontes aquíferas justamente pela facilidade de captação de água. Como consequência, as fontes de águas, principalmente os rios, tornaram-se também aceptores de dejetos pela mesma facilidade de localização. Devido ao aumento da população mundial e consequente aumento das atividades industriais, as fontes de águas como rios, riachos, lagoas e mares recebem cada vez mais poluentes oriundos da atividade humana.

O que é poluição hídrica?

A poluição hídrica pode ser entendida como qualquer alteração física, química ou biológica da qualidade de um corpo hídrico, ultrapassando os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes, conforme seu uso (GIORDANO, 2004). Todos os anos, são despejados nos corpos hídricos milhões de toneladas de compostos orgânicos sintéticos não biodegradáveis, metais pesados como chumbo, mercúrio, arsênio, cádmio, zinco e cobre, entre outros, e contaminantes biológicos como bactérias, vírus e protozoários.

Os países desenvolvidos diminuíram em cerca de 70-90% do lançamento de efluentes industriais, porém, menos de 30% dos países em desenvolvimento tratam seus efluentes antes da eliminação para o meio ambiente (TOMITA, 2014).

Figura 17. Poluição gerada pelo despejo inadequado de resíduos industriais.



Fonte: <<http://brasilecola.uol.com.br/biologia/poluicao-aguas.htm>>. Acesso em: 26/6/2018.

Características dos poluentes industriais

Os poluentes industriais possuem características similares às suas matérias-primas e aos processos industriais, sendo que a concentração de poluentes pode ser determinada pelas perdas no processo ou pelo consumo de água.

A poluição térmica ocorre pela perda de calor nos processos de resfriamento e são uma importante fonte de poluição dos corpos hídricos. O aumento da temperatura, por exemplo, é responsável pela alteração da flora e fauna da região no qual este efluente esteja sendo despejado.

A alteração das características sensoriais, como cor e odor, também é parâmetro indicativo do despejo inadequado dos efluentes. O odor pode indicar a ocorrência de

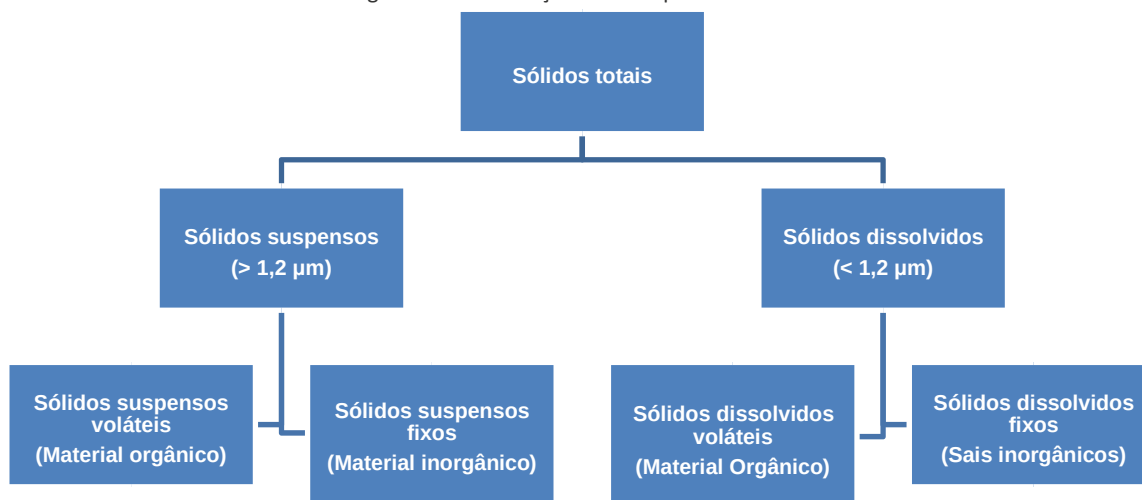
substâncias orgânicas e inorgânicas devido a volatilização de gases, como o gás sulfídrico, com forte odor de ovo podre; ou ainda pode haver presença de aromas, provenientes de indústrias cosméticas e farmacêuticas e solventes orgânicos.

O parâmetro cor também é considerado, sendo indicativo de liberação de corantes naturais ou artificiais provenientes das indústrias de tintas ou coloidais, oriundo da indústria de papel e celulose.

Poluentes sólidos

Os sólidos são poluentes compostos por substâncias dissolvidas ou em suspensão, com partículas com diâmetro inferior a $1,2\ \mu\text{m}$. Podem ser subdivididos em sólidos coloidais e sedimentáveis/flutuantes. Os sólidos coloidais são aqueles mantidos em suspensão devido ao seu baixo diâmetro e pela camada de solvatação que impede o crescimento dessas partículas (GIORDANO, 2004). Os poluentes sólidos podem ser compostos por matéria orgânica ou inorgânica.

Figura 18. Classificação dos compostos sólidos.



Fonte: própria autoria.

Poluentes sólidos compostos por matéria orgânica

A matéria orgânica é medida pela **demanda bioquímica de oxigênio (DBO)** e **demanda química de oxigênio (DQO)**. Na DBO, é medida a quantidade de oxigênio necessária para que os microrganismos consigam degradar a matéria orgânica, enquanto que na DQO, é medida a quantidade de oxigênio necessária para oxidar quimicamente a matéria orgânica.

Os detergentes fazem parte da matéria orgânica e são utilizados industrialmente na limpeza de equipamentos e instalações, além do seu uso sanitário.

As substâncias fenólicas são oriundas principalmente de resinas e desinfetantes, porém, podem aparecer como parte integrante de efluentes específicos como os da indústria de papel e celulose.

Já os óleos e graxas são originários de praticamente todas as indústrias, vindo de equipamentos que utilizam óleos hidráulicos, oficinas mecânicas e matérias-primas com composição oleosa.

Poluentes sólidos compostos por matéria inorgânica

A matéria inorgânica é composta por sais, óxidos, hidróxidos e ácidos.

Os sais inertes são compostos principalmente de sulfatos e sulfetos, nitratos e nitritos e sais de amônia.

O nitrogênio e o fósforo, provenientes tanto dos esgotos sanitários quanto dos efluentes industriais, são responsáveis pela eutrofização dos corpos receptores.

Os principais metais que podem contaminar as águas são o alumínio, cobre, cromo, chumbo, estanho, níquel, mercúrio, vanádio e zinco.

Tratamento de efluentes industriais

O tratamento de efluentes industriais segue 4 etapas, sendo elas: o tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário. Cada etapa tem o objetivo da preparação e do condicionamento para a etapa posterior.

Tratamento preliminar

O tratamento preliminar tem como objetivo evitar a obstrução e os danos aos equipamentos de tratamento de efluentes. Esta etapa reduz os sólidos grosseiros em suspensão, pelo uso de grades, peneiras ou caixas de retenção de areia. Além disso, o efluente é tratado para que ocorra o ajuste de pH.

1. **Gradeamento:** é capaz de remover sólidos grosseiros, por meio de limpeza manual ou mecanizada. O espaçamento entre as barras das grades varia entre 0,5 mm a 2 cm.

Figura 19. Sistema de gradeamento.



Fonte: <http://www.laifi.com/laifi.php?id_laifi=7299&idC=87814#>. Acesso em: 26/6/2018.

2. **Peneiramento:** no peneiramento, são removidos sólidos com diâmetros superiores a 1 mm, capazes de causar entupimento nos equipamentos. As peneiras mais utilizadas possuem malhas com espaçamento variando entre 0,5 mm a 2 mm.

Figura 20. Malha para o processo de peneiramento.



Fonte: <<http://www.hidrosul.com.br/produto/peneira-estatica>>. Acesso em: 26/6/2018.

3. **Caixas de areia:** nas caixas de areia, a remoção de partículas é feita pela sedimentação. Os grãos de areia sedimentam devido ao seu tamanho de partícula e vão para o fundo do tanque, enquanto que a matéria orgânica fica em suspensão.

Figura 21. Caixa de areia.



Fonte: <<http://www.caern.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=12037&ACT=null&PAGE=0&PARM=null&LBL=null>>.
Acesso em: 26/6/2018.

Tratamento primário

No tratamento primário, cerca de 40 a 70% de sólidos suspensos e materiais flotantes são removidos por técnicas como sedimentação, coagulação/floculação, flotação e precipitação química.

1. **Sedimentação:** a sedimentação é uma etapa de clarificação, aplicada conforme a necessidade do efluente. Nela, ocorre a formação de lodos orgânicos, que são rapidamente removidos para reduzir a anaerobiose e consequente formação de gases.

Figura 22. Tanque de sedimentação.



Fonte: <<https://iesmunoztorrero.educarex.es/web/aguaserena/buey/depuradora/depuradora.html>>. Acesso em: 26/6/2018.

2. **Filtração:** é o processo de passagem da mistura de sólidos e líquidos por um filtro que é capaz de reter os sólidos em suspensão e permite a passagem da fase líquida.

Figura 23. Tanque de filtração lenta.



Fonte: <<http://blog.educare.bio.br/wordpress?tag=filtracao-lenta>>.

Tratamento secundário

O tratamento secundário ou biológico utiliza tanto micro-organismos aeróbios quanto anaeróbios, que são capazes de degradar a matéria orgânica presente. Desse processo obtém-se gases, como o biogás, sólidos inorgânicos e material biológico sedimentável.

No tratamento secundário, são utilizadas as técnicas de lodo ativado, lagoa aerada, lagoa de estabilização, filtros biológicos e digestores anaeróbios.

A partir do tratamento secundário já é possível o descarte do efluente, por já possuir padrões sanitários mínimos requeridos pela legislação.

1. **Lagoas aeradas:** neste tipo de tratamento, a aeração é mantida de forma que a biomassa se mantenha na forma líquida e os micro-organismos possam atuar de forma homogênea.

Figura 24. Lagoa aerada.



Fonte: <<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/26/estacoes-compactas-280963-1.aspx>>. Acesso em: 26/6/2018.

2. **Lagoas aeradas facultativas:** neste tipo de lagoa, ocorre a formação de suspensão de biomassa e a sedimentação. As bactérias aeróbias

atuam na suspensão enquanto que as bactérias anaeróbias irão atuar no sedimento.

Figura 25. Lagoas aeradas facultativas.



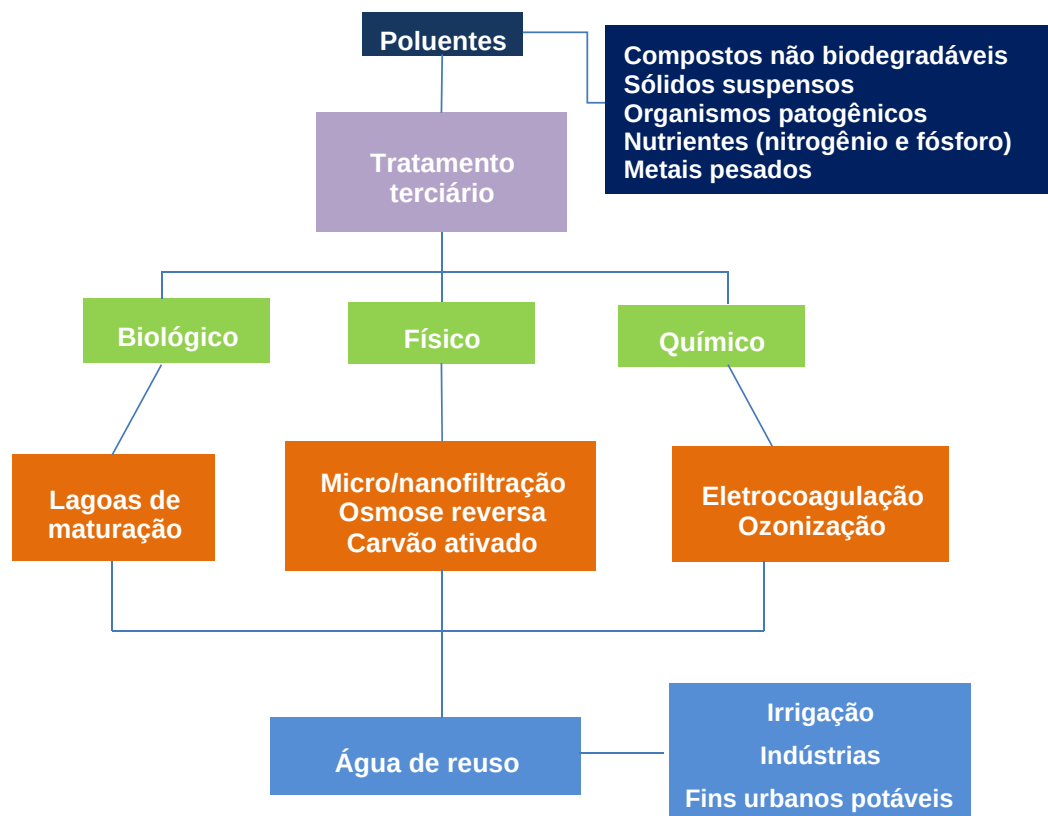
Fonte: <<http://www.logicambiental.com.br/lagoa-facultativa/>>. Acesso em: 26/6/2018.

Tratamento terciário

O tratamento terciário de efluentes tem como objetivo o chamado “polimento” das águas residuárias. Este nome é dado pois esta etapa do tratamento é a mais avançada, produzindo a água de reuso e a água potável.

A água de reuso pode ser utilizada tanto na irrigação, quanto no processo produtivo da indústria e para fins urbanos. Para que a água se torne potável, é necessário a utilização de técnicas bastante onerosas, como por exemplo a osmose reversa.

Figura 26. Fluxograma do tratamento terciário.



Fonte: própria autoria.

Dentro da classificação das técnicas que podem ser utilizadas no tratamento terciário, temos as técnicas biológicas, como as lagoas de maturação, técnicas físicas como micro/nanofiltração, osmose reversa e carvão ativado; e técnicas químicas, como a eletrocoagulação e ozonização.

Lagoas de maturação

As lagoas de maturação são empregadas principalmente para a remoção de coliformes, podendo também ser utilizadas na remoção de nitrogênio e fósforo. É empregada principalmente nos rejeitos oriundos do esgoto sanitário.

A eliminação dos micro-organismos se dá pela ação da radiação ultravioleta proveniente da luz solar, aumento do pH da água, temperaturas mais altas que o trato digestório humano e falta de nutrientes.

Figura 27. Lagoa de maturação.



Fonte: <<http://oseas2d2010.blogspot.com.br/2010/05/lagoa-de-maturacao-fase-final-de-todo.html>>. Acesso em: 26/6/2018.

Processo de separação por membranas semipermeáveis

Nanofiltração e microfiltração

Na nanofiltração, são utilizadas membranas finas, com poros na ordem de 10^{-9} m. O mecanismo de separação não é apenas da filtração comum, mas envolve parâmetros como solubilidade e difusão. A nanofiltração é utilizada principalmente para a retenção de sulfatos.

Figura 28. Módulo de micro e ultrafiltração.



Fonte: <<http://www.revistatae.com.br/6489-noticias>>. Acesso em: 26/6/2018.

Já a microfiltração é utilizada principalmente na separação de sólidos suspenso na água e na proteção de sistemas de osmose reversa. As membranas de microfiltração são uma barreira segura de retenção de micro-organismos e materiais suspensos, permitindo a passagem da água de componentes solúveis.

Osmose reversa

A osmose reversa é utilizada principalmente no tratamento de águas pluviais e dessalinização de águas salobras.

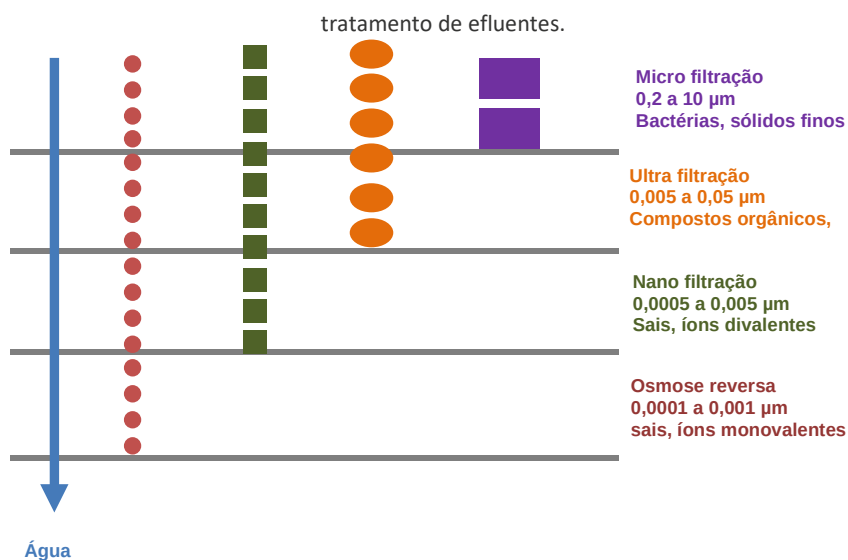
Figura 29. Sistema de osmose reversa.



Fonte: <<http://www.industrial-wastewatertreatment.com/sale-4350533-reverse-osmosis-water-filtration-system-ro-water-treatmentplant-250-1000l-h-capacity.html>>. Acesso em: 26/6/20186.

O sistema é constituído de membrana de celulose e a separação dos contaminantes se dá pela pressão, que deve ser maior que a pressão osmótica. A aplicação da pressão aumenta a velocidade com que as moléculas do solvente passam pela membrana, sendo aplicada uma força de até 70 atm.

Figura 30. Representação esquemática das principais técnicas de membrana semipermeáveis aplicadas no



Fonte: autoria própria.

Adsorção por carvão ativo

O carvão ativo é uma substância adsorvente muito utilizada em tratamentos de efluentes. Ela é formada por carbono microcristalino e possui uma elevada área superficial porosa. Os grânulos de carvão ativos são constituídos por micro, meso e macro poros que são capazes de reter uma gama de compostos orgânicos dissolvidos.

O carvão ativado pode ser empregado como pré-tratamento na osmose reversa, para que não ocorra a saturação da membrana de celulose, na remoção de carga orgânica refratária e na redução da toxicidade crônica decorrente de substâncias orgânicas não biodegradáveis.

O caráter apolar da superfície do carvão ativo é o fator preponderante na adsorção de moléculas apolares.



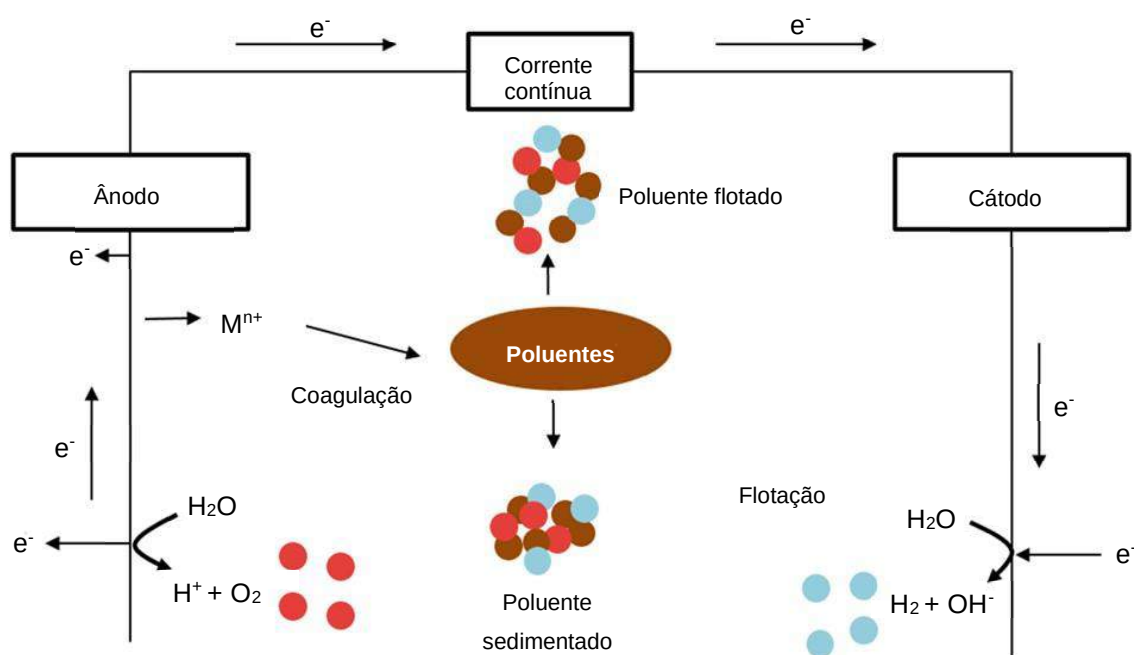
Fonte: <<http://www.macrovenda.com.br/carvao-ativado.php>>; <<http://www.atlasacuario.com/guia%201%20mi%20primer%20acuario%20pag%204%20filtro.htm>>. Acesso em: 26/6/2018.

Eletrocoagulação

A eletrocoagulação ocorre pela passagem de uma corrente elétrica contínua pela água a ser tratada. Essa corrente desestabiliza a solução, coagulando seus contaminantes.

No ânodo do sistema de eletrocoagulação, ocorrerá a formação de espécies catiônicas; no cátodo ocorrerá a formação de hidroxilas que, ao reagirem com os cátions, formarão hidróxidos. Este hidróxido formado irá reagir com os poluentes presentes no meio e precipitará. Através da absorção de gás oxigênio e gás hidrogênio provenientes da hidrólise da água, esse precipitado flutuará, sendo retirado através de filtração simples.

Figura 32. Sistema de eletrocoagulação.



Fonte: autoria própria.

Ozonização

A ozonização tem se mostrado um método muito eficaz na descontaminação de efluentes. O ozônio é capaz de reagir com muitos compostos orgânicos devido ao seu potencial de oxidação.

O ozônio utilizado no tratamento de efluentes pode ser produzido por três técnicas diferentes, sendo elas: exposição do oxigênio à luz ultravioleta, eletrólise do ácido perclórico e descarga eletroquímica.

A reação envolvida com a decomposição de compostos orgânicos é conhecida como reação direta, na qual ocorre o ataque eletrofílico do ozônio molecular às duplas ligações carbono-carbono.

CAPÍTULO 1

Siderúrgica

Conceitos básicos

O aço é originário do ferro sendo o material mais utilizado na indústria. O ferro pode ser encontrado na natureza misturado com outros elementos na forma de minério. O aço é uma liga de ferro com baixo teor de carbono, apresentando-se em diferentes tipos de formas e especificações, visando atender à demanda de diferentes setores, como por exemplo, a indústria automobilística, construção civil, equipamentos, eletrodomésticos e entre outros. É impossível numerar todos os setores em que o aço é empregado, uma vez que este material é empregado em todos os tipos de projetos, caracterizando-o como “essencial” para um número infinito de produtos desenvolvidos pelo setor industrial (SILVA, 2011).

Aprofundando um pouco mais sobre o conceito e aplicação da metalurgia, esta é uma ciência e tecnologia voltada para a extração de metais, a partir de seus minérios, e aplicados ao setor industrial. Em especial, a metalurgia voltada para a extração e aplicação industrial do ferro é denominada de siderurgia. A Siderurgia atua no processo de redução dos óxidos de ferro por meio de um redutor, que em geral, é um combustível carbonoso. Para a produção de aço, são utilizados diferentes tipos de matérias-primas, dentre as quais o ferro é destacado tanto pela quantidade quanto o custo. O Brasil é detentor de uma das maiores fontes de minério de ferro, cerca de 49 bilhões de toneladas, e somente a China e a Rússia podem equipar-se ao nosso país. O ferro apresenta-se na natureza em diferentes formas de minerais, no entanto, apenas algumas formas possuem valor comercial, como por exemplo, os óxidos de ferro que representa a maioria das fontes de ferro para o setor siderúrgico:

- » **Magnetita** (Fe_3O_4): é composto de aproximadamente 72% de ferro e 28% de oxigênio, possui coloração cinza escura a preta e com densidade de $5,16 \text{ g cm}^{-3}$, é altamente magnético facilitando o processo de purificação; o processo de mineração da magnetita é realizado principalmente na Suécia.
- » **Hematita** (Fe_2O_3): é composto por aproximadamente de 70% de ferro e 30% de oxigênio, possui coloração variando de cinza a avermelhada, com densidade de $5,26 \text{ g cm}^{-3}$. Este é o minério de ferro com maior empregabilidade no setor siderúrgico e na cidade de Carajás no Pará está localizada uma das maiores jazidas brasileiras deste minério.

Nas jazidas, é muito comum ocorrer a existência de material friável que se desagrega facilmente gerando grãos finos que não podem ser utilizados diretamente nos altos fornos ou nos processos de redução. Este material é aglomerado pelo processo de sintetização e pelotização formando um material de granulometria controlada e de alto rendimento nos altos fornos.

- » **Ganga:** é composto por certos tipos de óxidos presentes no minério que se funde no processo de redução para a formação da escória.
- » **Escória:** é o produto da fusão do material inerte do minério (ganga), dos fundentes e das cinzas do coque ou do carvão sob altas temperaturas, formando o silicato (CaO.SiO_2 ; FeO.SiO_2 ; $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{SiO}_2$) ou aluminatos. Este material desempenha funções importantes como na separação das impurezas junto ao metal, proteção do efeito de superaquecimento, pois possui baixa condutibilidade térmica conservando o calor do metal.
- » **Fundente:** em todos os processos redutores de fusão, é preciso utilizar um fundente. Muitas impurezas possuem ponto de fusão maior do que a temperatura de operação do equipamento (forno) e sua presença no estado sólido dificulta a sua saída do forno durante o processo de separação do metal, tornando assim, uma etapa praticamente impossível de ser realizada. Desta maneira, o fundente tem como função tornar essas impurezas mais facilmente fusíveis a partir da combinação química formando um produto com ponto de fusão menor em relação aos constituintes da escória.
- » **Desoxidante:** ao longo deste processo haverá uma fase de refino em que as impurezas serão oxidadas e surgirá, na etapa final de oxidação, uma série

de óxidos FeO , SiO_2 , MnO , P_2O_5 , Al_2O_3 , MgO . Durante o processo de resfriamento do metal, na lingoteira, uma grande quantidade de óxidos poderá ficar retida tornando o aço frágil. Deste modo, para evitar esta ocorrência, realiza-se o processo de desoxidação que é a adição de um elemento que possua alta afinidade ao oxigênio presente na mistura do aço.

- » **Material refratário:** este tipo de material é infusível a altas temperaturas, resistindo ao calor, mudanças bruscas de temperaturas, pressão, combinação química e, ao mesmo tempo, são maus condutores de calor e de eletricidade. Até o momento, não se conhece nenhum material que preencha todos estes requisitos. Os refratários são importantes durante o processo metalúrgicos, sendo empregados nos fornos e recipientes que envolvam altas temperaturas. Os tipos de refratários possuem classificações de ácidos, básicos e neutros e, ao serem usados para um dado propósito, deve ser quimicamente inerte durante a sua utilização. Os principais constituintes dos refratários são o SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , todos os óxidos infusíveis nas temperaturas trabalhadas na metalurgia, no entanto, podem tornar-se mais ou menos ativos na presença de outras espécies.
- » **Carvão vegetal:** é um combustível sólido de caráter básico originário da destilação da matéria orgânica vegetal (madeira) em ausência de O_2 . Estudos recentes revelaram a possibilidade de obtenção deste material a partir do babaçu, sabugo de milho e do bagaço de cana abrindo novas e promissoras perspectivas para o Brasil que é carece de combustível sólido.
- » **Coque:** é o material residual obtido no processo de coqueificação de certas hulhas; em outras palavras, é a decomposição por calor. Este processo se dá pelo aquecimento do combustível isolado do contato do ar, mantendo o combustível isolado em retortas de destilação que é alimentado por calor de uma fonte externa.
- » **Ferro esponja:** é o material proveniente do processo de redução direta do ferro de seus minérios em baixas temperaturas (900°C) por intermédio do gás CO , H_2 , sem que haja fusão da matéria-prima. Este material é empregado como matéria-prima para a fabricação do aço que substitui a sucata.

Coque

O coque é utilizado como combustível e redutor em altos fornos, a sua obtenção de dá pela seguinte maneira (SILVA, 2011):

- » Inicia-se com a etapa de secagem a 150°C com o desprendimento da água de umidade.
- » Durante a temperatura de 300°C, realiza-se o desprendimento da água por desidratação.
- » Durante a etapa de desidratação, o carvão começa a amolecer progressivamente passando pelo processo de fusão entre os intervalos de 350 a 550°C. O valor da variação de temperatura dependerá do tipo de carvão empregado.

No processo de obtenção do coque, ocorre um intenso desprendimento de substância volátil, promovendo o aumento considerável de seu volume, embora alguns carvões sofram uma contração seguida da expansão. Devido a este processo, o coque adquire estrutura esponjosa. Finalizada a etapa de fusão pastosa, o material esponjoso consolida-se progressivamente, endurecendo cada vez mais com a liberação de vapores mais pesados. Dessa maneira, inicia-se então a fase de coqueificação: a partir de 800°C, o coque encontra-se solidificado adquirindo aspecto muito escuro e sem brilho, no entanto acima de determinada temperatura ocorre o processo de cristalização ou grafitização do carbono presente no coque. Este processo é contínuo conforme o aumento de temperatura atribuindo uma coloração cinzenta e brilhante com dureza cada vez mais elevada, sendo denominada de fase de hipercoqueificação.

Todos os gases e vapores desprendidos durante este processo são recolhidos e resfriados: os gases simples continuam como gases, mas os vapores são condensados num líquido viscoso, conhecido como alcatrão, e numa solução aquosa de compostos amoniacais, também conhecidos como licor amoniacal.

O processo de coqueificação é realizado em grande câmaras com aproximadamente de 12 a 13 metros de comprimento e 3, 5 a 4 metros de altura, construídos de alvenaria, dispostas paralelamente, de modo que, entre duas sucessivas forme-se um sistema vertical de canais de chamas que são responsáveis pelo aquecimento. São dispostas dezenas delas em bateria e ao conjunto formado dessas células é denominado de coqueria, conforme a figura a seguir.

Figura 33. Bateria de coque.



Fonte: <<http://mapio.net/pic/p-10975651/>>. Acesso em: 26/6/2018.

O coque proveniente da bateria é descarregado incandescente, com temperatura próxima de 1000 a 1100°C e deve ser apagado imediatamente que seja consumido pela combustão com o ar. O vagão contendo o coque, tão logo que termina a descarga da retorta, é puxado até um túnel de mesmo comprimento que o vagão e recebe uma descarga de água (figura 34).

Figura 34. Coque incandescente prestes a ser descarregado.



Fonte: <<https://byznys.ihned.cz/c1-60906160-tezarska-nwr-proda-sve-koksozny-za-2-5-miliardy-korun-spolecnosti-metalimex>>. Acesso em: 26/6/2018.

Sinterização

O processo de lavra, que consiste no manuseio e transporte de ferro, produz uma grande quantidade de partículas finas e ultrafinas que não possui aplicação direta na indústria siderúrgica. A partir do desenvolvimento de procedimentos de aglomeração, estas finas partículas puderam ser agregadas em tamanhos definidos e com alta qualidade.

Desta maneira, estes agregados passaram a ter valor comercial no setor siderúrgico e passaram a ser aplicados nos fornos na forma de sinter ou pelotas (SILVA, 2011).

Um sinter de qualidade deve possuir mais de 60% de ferro em sua composição, quantidades mínimas de enxofre e fósforo, alta resistência mecânica, ter resistência em altas temperaturas e aos esforços no interior sem perder sua rigidez. No processo de sinterização, o material de minério fino, coque com medidas inferiores a 3 mm, o calcário e os finos de retorno são levados separadamente aos silos de mistura e carregados por mesas dosadoras, ou esteiras alimentadoras, que são acopladas a balanças automáticas que são transportadas até os tambores de mistura. Todo esse material é misturado com os finos de retorno, adicionados à umidade, rolados para promover a homogeneização e nucleação com o intuito de fornecer a permeabilidade adequada à etapa posterior que é a queima; após este processo, o material é disposto uniformemente sobre uma grelha por meio de uma calha vibratória ou um rolo giratório. Antes de realizar todo este processo, é colocada sobre a mistura uma camada de sinter, previamente produzida, como dimensões de 15 a 25 mm com espessura uniforme de 25 a 40 mm formando uma falsa grelha. Existem algumas vantagens na utilização da falsa grelha:

- » As barras da grelha não estarão expostas a temperaturas elevadas.
- » O bolo de sinter não ficará aderente à grelha.
- » Grande parte da poeira arrastada pelos gases queimados fica retida melhorando a eficácia dos coletores de pó prolongando a vida dos ventiladores.

O material é depositado em uma camada de 300 a 700 mm de espessura uniforme sobre a falsa grelha que é direcionada para uma coifa de ignição. Durante a etapa de queima do combustível presente na camada superior do material, a combustão propaga-se de cima para baixo com velocidade de $1 - 3 \text{ cm cm}^{-1}$, efeito proveniente da aspiração do ar através da grelha. A passagem de ar proporciona o fornecimento de O_2 para a combustão e os gases queimados proporcionam o aquecimento do material a ser sinterizado. A temperatura atingida, na zona de combustão, pode atingir de 1000 a 1300°C durante 1 minuto. Esta temperatura é um pouco inferior a temperatura de fusão dos minerais.

As partículas podem se unir a partir das zonas de contato em pedaços maiores difundindo-se nos cristais vizinhos proporcionando aglomerações ou crescimento de grãos. Finalizado o processo de queima, o material resultante possui alta porosidade que depois é quebrado em tamanhos menores, resfriado e peneirado.

Pelotização

Este processo é baseado na formação de aglomerados em forma esférica, denominada pelotas, provenientes do processo de rolamento (utilização de tambores, cones ou discos) de partículas finamente moídas e umedecidas e submetidas à queima (temperatura de 1250°C – 1320°C), em que a formação da pelota é consolidada pelo intercrescimento dos grãos e reforçada pela fase escória, resultado da presença de impureza dos minérios e de aglomerados adicionados eventualmente (SILVA, 2011).

O material sinterizado possui apenas 10% abaixo de 170 mesh, enquanto que o material destinado à pelletização possui mais de 75% abaixo de 250 mesh. A pelletização se diferencia em três etapas:

- » Geração de matérias como granulometria adequada.
- » Preparo da pelota crua.
- » Enrijecimento da pelota.

Assim, o tamanho das partículas varia de 180 mesh a 5% menor que 325 mesh, conforme apresentado na figura 35.

Figura 35. Pelotas aptas para serem inseridas nos altos fornos.



Fonte: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-12-18/iron-ore-powers-higher-as-china-s-clean-air-push-boostsdemand>>. Acesso em: 26/6/2018.

O quadro a seguir apresenta as diferenças entre os materiais provenientes do processo de pelletização e sinterização:

Quadro 7. Diferença dos materiais provenientes dos processos de pelotização e sinterização.

Diferenças fundamentais entre os processos de sinterização e pelotização	
Sinter	Pelota
Aproveitamento de finos de mineração abaixo de 8 a 0,25 mm.	Aproveitamento dos finos de mineração abaixo de 0,5 mm.
Baixa resistência mecânica.	Alta resistência.
Fácil degradação durante o transporte.	Baixa degradação no transporte.
Tamanho do sinter: 5 a 100 mm em pedaços irregulares.	Tamanho da pelota: 10 a 12 mm de formato esférico.
25 a 50% de finos de retorno.	5 a 10% de finos de retorno.
Queima do combustível em contato com o minério.	Aquecimento pelos gases quentes produzidos fora do leito de pelotização.

Fonte: Silva (2011).

O procedimento do preparo das pelotas ocorre da seguinte maneira:

- » **Tambores:** 2,5 a 3,5 metros de diâmetro e comprimento entre 2,5 a 3 vezes o diâmetro, inclinação de 2 a 5%, velocidade de 80 a 170 m min⁻¹ que corresponde a 10 a 20 rpm e uma produção máxima de 120 t h⁻¹ de pelotas curas. Esta é uma metodologia antiga que necessita a utilização de uma peneira na extremidade da descarga para manter a faixa de granulação desejada, exigindo maior resistência do material e permitindo a recirculação de partículas menores. O controle da qualidade da pelota crua, assim como, a velocidade de crescimento e seu tamanho são controlados a partir da alimentação, umidade e grau de enchimento do tambor.
- » **Cones:** possui superfície lateral tronco-cônica com diâmetro variando de 3 a 4 metros para a produção de 800 a 900 t dia⁻¹.
- » **Discos:** possui de 1,6 a 8,0 metros de diâmetro, com inclinação de 25 a 65° girando entre 10 a 30 rpm, imprime uma velocidade periférica de 30 a 90 m min⁻¹ gerando uma produção máxima de 150 t h⁻¹. Este método permite classificar as pelotas devido ao seu bordo regulável. O material que é depositado no prato inclinado descreve uma trajetória elíptica que recebe gotículas de água permitindo a nucleação. O material de menor densidade sobe até o centro do disco e os que possuem maior densidade acumula-se nas bordas.

Além disso, durante o processo de obtenção das pelotas são utilizados aglomerantes e que possuem três funções importantes:

- » Proporcionar a pelota crua resistência ao transporte e manuseio subsequente até chegar aos fornos de endurecimento.
- » Aumentar sua resistência ao choque térmico ao ser inserido no forno.
- » Permitir, eventualmente, a formação de compostos ligantes como o Cao, Fe_2O_3 , $\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ e outros correspondentes à fase escória, provenientes da combinação com a ganga do minério. Como aglomerado, utiliza-se de 5 a 10 kg de bentonita por tonelada.

Devido a sua alta sensibilidade mecânica, as pelotas cruas são submetidas ao processo de aquecimento de 1300°C em que ocorre o crescimento dos grãos e reação entre os ácidos do minério e as bases das adições gerando compostos eutéticos de baixo ponto de fusão.

Obtenção de ferro gusa

É o produto da redução do minério de ferro em altas temperaturas contendo altos valores de carbono em sua composição em decorrência do contato com o coque ou carvão vegetal que atuam como combustível e redutor simultaneamente. O ferro gusa possui, geralmente, de 3 a 4,5% de carbono e com alto teor de impurezas, tornando-o desinteressante para o meio industrial em sua aplicação direta necessitando uma purificação prévia. Como principais impurezas presentes no material são: carbono, silício, manganês, fósforo e enxofre (SILVA, 2011).

Altos fornos

É um equipamento que atua no processo de fusão redutora do minério de ferro constituído de um recinto único que promove a reação entre cargas e gases. Os altos fornos possuem as seguintes características (SILVA, 2011):

- » Recebem somente carga sólida.
- » Realizam processo de fusão sem refino.
- » Trabalha com gases em contracorrente com a carga.
- » Permite grandes reações entre cargas e gás.
- » O coque e o carvão de madeira são utilizados como combustíveis.

Neste equipamento, são obtidos como produtos: gusa, escória, gás e poeira. Sua estrutura é construída sobre fundações e sustentado por colunas de aço em forma circular de vários diâmetros com aproximadamente de 30 metros de altura. É construído de tijolos refratários e alicerçado por uma carcaça metálica de aço na parte externa.

Composição do alto forno

- » **Cadinho:** é a parte inferior do alto forno cuja função é coletar a gusa seguido da escória à medida que se forma.
- » **Rampa:** é disposta por cima do cadinho possuindo formato troncocônico caracterizando como zona de fusão dos materiais.
- » **Ventre:** região cilíndrica existente sobre a rampa. Alguns fornos não possuem este compartimento, sendo a rampa unida diretamente a cuba.
- » **Cuba:** possui a forma de uma grande seção tronco-cônica em que a base maior se encontra apoiada sobre o ventre (ou o cadinho).
- » **Goela:** encontra-se na parte superior da cuba, sendo revestida internamente por placas de desgastes que protegem o refratário do impacto da carga durante o aquecimento.
- » **Topo:** localiza-se na parte superior do forno junto aos dispositivos de carregamento (cone grande, cone pequeno, distribuidor, dutos de gás, portas de explosão, sangradouros) e as plataformas de acesso a todos os equipamentos.
- » **Ventaneiras:** localiza-se a 1/3 do cadinho e seu número é dependente do diâmetro do forno. São produzidos de cobre eletrolítico e, devido a sua exposição à altas temperaturas, utiliza-se a água da caldeira em recirculação para refrigeração. A partir deste compartimento que é insuflado o ar pré-aquecido para a queima do combustível fornecendo calor às reações químicas e fusão do ferro.

Funcionamento

Basicamente um alto forno é um sistema de calor que funciona contracorrente, em que materiais como, minério de ferro, pelotas, sinter, coque ou carvão de madeira e fundente

(calcário), são carregados alternadamente, pelo topo do alto forno. Neste processo, por meio de uma correia transportadora, o material depositado aquece-se e se reduz em contato de corrente ascendente de gás redutor quente. Na reação de redução são obtidos os seguintes produtos: ferro gusa, escória, gás de alto forno e poeira (SILVA, 2011).

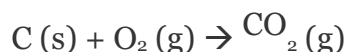
O processo de redução dos óxidos de ferro se dá a medida que o minério, o agente redutor (carvão ou coque) e os fundentes descem em contracorrente aos gases oriundos da queima do carbono com o oxigênio do ar aquecido proveniente das ventaneiras. Desta maneira, a carga desce no interior do forno, enquanto que os gases provenientes da combustão sobem através da coluna reduzindo o minério e pré-aquecem os materiais. No processo de aquecimento, a composição da mistura vai se alterando (secagem e calcinação) até que a reação de redução seja realizada a partir da combinação do oxigênio com o minério de ferro, sob a forma de óxido de carbono, a fazer parte dos gases. Além disso, o processo de redução é acompanhado de reações paralelas como a formação de carbonetos e a fusão da ganga e dos fundentes que constituem a escória. O movimento ascendente dos gases e descendente do material é de grande importância para o funcionamento do alto forno, pois a proporção dos materiais varia em função de sua prática operacional: para uma carga de 1,7 t de minério, 0,65 t de coque ou carvão vegetal, 0,25 t de calcário e 1,8 a 2,0 t de ar, neste processo obtém-se 1 t de gusa, 200 a 400 kg de escória e 2,5 a 3,5 t de gás de alto forno, que é usualmente empregado no aquecimento em diversas partes de uma usina siderúrgica por conter alta porcentagem de CO_2 .

Para um bom funcionamento do forno, em outras palavras, alta produção com baixo consumo de combustíveis é possível quando os gases ascendentes são utilizados ao máximo com alto teor de CO_2 e com temperaturas baixas. No entanto, para que isto ocorra, é importante que a permeabilidade da carga em toda a seção do forno seja uniforme, e isto só é possível a partir da boa granulometria da carga. Caso exista a formação de caminhos preferenciais na periferia do revestimento ou no eixo do forno, tanto o seu calor sensível como a sua ação redutora não serão empregados com alta eficiência. Assim, para que existe a alta eficiência no forno é preciso que a carga seja uniforme e, principalmente, seja isenta de finos, faixa de granulometria estreita e suficiente resistência mecânica permitindo a boa permeabilidade à coluna de carga. O minério de ferro deve possuir excelente reducibilidade e elevado teor de ferro para o baixo consumo de coque ou carvão vegetal.

Tipos de reações

O oxigênio (ar) é aquecido e injetado nas ventaneiras reage com o carbono combustível do carvão ou coque promovendo a formação de grande quantidade de calor e gases como o CO, CO₂, H₂, CH₄, H₂O e N₂ (SILVA, 2011).

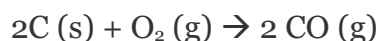
A partir da reação:



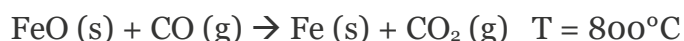
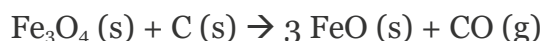
Em aproximadamente 1 metro do nível da ventaneiras, não existirá mais oxigênio, pois estará envolvido na formação de CO₂ que em contato com o carbono incandescente formará o CO pela reação de Boudouard:



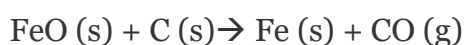
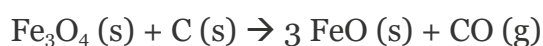
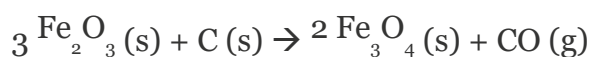
Em síntese, a reação que ocorre na região das ventaneiras pode ser representada da seguinte maneira:



Durante o processo da marcha ascendente, o CO reage como os óxidos de ferro por meio das reações indiretas:



Em temperaturas acima de 1070°C, a redução dos óxidos de ferro é finalizada pelo carbono incandescente:

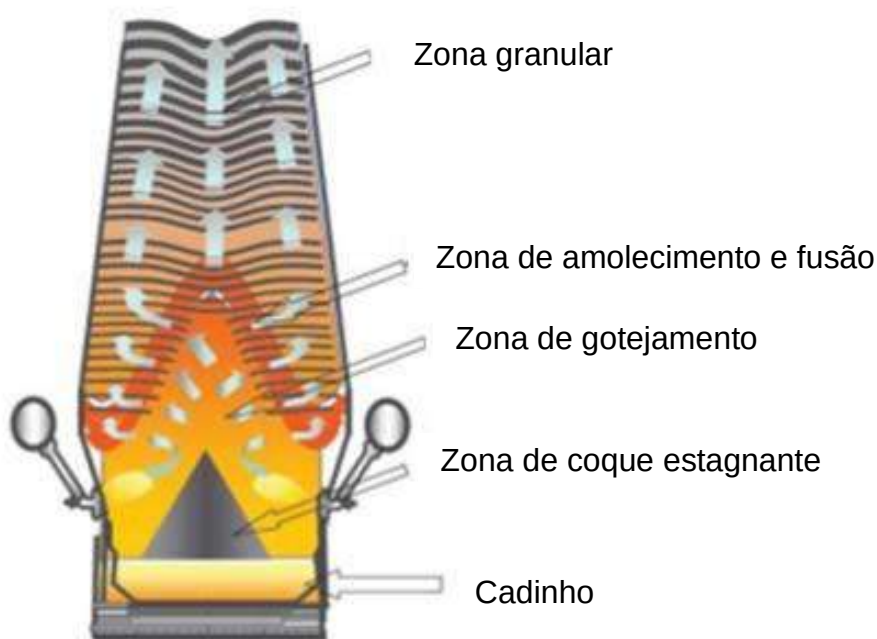


Na temperatura de 800°C, inicia-se o processo de decomposição do calcário:



Parte da ganga reage com o a cal juntamente com pequenas quantidades de óxido de ferro e manganês não reduzidos. Assim, inicia-se o processo de formação da escória: o ferro reduzido absorve o carbono diminuindo o seu ponto de fusão sendo gotejado pelos interstícios do coque incandescente que caem no cadinho (figura 36) e recolhidos por lingoteiras e submetidos ao processo de solidificação.

Figura 36. Estrutura do alto forno.



Fonte: Adaptado <<https://pt.slideshare.net/demouthie/escoria-fabricacao>>. Acesso em: 26/6/2018.

Durante o processo, ocorre o surgimento dos álcalis que são metais alcalinos, contendo sódio e potássio, que se volatilizam parcialmente no alto forno e restante passando pela escória. Após o processo de volatilização, este material pode se depositar em regiões mais elevadas e de menor temperatura do forno, comprometendo o revestimento refratário formando cascões nas paredes. Dentre os efeitos nocivos dos álcalis podemos destacar:

- » Formação de cascões.
- » Descida irregular da carga.
- » Ataque ao revestimento refratário.
- » Perdas térmicas.

A formação do cascão proporciona a redução da seção transversal do forno influenciando na velocidade dos gases. A região propensa aos ataques dos refratários silicaluminoso é a faixa de 1000 a 1400°C.

A escória é resultante da fusão do material inerte do minério (ganga), dos fundentes e das cinzas do coque que ao atingir as regiões mais quentes (ventaneiras), sem ser reduzido reagem entre si para a formação dos silicatos ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$) e aluminatos ($\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ etc). A temperatura de fusão da escória é dependente de sua composição química, como por exemplo, uma escória de 60% de sílica, 15% de alumina e 23% de cal possui temperatura de fusão de 1160°C , no entanto, mesmos com superaquecimento de 400 a 500°C o material ainda se encontra viscoso. Em contrapartida, uma mistura com 47% de sílica, 18% de alumina e 35% de cal inicia o processo de fusão a 1295°C e totalmente líquida a 1400°C . Os óxidos de silício e alumínio e de cálcio, separadamente, fundem a altas temperaturas como 1710°C , 2760°C e 2050°C , respectivamente.

Uma característica importante da escória é a sua fluidez, pois uma escória muito espessa compromete a operação do alto forno devido a sua adesão ao revestimento podendo colar-se coque na rampa dificultando a distribuição de corrente gasosa. A fluidez da escória está relacionada com a sua composição e da temperatura. Após muitos estudos, verificou-se que a viscosidade da escória de alto forno está relacionado com o teor de $\text{CaO} + \text{MgO}$ e a soma de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$. Uma escória que possui relação $\text{CaO} + \text{MgO} / \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ se aproxima da unidade, é fluida quando no estado de fusão e solidifica rapidamente numa massa petrificada com fatura opaca. O aumento do teor de cal, a escória diminui a fluidez tornando-se espessa. O aumento da basicidade torna a escória mais dessulfurante e com alta viscosidade.

A quantidade de cal está relacionada com a retirada de enxofre do processo: no alto forno, o carvão de madeira possui baixas quantidades de enxofre, desta maneira, a quantidade de cal tem importância secundária; já na utilização do coque a presença de cal é um fator importante, pois neste material existe uma alta concentração de enxofre na composição; assim, a escória no alto forno básico possui a temperatura de fluidez maior do que nas escórias ácidas dos altos fornos que utilizam carvão vegetal. Desta maneira, é preciso trabalhar a altas temperaturas para aumentar o consumo de coque. No cadinho, a menor temperatura de trabalho é de 1370°C , sendo a temperatura ideal de 1700°C , em que é obtida boa fluidez e corrida fácil assegurando teores normais da gusa com baixo consumo de coque. A basicidade da escória é medida pela relação apresentada anteriormente: valor igual a 1 caracteriza uma escória básica e valores inferiores a 1 a escória é ácida.

Outro indicador da eficiência da redução do alto forno é a relação entre o CO e CO_2 : se a relação possui alto valor, o processo de redução é ineficiente, caracterizando-se pelo alto consumo de combustível; caso o valor seja baixo, indica alta eficiência no processo de redução. Para boas condições de redutibilidade a relação de CO / CO_2 deve ser entre 1,3 a 1,7.

Tratamento de gases

Os regeneradores possuem a função de aquecer o ar inserido no alto forno a pressão de 1 a 2 kg cm⁻² com temperaturas entre 650 a 1300°C. O forno consome cerca de 4 a 5 t de ar para a produção de 1 t de gusa. A umidade do ar representa perda de calor no processo sendo necessário sua retirada por condensação (SILVA, 2011).

O ar inserido no forno sofre modificações químicas saindo do topo do forno como uma mistura de nitrogênio, gás carbônico, monóxido de carbono, hidrogênio, vapor de água e poeira. O teor de CO, neste processo, é de aproximadamente de 22 a 27% permitindo a sua aplicação em outras operações de aquecimento.

Para a utilização do gás, realiza-se um processo de limpeza da poeira que se encontram presentes: o gás é direcionado por um tubo de descida ao coletor de poeira entrando pela parte superior por um tubo cônico que, no primeiro momento, submete a corrente gasosa a uma desaceleração. Essa inversão no sentido do movimento promove a deposição de partículas de poeiras mais pesadas no fundo do recipiente sendo retirado, posteriormente, por meio de um sistema de válvula dupla evitando a perda de pressão. Para uma remoção eficiente, é preciso usar a via úmida tornando as partículas menores mais pesadas em que são utilizadas gotas de água que contenham dimensões semelhantes as das partículas e que o tempo de contato entre a água e a partícula sejam o mais longo possível. As torres de lavagem e o Venturi (Tipo de lavador de gás que se destaca pela sua alta eficiência de coleta) desempenham muito bem este processo.

As torres de lavagem possuem formas cilíndricas e são grandes reservatórios que possuem, em seu interior, chicanas de madeira, bandejas de grelhas cerâmicas, anéis de Rasching ou vidros quebrados, que criam uma rota com “obstáculos” aumentando o tempo de passagem do líquido de lavagem, que são borrifados por chuveiros instalados no topo das torres, que vão de encontro a corrente de gás ascendente. O gás limpo pode conter menos de 0,01 g de material por Nm³.

Tratamento da lama

Cerca de 30 a 50% da poeira presente no gás é retirada nos lavadores e, para se recuperar a poeira, leva-se a lama para os espessadores que são tanques circulares de concreto com fundo cônico em que a parte central gira lentamente um eixo com braço. A lama, com 40% de sólidos, é bombeada e levada a um sistema de filtros, e a água retornada ao espessador e o bolo de filtragem com 25% de umidade é encaminhado para a sinterização (SILVA, 2011).

Obtenção de ferro esponja

Processo de redução direta do ferro

A redução direta está relacionada aos processos metalúrgicos de obtenção de ferro a partir de seus minérios sem a necessidade de fusão do material metálico durante a produção. O produto da redução direta do minério de ferro é conhecido como ferro esponja que tem a finalidade de substituir a gusa sólida ou a sucata utilizada como matéria-prima à produção de aço. No entanto, a redução direta possui algumas limitações (SILVA, 2011):

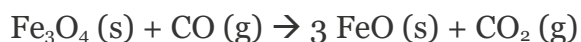
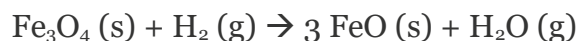
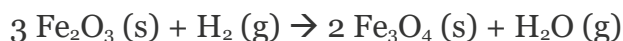
- » Obtenção de energia de menor custo.
- » Oferta de sucata de boa qualidade nos países industrializados.

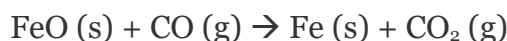
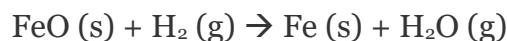
Devido a estes fatores, a utilização da redução direta na produção de aço mundial é inferior a 9%.

Dentre os diversos processos de redução direta, o MIDREX é o responsável por 65% da produção mundial de aço por redução direta. Neste procedimento, o reator opera a pressão ambiente utilizando um gás redutor mais rico em CO em comparação aos outros gases.

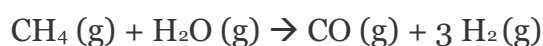
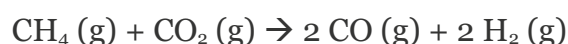
MIDREX

Esta técnica foi desenvolvida nos anos 1960 pela *Midland – Ross* em Portland, Oregon, EUA. Neste processo, a carga metálica (minério ou pelotas) é transportada em fornos de cuba que possuem os seguintes compartimentos: pré-aquecimento, redução e resfriamento por meio de tubos de descida, que para eliminar a fuga de gases do processo, injetam gás inerte, evitando as válvulas de vedação. O gás redutor a temperatura de 760 a 930°C penetra no forno de cuba através de orifícios existentes na parte inferior do compartimento de redução, subindo em contracorrente à carga, realizando a retirada de O₂ do minério granulado ou em pelotas (SILVA, 2011):



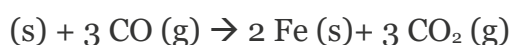


O gás de goela contém 70% de CO e H₂; ao sair do forno este passa por um lavador que sofre resfriamento para condensar a água e realizar a separação da poeira arrastada. Grande parte desse gás é misturada com gás natural e pré-aquecida a 400°C e direcionada para o reformador. A partir da ação do catalisador, o pentóxido de vanádio, a mistura de gases forma o CO e H₂:

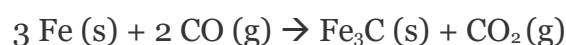


Em 900°C, contendo mais de 95% de CO e H₂, a mistura de gás é encaminhada para o forno de redução. O gás natural deve possuir menos de 15 ppm de enxofre para evitar o “envenenamento” do catalisador. O excesso de gás de goela é queimado para aquecer a unidade do reformador e os gases são utilizados no recuperador de calor para aquecer o ar de combustão dos queimadores, diminuindo o consumo de energia. O forno de cuba possui duas zonas independentes:

- » Redução: o óxido de ferro em forma de pelotas é aquecido e o oxigênio removido pelo gás contendo H₂ e CO.
- » Resfriamento: o gás resfria o ferro esponja aumentando o seu teor de carbono.
- » Reação de redução:



- » Reação de carbonetação:



O teor de metalização é de 92% e o tamanho do produto, de 6 a 20 mm. O ferro esponja pode ser empregada sob a forma de briquetado a quente.

A analogia (vantagens) entre os processos diretos e indiretos de redução do minério de ferro são:

- » Número reduzido de operações unitárias: redução e forno elétrico *versus* coqueria, sinterização, alto forno, conversor e às demais unidades auxiliares.
- » Menor investimento: redução do custeio das unidades de redução de fabricação do aço. A diferença está na sinterização e coqueira que excedem no custo da usina fornecedora de eletricidade da redução direta.
- » Sem manuseio do metal líquido: o ferro esponja permite ser estocado e o forno elétrico pode ser operado independentemente do processo de redução direta. Em usinas convencionais é preciso que a aciaria esteja localizada ao lado do alto forno.
- » Volume operacional (flexível): a redução direta permite operar com até 30% da capacidade, enquanto que o alto forno não é “funcional” abaixo de 80%.
- » Sistema de gás simples: na unidade de redução direta pode ser trabalhada com gás natural, enquanto que em usinas convencionais é preciso tratar os gases do alto forno, coqueria e do conversor;
- » Redução de rejeitos sólidos: no método de redução direta/forno elétrico é gerado apenas uma escória, enquanto que no alto forno/conversor ocorre a produção de duas escórias, pó do coletor e a moinha de coque;
- » Flexibilidade no emprego da sucata: na redução direta é possível trabalhar entre 0 a 100% de sucata enquanto que no alto forno é de aproximadamente 30%.
- » Tempo de implantação: redução direta entre 2 a 4 anos e o alto forno entre 5 a 8 anos.
- » O aumento do lingotamento contínuo permitiu a diminuição da sucata gerada internamente na usina de aço fazendo com que o forno elétrico passasse a adquirir maiores quantidades de sucata obsoleta.

Mesmo com tantos atrativos, a redução direta continua encontrando resistência no processo de comercialização. Este fato pode estar relacionado pelo insucesso de

investimentos anteriores, a incerteza da siderurgia no mercado mundial, a diminuição de capital, falta de incentivo governamental ou conservadorismos do setor. Em contrapartida, os custos elevados do redutor gasoso e os resultados na utilização de redutores sólidos limitam a utilização deste processo nos países que possuem grandes fontes de gás natural.

Obtenção de aço por LD

A aciaria é o setor da usina que possui a função de produzir aço na forma de produtos semiacabados, como por exemplo, tarugos, lingonetes e placas, utilizando calor.

O aço é caracterizado como uma liga de ferro carbono com teor de carbono variando de 0,008 a 2,0 %, sendo um material maleável e possuindo em sua composição química elementos como o Si, Mn, P e S em baixas proporções. Caso o aço não possua a composição pré-estabelecida, ou seja, fora da faixa, suas propriedades não forem próprias para determinada finalidade, o material é desclassificado, sendo sucateado e proporcionando prejuízos a empresa (SILVA, 2011).

Histórico do processo

Em 1856, Sir Henry Bessemer conseguiu empregar o oxigênio puro no processo de transformação da gusa em aço. No entanto, as dificuldades de obter oxigênio puro, em quantidades compatíveis na indústria, não permitiram aplicar esta ideia. Após o desenvolvimento de grandes instalações para a produção de oxigênio, a ideia proposta por Sir Henry foi retomada por muitos metalurgistas (SILVA, 2011).

Muitos experimentos foram desenvolvidos na Usina de Linz na Áustria durante a década de 1940 – o primeiro teste, de 15 t, foi realizado pelo Prof. Robert Durrer em 1949. Neste procedimento, os resultados obtidos positivos fazendo com que em dezembro do mesmo ano foi implementada a instalação de uma aciaria LD com conversores de 35 t. Em dezembro de 1952, ocorreu o surgimento do processo LD.

O termo LD tem origem das iniciais “L” da cidade de Linz e “D” de Durrer, o professor responsável pelo processo. A primeira aciaria LD fora da Áustria foi desenvolvida no Canadá na usina de *Dominion Foundries*, em 1954, e nos Estados Unidos na usina *MClouth Steel Corp* também no mesmo ano. A partir de 1957, umas séries de outras usinas entraram em operação: nas Américas, Ásia e Europa. A primeira instalação brasileira foi a Belgo Mineira em 1957, seguida da Companhia Siderúrgica Nacional, Cosipa.

A alta produtividade, baixos custos nas instalações, nenhum consumo de combustível, baixo consumo de refratários e de mão de obra são os fatores que contribuíram para a evolução na produção de aço mundial.

O processo de LD possui as seguintes vantagens:

- » Rápida transformação da gusa em aço.
- » Reutilização da sucata de recirculação que representa 23% do aço bruto. Este material é isento de impurezas, diferentemente da sucata externa (ferro velho) que pode possuir uma série de contaminantes.
- » Em comparação com a aciaria S – M, o investimento inicial é de 40% e o custo operacional 50% menor.

Outro ponto a ser destacado é o processo de injeção de oxigênio no processo LD, que é feito da seguinte forma:

- » **Por cima:** o oxigênio é introduzido por meio de uma lança suspensa localizado na boca do conversor.
- » **Pelo fundo:** por meio de tubuleiras construídas de dois tubos concêntricos por onde o oxigênio é introduzido pelo tubo interno e um hidrocarboneto (gás natural ou óleo combustível) que atua como um refrigerador por um tubo externo.
- » **Combinados:** o oxigênio é injetado por cima através de uma lança e o gás inerte pelo fundo do conversor (tubuleiras), para agitação do banho. Algumas usinas injetam parte do oxigênio (20 a 40%) por cima e o restante por tubuleiras junto com cal em pó que entra em contato com o banho. Este procedimento tornam as reações mais rápidas e completas com redução do teor de FeO na escória, redução de perda térmicas em comparação às técnicas de LD convencional.

Descrição do processo

O conversor LD é caracterizado como um recipiente com forma cilíndrica montado em munhões que pode girar completamente em um eixo horizontal sendo acionado por um conjunto de motores e redutores. A estrutura de aço possui a forma de base fechada e côncava, uma seção cilíndrica intermediária (barril) e a seção cônica com o canal de

vazamento que permite a separação do aço e a escória durante o vazamento (SILVA, 2011).

Na posição vertical, existe uma coifa coletora de gás refrigerada a água localizada acima do conversor. A lança de oxigênio é constituída por três tubos concêntricos de aço que possuem terminação em um bocal de cobre eletrolítico que permite a passagem de oxigênio. A parte extrema da lança é constituída de 3 a 5 dutos e forma de Venturi em relação ao eixo da lança e à vazão, na ordem de 7 a 11 m³ seg⁻¹ em movimento vertical.

Operação do LD

O conversor gira em direção ao lado de carregamento e a sucata é, então, carregada pela parte superior por uma calha através da ponte rolante, seguido da gusa líquida. A única fonte de calor para que o processo ocorra é proveniente da reação de oxidação da gusa líquida, sendo limitada a quantidade de sucata carregada. A variação de carga é, em geral, de 70 a 75% de gusa líquida, sendo o restante constituído de mistura de outros tipos de sucata. A introdução de oxigênio é realizada na posição vertical por meio de uma lança na altura de 0,8 a 1,0 metro de distância do metal líquido (SILVA, 2011).

Sequência de operação

O sequenciamento da operação do LD é dado da seguinte maneira (SILVA, 2011):

- » Carregamento da sucata.
- » Carregamento da gusa líquida.
- » Início do sopro de oxigênio.
- » Vazamento do aço.
- » Vazamento da escória.

Após a ignição, realiza-se o carregamento por meio de silos montados sobre o conversor de materiais escorificantes, como por exemplo, cal e fluorita que são empregados para a formação de uma escória básica. Esses fundentes são liberados gradualmente para o interior do conversor. O período de injeção de oxigênio puro varia de 17 a 18 minutos e o tempo de corrida pode variar de 36 a 40 minutos, conforme o quadro a seguir.

Quadro 8. Tempo de corrida (total).

Operação	Tempo em minutos
Carga	5
Sopro	18
Fim do sopro a vazamento	6
Vazamento	5,5
Escória	2,5

Fonte: adaptado de Silva (2011).

O rendimento obtido neste processo em relação à matéria carregada é de aproximadamente 90% e o consumo de oxigênio é de 57% N m⁻³ por tonelada de aço.

Matérias-primas

No processo de fabricação de aço, são utilizadas as seguintes matérias-primas: gusa líquida, gusa sólida, sucata de aço e ferro fundido, cal, fluorita e oxigênio (SILVA, 2011).

Gusa líquida

É a parte predominante da carga metaliza sendo responsável por quase todo o calor gerado no processo de obtenção do aço. A quantidade de gusa líquida no conversor depende dos seguintes parâmetros (SILVA, 2011):

- » Composição química e temperatura.
- » Qualidade do aço.
- » Qualidade da sucata empregada no processo.
- » Dimensões do conversor.

A variação de produção é de 70% para conversores grandes com a produção de aços de baixo carbono e de 85 a 90% para pequenos conversores para a produção de aços com alto teor de carbono. Um dos elementos indesejáveis presentes na gusa líquida, e que é o mais problemático, sem dúvidas é o enxofre. Durante o processo de refino oxidante, a reação de dissulfuração é comprometida produzindo aços com 60% de enxofre em sua composição.

O teor de enxofre permitido nos aços é de 0,05% (limite máximo), sendo a presença desta impureza identificada facilmente por microscopia. O enxofre combina-se com o manganês e o ferro produzindo o sulfeto de manganês (MnS) e o sulfeto de ferro (FeS) que são solidificados a 1600 e 1000°C, respectivamente. Devido à alta afinidade do manganês com o ferro, a solução sólida terá maior teor deste elemento. A temperatura de

solidificação do MnS é próxima a temperatura de solidificação do aço, temperatura esta em que se lamina o metal podendo causar alguma deformação no material. Entretanto, a presença de enxofre na composição do metal não possui caráter nocivo. A formação de sulfeto de ferro (FeS) é verificada a temperatura acima de 988°C, podendo ocorrer a fusão do Fe – FeS. Caso haja a deformação do aço acima desta temperatura (laminado), ocorrerá o processo de rompimento com facilidade. Aços destinados para usinagem de peças devem possuir teores de enxofre de 0,1 a 0,2% e teor de manganês elevado com aproximadamente 1,65% evitando a formação de FeS. O processo de transporte da gusa líquida deve ser realizada sem perda de calor, sendo realizada por aciaria. O transporte é feito por carro torpedo que permite a dessulfuração com instalação própria por meio de injeção de CaC_2 e gás inerte.

Sucata

É imprescindível a utilização deste material refrigerante no conversor LD, pois do ponto de vista de rendimento, é mais vantajoso empregar uma proporção de sucata de aço devido ao seu alto teor de ferro em comparação a gusa e o ferro fundido. Pode-se realizar a classificação da sucata de aço por meio da sua composição química, dimensões, densidade e grau de contaminação (SILVA, 2011).

Cal

No processo de obtenção de aço por LD, é de extrema importância as reações de refino por meio da oxidação parcial do carbono, manganês, silício, fósforo e enxofre. Desta maneira, a adição de cal torna-se importante para neutralização dos óxidos ácidos formados que podem atacar o revestimento básico do conversor, além de obter um índice de basicidade adequado, imprescindível para uma boa dessulfuração e desfosforação. Além disso, é preciso que a dissolução da cal seja a mais rápida possível para manter a trajetória da composição da escória mantendo a basicidade por maior tempo, sendo assim adicionada no início da injeção de oxigênio (SILVA, 2011).

Fundente

O fundente tem como função mais importante promover a diminuição do ponto de fusão da escória, além de influenciar sobre a sua viscosidade. A diminuição da viscosidade permite a impregnação da cal pela escoria dificultando a formação da camada de silicato. O fluoreto de cálcio (fluorita) é utilizado como fundente da cal acelerando a sua dissolução, aumentando a fluidez da escoria (SILVA, 2011).

Cal dolomita

O consumo da cal dolomita teve início no período de 1962-1963, sendo o seu consumo variando de 0 a 50% do peso da cal carregada. A sua aplicação visa a redução do consumo do refratário, juntamente com a dissolução da cal. A composição da cal dolomita é de 30 a 40% de MgO, 50 a 60% de CaO, 2 a 4% de Fe_2O_3 e de 2% de SiO_2 (SILVA, 2011).

Oxigênio

A injeção de oxigênio de alta pureza em processos de LD tem como finalidade manter os teores de nitrogênio do aço dentro dos limites exigidos para obtenção de matérias de boa qualidade. O valor mínimo é de 99% de oxigênio, sendo a faixa de 99,7 a 99,8% de O_2 e o restante uma mistura de Ar e 50 ppm de N_2 (SILVA, 2011). A altura da lança de injeção de oxigênio também influi no processo de obtenção do aço de boa qualidade, pois lanças próximas ao metal líquido permitem a oxigenação direta do ferro no metal; lanças em regiões mais afastadas aumentam o teor de FeO na escória. Os dois extremos resultam em rendimentos baixos e enfatizam sobre a importância no controle da altura da lança que deve ser de 0,8 a 1 metro do metal líquido (SILVA, 2011).

Ferros ligantes e desoxidantes

A aplicação de ferros ligas e desoxidantes possuem a função de certos da composição química do aço e a retirada de parte do oxigênio contido no metal. É imprescindível que os rendimentos das adições dos ferros ligas sejam os mais elevados possíveis (SILVA, 2011). Os rendimentos estão relacionados a uma série de fatores, dentre os quais, podemos destacar a oxidação do banho e a quantidade de escoria que cai na panela. Um procedimento muito eficiente é a adição do ferro liga na panela de vazamento durante a injeção de gás ar sob pressão.

Refratários

O revestimento da carcaça do conversor de LD é feita por uma camada de tijolos refratários à base de magnésio. O número de corridas conseguidas pelo revestimento está relacionado com a qualidade do material, das técnicas de reparo e, principalmente, da prática operacional (SILVA, 2011). Os principais motivos do desgaste dos refratários nos conversores de LD são:

- » Ataque pela escória.
- » Desgaste mecânico pelo carregamento da sucata pesada.

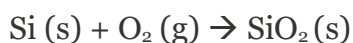
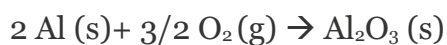
- » Temperatura do fim do sopro.
- » Acentuado resfriamento do conversor durante as paradas de operação.

Classificação de aços

A classificação do aço é realizada a partir do teor de oxigênio em sua composição e sua aplicação (SILVA, 2011):

- » **Aço efervescente:** apresentam baixo teor de carbono (inferior de 0,08%) e teor de oxigênio acima de 200 ppm. O processo de desoxidação continua na lingotaria, com a evolução de CO e CO₂, e a superfície se mantém líquida durante determinado tempo. Este processo pode ser interrompido por meios mecânicos (adição de placas pesadas de gusa) ou químicos (adição de Al). Os aços efervescentes possuem algumas características como:
 - › Impedir a aderência de óxidos nas paredes da lingotaria.
 - › Diminuição na perda na tesoura do laminador desbastador (componente da linha de tiras a quente, a qual permitiu integrar a produção da usina de aço líquido ao produto acabado).
 - › Ausência de espécies oxidáveis capazes de promover a formação das duras (SiO₂ ou AlO₃).
 - › Diminuição nos custos com desoxidante devido a superfície de melhor qualidade.
 - › São indicados para trefilação, embutimento profundo e esmaltação.
- » **Aços semiacalmados:** é a combinação de aços efervescentes com boa superfície e a redução de segregação. Para se obter este tipo de aço, a efervescência é interrompida pela adição de alumínio. Por conta da desoxidação o aço apresenta teor de oxigênio entre 100 a 200 ppm e são empregados na fabricação de chapas grossas para a construção naval.
- » **Aços acalmados:** são aços totalmente desoxidados apresentando teor de oxigênio inferior a 100 ppm. Para obtenção deste material a partir do aço semiacalmado ou acalmado, é adicionado um desoxidante, como por

exemplo, o alumínio ou silício, que remove certa quantidade de oxigênio do aço, conforme a reação:



Reações no conversor

O processo de oxidação de impurezas ocorre por meio do sopro de oxigênio que é combinado, primeiramente, com o Fe para a formação do FeO, conforme a reação (SILVA, 2011):



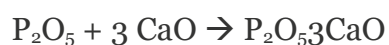
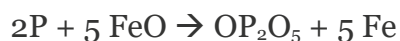
O óxido de ferro (FeO) pode se combinar com outros elementos:

» **Silício e manganês:** no início da injeção de O₂, o manganês e o silício presentes na carga metálica juntamente com uma pequena porção de ferro são oxidadas, gerando uma escória ácida. Esses dois elementos (Mn e Si) são oxidados a níveis baixos, antes da finalização da injeção de oxigênio. Neste período, o teor de Si está abaixo de 0,01%, enquanto que teor total de Mn é reduzido a 75%, conforme as reações:



Com a continuidade da injeção, a escória inicial de silicato é convertido para uma escória com alta basicidade proveniente da dissolução da cal adicionada no processo.

» **Fósforo:** a variação do teor de fósforo só é perceptível após a finalização das reações de Si e Mn. Após o termino destas reações, ocorre uma rápida redução do teor de fósforo até atingir um valor constante que permanecerá até o final da injeção:



A remoção do fósforo é facilitada por uma escória fluida, reativa e com alta basicidade e alta concentração de FeO.

- » **Carbono:** durante o início da injeção, a queda do carbono é muito lenta, no entanto, assim que o Si e Mn são consumidos no processo, e a eliminação do P tenha iniciado, o carbono passa a ser oxidado:



O teor de carbono diminui a uma razão constante até atingir valores de 0,1 a 0,15%, enquanto que o teor de oxigênio e a quantidade de FeO apresentam rápidas elevações. Este fato está relacionado pela concentração de carbono no banho, próximo ao final da corrida não ser suficientemente alto para a proteção excessiva do ferro. Assim, aços obtidos pelo método de conversores LD de baixo carbono apresentam teores de O_2 mais elevados juntamente com o maior volume de FeO na escória.

- » **Enxofre:** o processo de remoção do enxofre é semelhante às condições de remoção do fósforo, no entanto, é um processo de difícil previsão. A remoção requer uma concentração de cal maior do que a necessária para controlar a basicidade da escória. Esta condição ocorre na metade para o final no processo de injeção, pois existe uma quantidade máxima de cal em solução. O enxofre está presente no metal como FeS que reage com a cal para a formação do sulfeto de cálcio, que é dissolvido pela escória básica:



Importância e características da escória

Durante a síntese do aço, a escória é um material de grande importância para o processo, mas sem nenhum valor comercial. Este material tem como função controlar a composição química do aço e permitir a ocorrência de reações químicas na interface metal/ escória.

A escória é composta basicamente por óxidos como o CaO, SiO_2 , FeO, MnO, MgO, Al_2O_3 e por outras espécies de óxidos, possuindo as seguintes características (SILVA, 2011):

- » **Escória oxidante:** possui alto potencial de oxigênio, permitindo a oxidação de elementos que permanecem em contato com este material através de reações de oxidação.
- » **Escória redutora:** possui baixa concentração de oxigênio realizando a retirada de oxigênio dos óxidos que entram em contato com este material por meio da reação de desoxidação.

- » **Escória básica:** quantidade de CaO dividida pela quantidade de SiO₂, for maior que 1. Por exemplo:

$$\text{Quantidade de CaO} = 55\%$$

$$\text{Quantidade de SiO}_2 = 20\%$$

$$\text{Logo: CaO/SiO}_2 = 2,75$$

Valores acima de 1 caracterizam uma escória básica.

- » **Escória ácida:** da mesma maneira que a escória básica, a caracterização da escória ácida obedece a mesma razão, no entanto, os valores abaixo de 1 indicam que a escória é ácida.
- » **Fluidez da escória:** é uma característica muito importante, pois quanto mais fluida a escória melhor será o processo reacional com o metal. Este caráter pode ser obtido pela adição de fluorita e pelo aumento da temperatura do sistema metal/escória. A escória proveniente do processo de LD deve possuir alta fluidez e basicidade para realizar a absorção e retenção de impurezas como o fósforo e enxofre. A formação da escória básica deve ser formada o mais rápido possível para proteger o revestimento do conversor e realizar o refino da corrida. A presença de FeO na escória torna o meio com condições oxidantes permitindo o refino da carga, no entanto, escórias com altos teores de ferro diminuem o rendimento metálico reduzindo o tempo de “vida” do revestimento tornando o controle do processo mais difícil.

Forno elétrico

Breve histórico

No ano de 1878, W. Siemens utilizou um arco voltaico e conseguiu fundir aço num pequeno cadinho pela primeira vez na história, no entanto, devido ao alto custo da energia elétrica seu experimento obteve, somente, caráter científico (SILVA, 2011).

Anos depois, em 1888, Paul Héroult, conseguiu obter uma patente de forno elétrico baseado no arco voltaico. Devido à possibilidade de controlar a temperatura do banho e as condições do processo de oxidação e redução da escória, o setor de siderurgia

reconheceu as vantagens de utilização deste método para obtenção de aço e, atualmente, este processo contribui com 30% da produção mundial.

Tipos de fornos elétricos (FE)

- » **Forno a arco indireto:** neste forno, o arco voltaico encontra-se entre os eletrodos, sendo o calor obtido pela irradiação, pois os eletrodos não são mergulhados na carga. Este forno é considerado, relativamente, estável e constante, mas o consumo de energia é maior em comparação ao forno de arco direto, pois apenas uma parte da energia irradiada o material a ser fundido. O forno possui formato cilíndrico e é constituído de uma carcaça em chapa de aço e com revestimento interno de material refratário. Ao longo do processo, esta carcaça gira em torno de seu eixo.
- » **Forno de arco direto:** neste forno, o arco está entre um dos eletrodos e o material a ser carregado deve ser condutor de eletricidade. O processo de transmissão de calor é feito diretamente à carga.
- » **Forno a indução:** este forno pode atuar em baixa e alta frequência, sendo o calor gerado pela resistência. A passagem de corrente induzida é realizada pelo campo magnético de uma bobina por onde passa uma corrente alternada.
- » **Forno de resistência:** o processo de geração de calor é realizado pelo efeito joule (passagem da corrente elétrica em resistência) permitindo a transformação em energia térmica. Este método é utilizado em tratamentos térmicos, sinterização de pós e fusão de materiais não ferrosos.

Operação do forno elétrico

O modo de operação do forno elétrico possui as seguintes fases (SILVA, 2011):

Preparação e carregamento da carga

O processo de seleção da sucata é realizado de acordo com a sua composição e quanto maior a variedade de aços mais diversificada será o produto final. O preparo da sucata deve permitir:

- » Tempo mínimo de fusão.

- » Evitar possíveis danos aos eletrodos.
- » Formação rápida de banho líquido sobre a soleira para proteger da ação direta dos arcos.
- » Eliminação de material não condutor que são responsáveis pelas rupturas dos eletrodos.

Durante o preparo da sucata, é preciso balancear corretamente a carga visando evitar o comprometimento da produtividade. O carregamento do material é feito em cestos específicos que permitem abertura na parte inferior destes cestos. Na parte mais baixa, devem ser acomodadas as sucatas mais leves com o intuito de amortecer a queda do material de maior peso protegendo a soleira. A seguir acomodam-se as peças mais pesadas seguidas das mais leves, facilitando a abertura do arco voltaico. Em termos de rendimentos, na prática, 100 t de sucata produzem 90 t de aço. Este fato pode estar relacionado com:

- » O metal levado à escória pode estar sob a forma de óxidos.
- » O ferro volatilizado no arco e coletado no sistema de despoeiramento.
- » Perda de material no vazamento ou lingotamento.

Fusão da carga

Após o carregamento, baixam-se os eletrodos até tocarem na carga, seguido do acionamento dos arcos. Nos primeiros 10 minutos, os eletrodos fundem a carga sendo recomendado nesta fase trabalhar com voltagem reduzida até que os eletrodos abram caminho na sucata, protegendo as paredes da irradiação do arco voltaico. Desta maneira, no próximo passo aplica-se alta corrente e voltagem para fundir o mais rápido possível o material permitido que os eletrodos desçam até quase atingir a soleira formando uma poção de metal líquido.

Durante a fusão, a chama ao redor dos eletrodos é forte e altamente oxidante de cor azulada; em caso de formação de coloração amarelada, é um indicativo de formação de pontes de sucata. Antes da completa fundição da carga, a voltagem é reduzida do arco e neste momento adiciona-se cal sobre o banho para proteger a abóbada de irradiação.

Como o processo de alimentação do forno é realizado por grandes cestos, é preciso determinar o momento exato da recarga subsequente, pois caso o carregamento seja feito tardiamente será perdido grande parte da energia por irradiação. Se o carregamento for

antecipado, todo o processo será interrompido justamente no período que a maior potência será aplicada no sistema. Finalizada a fusão, espera-se que o teor de carbono presente no aço esteja 0,25% acima do teor da análise final, para que com a evolução de CO da oxidação ocorram agitação e eliminação de outros gases envolvidos no processo.

Refino oxidante

O refino oxidante é obtido pela inserção no banho minério de ferro ou carepa de laminação e ou injeção de oxigênio. O oxigênio irá oxidar os elementos químicos de interesse que serão eliminados parcialmente na forma de óxidos.

Alguns fatores podem influenciar o processo de refino oxidante:

- » Temperatura do banho.
- » Fluides da escória.
- » Basicidade da escória.
- » Porcentagem de carbono no aço.

Refino redutor

O processo de refino redutor tem como finalidade:

- » Desoxidação do metal.
- » Eliminar o enxofre presente no meio.
- » Acerto final de composição.
- » Acerto de temperatura.

Vazamento

Neste processo, é preciso realizar um jato compacto sem dispersão para que a superfície de contato seja o mínimo possível. Para que o metal tenha o mínimo possível de oxigênio, é preciso realizar o processo de desoxidação na panela utilizando alumínio ou ferro manganês seguido do processo de rinsagem (é uma agitação do metal fundido). Ao término deste processo e verificada a temperatura, o material está pronto para ser lingotado.

Desvantagens do FE

- » É preciso utilizar vários fornos para alimentar o lingotamento contínuo em corridas sequenciais.
- » A instalação econômica não ultrapassa a 1,5 Mt ano⁻¹.
- » Devido a grande diversidade da sucata, é impossível imaginar um modelo matemático de controle de carga.

Forno de panela

Esta técnica surgiu em 1971, no Japão, que consiste no processo de rinsagem proveniente do borbulhamento de gás inerte, adição de elementos de liga e dispositivos de aquecimento que permitem realizar o refino desoxidante na própria panela de vazamento por meio da elaboração de uma nova escória, controle de temperatura e acerto da composição final do aço. O equipamento substitui integralmente o refino desoxidante feito no forno elétrico convencional (SILVA, 2011).

A utilização do forno de panela possui objetivos e vantagens importantes como:

» Metalurgia:

- › Retirada de gases devido ao processo de rinsagem durante o tratamento no forno panela.
- › Eficiência na desoxidação.
- › Eficiência na remoção da primeira escória.
- › Controle da basicidade devido a rinsagem prolongada.
- › Dessulfuração eficaz.
- › Rinsagem de 30 minutos permite a realização da homogeneização química completa evitando o efeito de segregação do aço.

» Produção:

- › Acerto na composição química e, conseqüentemente, diminuição na perda de corridas fora de faixa.
- › Aumento na produtividade por conta de o refino redutor ser direto na panela evitando possíveis perdas.

» Econômicos:

- › Diminuição do desvio por composição química.
- › Redução de perdas no lingotamento contínuo.
- › Aumento no rendimento nas adições de ferros ligas.
- › Menor consumo energético.
- › Redução no consumo de eletrodos.

Classificação dos aços

São ligas de Fe – C com teor de carbono que pode variar de 0,008% a 2,0% sem a presença de outros elementos além do Si, Mn, P e S. Estes elementos são caracterizados como impurezas e seus teores podem variar entre (SILVA, 2011):

- » Si: 0,10 a 0,30%;
- » Mn: 0,25 a 1,65%;
- » P e S: menos que 0,05%.

Os aços são classificados conforme o seu teor de carbono:

- » **Aços comuns de baixo teor de carbono:** apresentam valores inferiores a 0,25% de C, possuem boa plasticidade e utilizados na fabricação de chapas, barras e perfis.
- » **Aços comuns de médio teor de carbono:** apresentam teor de 0,25% a 0,50% de C, possuem elevada dureza e boa resistência, são empregados na fabricação de eixos, trilhas e rodas locomotivas.
- » **Aços comuns de alto teor de carbono:** apresentam teor acima de 0,50%, apresentam elevada dureza, são empregadas na produção de limas, molas de automóveis, punções e algumas matrizes.

- » **Aços não comuns:** apresentam propriedades superiores em relação aos aços comuns e são empregadas para finalidades específicas. Este material apresenta teores elevados dos elementos presentes no aço comum.
- » **Aços especiais:** apresentam em sua composição elementos especiais como Cr, Ni, Mo, e dentre outros, além dos elementos normais. São conhecidos também como aços liga ou aços ligados. Existe um critério que designa estes aços utilizando os teores dos principais elementos presentes em sua composição. Por exemplo:
- » **Aço 18 – 8:** é um aço inoxidável austenítico que contém 18% de Cr e 8% de Ni.

Nomenclatura dos aços

São normas desenvolvidas pela S.A.E (*Society of Automotive Engineers*) e pela A.I.S.I (*American Iron and Steel Institute*) que utilizam métodos numéricos para identificação de aços (SILVA, 2011):

- » Quatro números chaves são utilizados para designar os aços.
- » Os dois primeiros estão relacionados ao tipo e o teor de carbono em centésimos por cento.
- » Aço carbono: 1XXX:
 - › SAE 10XX – aço carbono comum.
 - › SAE 11XX – aço carbono não comum.
 - › SAE 12XX – aço com alto teor de fósforo.
 - › SAE 13XX – aços carbonos com alto teor de manganês.
- » SAE 2XXX – aço níquel.
 - › SAE 23XX – aço níquel com 3% de níquel.
- » SAE 3XXX – aço níquel cromo.
 - › SAE 4XXX – aço molibdênio.

› Exemplo: SAE 1020 – aço carbono comum com 0,20% de C.

A norma que regulamenta e especifica a produção de aço é a ABNT NBR – 7480 (barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado).

A classificação dos aços nas categorias CA25, CA50 e CA60 é realizada por meio de suas características mecânicas obtidas no ensaio de tração em que são determinados os limites de resistência, escoamento e alongamento que devem atender os valores apresentados no quadro 9.

Quadro 9. Classificação dos aços CA.

Categoria	Limite de escoamento kgf mm^{-2} (MPA)	Limite de resistência	Alongamento (em 10)%
CA 25	25 (250)	1.20 x L. E	18
CA 50	50 (500)	1.10 x L. E	5
CA 60	60 (600)	1.05 x L. E	8

Fonte: Adaptado de: <<http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/belgo5060.pdf>>. Acesso em: 26/6/2018.

CAPÍTULO 2

Cimento

Breve histórico

Originária do latim a palavra cimento designava uma espécie de rocha natural na antiga Roma, tendo como origem há 4.500 anos. Desde então, misturas de diferentes substâncias foram empregadas na construção de templos e palácios, como por exemplo, o Coliseu, que foi erguida utilizando solos de origem vulcânica que possuíam propriedades de endurecimento após contato com a água (GAUTO, 2011).

Em 1756, o inglês John Smeaton conseguiu produzir um cimento de alta resistência a partir da calcinação de calcários moles e argilosos. Anos mais tarde, em 1818, o francês Vicat conseguiu obter resultados semelhantes ao de Smeaton por meio de mistura de componentes argilosos e calcário, sendo considerados por muitos o pai do cimento artificial. No ano de 1824, o inglês Joseph Aspdin que atuava na área de construção, queimou em conjunto pedras de calcário e argila até que se transformassem em pó. Ele percebeu que, após a secagem, este material adquiria forte rigidez semelhante às pedras empregadas na construção civil. Esta mistura obtida adquiria alta resistência que não se dissolvia na água e foi patenteada no mesmo ano pelo construtor recebendo o nome de Cimento Portland devido as suas características serem semelhantes às rochas da ilha britânica de Portlan.

Matéria-prima

O cimento é constituído basicamente por calcário, argila e gesso. O calcário é constituído por CaCO_3 que dependendo de sua origem pode conter em sua mistura várias impurezas. A argila é composta por silicatos de ferro e magnésio, além de potássio, magnésio, sódio, cálcio e titânio. Além destes elementos, a argila fornece óxidos de alumínio, ferro e sódio a mistura de cimento podendo utilizar também a bauxita, minério de ferro e areia, respectivamente, para a correção de teores dos componentes necessários para a mistura. O gesso é o último componente a ser adicionado na mistura para regular o tempo de pega (endurecimento) devido às reações de hidratação que ocorrem nesta fase. O gesso é constituído por sulfato de cálcio (CaSO_4) podendo ser anidro, di-hidratado ou penta-hidratado; existem gessos que são fabricados a partir da indústria de ácido fosfórico partindo-se da apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$) (GAUTO, 2011).

Fabricação do cimento

Para a fabricação do cimento existem dois métodos: a via úmida e seca. Nestes processos, a matéria-prima (mencionada anteriormente) é extraída das jazidas e britada para que possam ser manuseadas. Após este processo, tanto pela via úmida e seca, é obtido um produto intermediário conhecido como clínquer, sendo o produto final idêntico pelas duas vias (GAUTO, 2011).

O processo pela via úmida foi empregado no início da fabricação industrial do cimento sendo caracterizado por instalações simples e composto por fornos e moinhos. Neste processo, é possível obter uma mistura de alta qualidade com baixa emissão de pó em sistemas primitivos despoeiramento. A mistura de matéria-prima é moída com adição de água 40% de água sendo inserido no forno rotativo sob a forma de polpa. Este processo é pouco utilizado devido ao seu alto consumo energético para eliminação da água. Como principais vantagens, a via úmida permite melhor manuseio da matéria, transporte e menor desgaste dos moinhos. A via seca possui vantagem de necessitar menor quantidade de energia, pois não é necessário realizar a retirada de água do processo. Em termos de comparativos, a taxa de consumo da via úmida é de 1250 kcal por quilo de clínquer enquanto que a via seca consome 750 kcal.

No processo seco, o material é moído, e alimenta o forno em forma de pó, sendo a umidade retirada para o aproveitamento de gases quentes do forno. O processamento do material é mais curto em comparação a via úmida, no entanto, a homogeneização torna-se mais difícil e a taxa de emissão de poeira é muito alta necessitando a instalação de equipamentos de despoeiramento mais complexos.

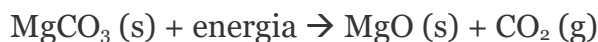
Reações no processo de clínquerização

Durante a formação do clínquer, ocorrem diversas reações dentro do forno rotativo das quais podemos destacar: evaporação da água livre, decomposição dos carbonatos, desidroxilação das argilas e formação de silicatos, ferro e alumínio (GAUTO, 2011).

» **Evaporação da água livre:** ocorre a temperatura inferior a 100°C



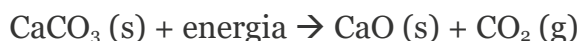
» **Decomposição do carbonato de cálcio:** o calcário apresenta carbonato de cálcio em sua composição sendo conhecido como calcário dolomítico. O processo de decomposição desta espécie tem início a 340°C, no entanto, conforme o ocorre a decomposição do calcário a temperatura também se eleva:



UNIDADE II | PROCESSOS QUÍMICOS INORGÂNICOS

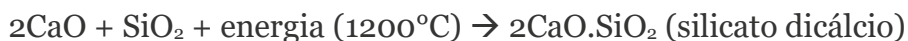
O MgO liberado nesta etapa dissolve-se na fase líquida formando, posteriormente, soluções sólidas com as partes mais importantes do clínquer.

- » **Decomposição do carbonato de cálcio:** este processo tem início a temperatura por volta de 805°C, sendo em 984°C a temperatura crítica de dissociação do carbonato de cálcio puro a 1 atm de pressão.

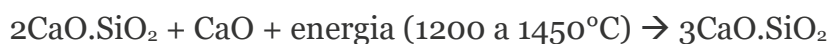


Esta reação é uma das mais importantes do processo de clínquer, pois existe um grande consumo de energia para realizar este processo além da velocidade de reação referente ao deslocamento do material do forno. Em fornos de pré-calcinadores, cerca de 94% da descarbonatação ocorre neste sistema, sendo o restante nos fornos. A etapa de descarbonatação deve ser completa, pois é preciso que o material penetre na zona de alta temperatura no forno, conhecido como zona de clínquerização.

- » **Desidroxilação de argilas:** as reações iniciais para a formação do clínquer ocorrem a 550°C com a desidroxilação da fração argilosa da farinha (crua). A argila perde água dando origem a silicatos de alumínio e ferro que são fortemente reativos com óxido de cálcio que é liberado a partir da decomposição do cálcio. A reação entre os óxidos liberados e o calcário é lenta, sendo o produto inicial pobre em CaO fixado. Conforme o aumento da temperatura e a velocidade de reação o material é enriquecido por CaO.
- » **Formação de silicatos dicálcio (2CaO.SiO₂):** a formação desta espécie tem início a 900°C em que a sílica livre e o CaO reagem lentamente, sendo que na presença de ferro esta reação é acelerada.



- » **Formação de silicato tricálcio (3CaO.SiO₂):** a formação desta espécie ocorre por volta de 1200 a 1400°C, sendo os produtos desta reação 3CaO.SiO₂, 2CaO.SiO₂, 3CaO.Al₂O₃, e 4CaO.Al₂O₃ e o CaO livre.



Características do cimento

A aplicação do cimento é variada, sendo possível formar concreto a partir da mistura de areia com brita, revestir e colar diferentes tipos de materiais. A adição de diferentes tipos de novos componentes e a variação porcentual de seus componentes normais permite adquirir outras características, como por exemplo, rápido endurecimento e resistência a álcalis (GAUTO, 2011).

O cimento obtido pelas cimenteiras é conhecido, tecnicamente, como cimento de Portland que é composto pela mistura de $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ e outras porções de compostos de magnésio e ferro. O quadro a seguir apresenta a proporção aproximada destas espécies:

Quadro 10. Composição do cimento Portland.

Fórmula molecular	Nome e sigla	Percentual
$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	Silicato tricalcico (C_3S)	18 a 66%
$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	Silicato dicálcico (C_2S)	11 a 53%
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	Aluminato tricálcico (C_3A)	5 a 20%
$4\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	Ferro aluminato tetracálcio (C_4AF)	4% a 11%

Fonte: adaptado de: <<http://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/tipos/a-versatilidade-do-cimento-brasileiro/>>. Acesso em: 27/6/2018.

Aditivo de cimento

O cimento pode adquirir características diferentes a partir da adição de alguns componentes, como por exemplo, o aumento da resistência, tempo de pega e entre outros. Dentre os aditivos mais comuns empregados na mudança das características do cimento são: gesso, fíler, calcário, pozolanas e escória de alto forno (GAUTO, 2011).

Gesso

O sulfato de cálcio di-hidratado (gipsita), conhecido também como gesso, é adicionado ao cimento na etapa final do processo para regular o tempo de pega (endurecimento), permitindo que seja trabalhado, por pelo menos, uma hora. Na ausência da gipsita na mistura, o cimento inicia o processo de endurecimento a partir de 15 minutos após o preparo, comprometendo a sua utilização em concretos.

Fíler calcário

Segundo as normas da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2018), o mercado brasileiro possui 8 diferentes tipos de cimentos que atendem a demanda do mercado nacional:

» Cimento Portland comum (CP I):

- › CP I – Cimento Portland Comum;
- › CP I S – Cimento Portland Comum com Adiação.

UNIDADE II | PROCESSOS QUÍMICOS INORGÂNICOS

» Cimento Portland composto (CP II):

- › CP II E – Cimento Portland Composto com Escória; ›
- CP II Z – Cimento Portland Composto com Pozolana;
- › CP II F – Cimento Portland Composto com Fíler.

» Cimento Portland de Alto Forno (CP III).

» Cimento Portland Pozolânico (CP IV).

» Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V – ARI).

» Cimento Portland Resistente a Sulfatos (RS).

» Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC).

» Cimento Portland Branco (CPB).

Estes tipos de cimentos diferenciam-se pela quantidade de clínquer e sulfato de calcário em sua composição, derivados carbonáticos e de adições, como por exemplo, escória, polozana e calcário que são acrescentados no processo de moagem. Além destas características, os cimentos podem diferir na função intrínseca como na alta resistência, coloração branca e dentre outros.

O cimento Portland comum (CP I) pode conter adição de CP Z na faixa de 1 a 5% do material polozânico, escória ou fíler calcário e o restante de clínquer. O cimento Portland composto (CP II – E, CP II – Z e CP II – F) possui adições de escórias pozolana e fíler, respectivamente, em proporções um pouco maiores que no CP I–S. O cimento Portland de alto forno (CP III) e o cimento Portland Pozolânico (CP IV) possuem proporções maiores de adições: escória de 35 a 70% (CP III), e pozolana, de 15 a 50% (CP IV).

Coprocessamento de resíduos

O coprocessamento é a queima de resíduos industriais e de passivos ambientais em fornos utilizados para a fabricação de cimentos. No Brasil, existe cerca de 47 fábricas integradas (com fornos) sendo que 36 delas são licenciadas para o coprocessamento de resíduos. Essas 36 fábricas licenciadas apresentam 80% da produção de clínquer no país (GAUTO, 2011).

Dentro do segmento industrial, o Brasil produz cerca de 2,7 milhões de toneladas de resíduos de alta periculosidade proveniente da indústria siderúrgica, petroquímica, automobilística, alumínio, tintas, embalagens, papel e pneumáticos, anualmente, sendo processados cerca de 800 mil toneladas. No ano de 2006, foram eliminados cerca de 100 mil pneus velhos que correspondem a 20 milhões de unidades, segundo a ABCP.

O coprocessamento possui algumas vantagens como:

- » Eliminação definitiva e segura ambientalmente de resíduos de alto risco.
- » Substituição de combustíveis não renováveis por combustíveis não convencionais.
- » Contribuição para a saúde pública, como por exemplo, na eliminação de focos de dengue (eliminação de pneus velhos).

A eliminação de resíduos pela queima em fornos está em expansão na América Latina, mas é amplamente explorada nos Estados Unidos da América e Europa. Na Noruega, o processo de queima em fornos é um processo oficial para a destruição de resíduos perigosos. O setor cimenteiro nacional tem a capacidade de queimar até 1,5 milhão de toneladas de resíduos por ano.

Consumo energético

O consumo energético no setor cimenteiro no Brasil, tanto para a energia térmica quanto a energia elétrica, encontra-se, respectivamente, 825 kcal por quilo de clínquer e 107 kWh por tonelada de cimento. Estes valores são inferiores em comparação aos gastos energéticos apresentados pelos Estados Unidos da América e a União Europeia, demonstrando assim, a ineficiência energética industrial brasileira (GAUTO, 2011).

Emissão de CO₂

Um dos maiores desafios na área ambiental é o controle de emissão gás carbônico, que é o responsável pelo efeito estufa. O setor de produção de cimento é responsável por cerca de 5% da emissão mundial de CO_2 (GAUTO, 2011).

A indústria nacional tem apresentado esforços para cumprir com a redução de gases poluentes no meio ambiente buscando a adoção de processos mais eficientes e com menor consumo energético. Um processo da indústria de cimento que contribui para a redução de emissão de CO_2 é a utilização da escória do alto forno na mistura do clínquer. Desta maneira, o Brasil produz, atualmente, $610 \text{ kg CO}_2 \text{ ton}^{-1}$ de cimento, ficando atrás de outros países como Espanha, $698 \text{ kg CO}_2 \text{ ton}^{-1}$ de cimento, Inglaterra, $839 \text{ kg CO}_2 \text{ ton}^{-1}$ de cimento, e China, $848 \text{ kg CO}_2 \text{ ton}^{-1}$ de cimento.

CAPÍTULO 3

A indústria cloro-álcali

Introdução

A indústria dos álcalis e seus derivados utiliza como base a tecnologia de produção de soda cáustica e produtos afins. Neste capítulo, iremos adotar o termo soda cáustica e o termo produtos afins fará referência ao cloro, hidrogênio, ácido clorídrico, hipoclorito de sódio e a barrilha. Dentre estes produtos, a barrilha pode ser considerada como coproduto para a produção de soda cáustica utilizando o processo eletrolítico, no entanto, é possível considerar a esta tecnologia pela utilização de sal como matéria-prima principal no processo Solvay. Essas substâncias são importantes em nosso cotidiano, em especial, na indústria de sabões e detergentes, fibras e plásticos, vidros, polpa, papel e dentre outros. (PEREIRA, 2010).

A soda cáustica ou hidróxido de sódio caracteriza-se por ser um sólido branco, higroscópico solúvel em água e álcool, sendo comercializado na forma sólida em escamas ou grânulos, ou em forma líquida em solução. É um produto tóxico e altamente corrosivo em contato com a pele. Possui ponto de fusão a $31,8^\circ\text{C}$ sendo obtida quase que exclusivamente pelo processo eletrolítico, a partir do cloreto de sódio. A soda cáustica tem grande aplicabilidade na indústria, principalmente na forma de solução, em que a espécie no estado sólido é dissolvida em água ou realiza-se a diluição da solução até atingir a concentração desejada. Possui forte caráter higroscópico e altamente reativo absorvendo o CO_2 presente do ar para a formação do carbonato, sendo necessário estocá-lo hermeticamente em tambores ou tanques de ferro ou plástico. O manuseio deve ser realizado com a utilização de óculos protetores e luvas.

O cloro caracteriza-se por ser um gás amarelo-esverdeado, com odor sufocante que ataca as vias respiratórias. É um gás mais denso que o ar podendo liquefazer-se por resfriamento e compressão. A molécula de Cl_2 possui ponto de fusão $-101,6^\circ\text{C}$ e ponto de ebulição a $-34,6^\circ\text{C}$, sendo altamente solúvel em água (3: 1 de Cl_2 : H_2O). A exposição na luz promove a dissolução do cloro para a formação de ácido clorídrico que se combina com o hidrogênio e formando o oxigênio atômico, de ação descorante e antisséptica. A utilização do cloro pode ser como descorante e desinfetante na forma de hipoclorito, na extração de ouro, obtenção de diferentes tipos de cloretos, hipocloritos, cloratos, solventes orgânicos e dentre outras aplicações. Além disso, o cloro também pode ser comercializado comprimido ou liquefeito em cilindros de aço.

O gás hidrogênio caracteriza-se por ser incolor, inodoro e insípido sendo difícil o processo de liquefação. Seu ponto de fusão é $-259,1^\circ\text{C}$ e ponto de ebulição $-252,7^\circ\text{C}$, sendo a substância mais leve que o ar. Possui baixa solubilidade em água, bom condutor de calor e de eletricidade possuindo facilidade no processo de difusão. Em processos químicos, é aplicado como redutor e na indústria são produzidos em grande quantidade para diversos usos, como por exemplo, maçaricos oxidantes (2500°C), hidrogenação, redução catalítica e nos processos de obtenção de ácido clorídrico e amônia. Comercialmente, o hidrogênio é vendido na forma comprimida a 200 ou 300 atmosferas acomodadas em cilindros de aço com alta resistência.

O cloreto de hidrogênio, em condição ambiente, encontra-se no estado gasoso e na forma de solução são conhecidas como ácido clorídrico ou ácido muriático quando a solução está em grau industrial. A solução aquosa de cloreto de hidrogênio são incolores podendo adquirir coloração levemente amarelada com a presença de ferro dissolvido. Na forma gasosa, o ácido não apresenta coloração possuindo odor forte e penetrante; possui densidade maior do que o ar sendo extremamente solúvel em água liberando fumaça na presença de umidade. É um composto estável e não combustível. Na forma aquosa, possui características de ácido forte com concentração próxima de 37% com densidade de $1,2\text{ g ml}^{-1}$ possuindo alta reatividade com metais, óxidos básicos e hidróxidos, sendo empregados no preparo de cloretos, decapagem de metais, indústria de petróleo, indústria alimentícia e dentre outros.

O hipoclorito de sódio é um sal comercializado na forma de solução aquosa, alcalina possuindo cerca de 13% de NaClO , possuindo coloração amarelada e odor característico. Em solução, este sal apresenta ponto de fusão de -25°C e decompondo-se por aquecimento. Possui alta solubilidade em água e com densidade (solução) de $1,2\text{ g ml}^{-1}$, pH entre 9 – 11; possui propriedades oxidantes, branqueantes e desinfetantes sendo aplicados no processo de branqueamento da celulose e têxteis, desinfecção da água potável, tratamento de piscinas, desinfecção hospitalar, produção de água sanitária, higiene alimentar e intermediário na produção de derivados químicos.

O carbonato de sódio também conhecida como barrilha ou soda Ash ou soda Solvay é um sólido branco, com média solubilidade em água e de importância comercial. Possui alta produção industrial sendo empregado na fabricação de vidros, sabão, hidróxido de sódio, drogas, pinturas, couro, metalurgia, fotografia, corantes, alimentos e dentre outros.

Matéria-prima

O processo de obtenção de soda e produtos afins utilizam reagentes empregados na química inorgânica possuindo custo, relativamente, baixo. Mas para que este custo

continue se mantendo baixo, é preciso que a localização da indústria fabricante possua localização estratégica para evitar maiores custos, como por exemplo, gastos no frete e de energia (PEREIRA, 2010).

A principal matéria-prima para a produção de soda cáustica e produtos afins é o cloreto de sódio, proveniente das jazidas (sal-gema ou halita) e da água do mar. No caso da barrilha, é preciso adicionar no processo, além do cloreto de sódio, o carbonato de cálcio e amônia. O sal-gema possui grande importância econômica além da economia doméstica: é empregado em aplicações industriais como na fabricação de derivados de sódio. A salmoura saturada possui a temperatura de 12°C, 35,91% de NaCl; na água do mar existe aproximadamente 3,75% de sais dissolvidos sendo que 3,5% corresponde ao cloreto de sódio.

Produção de soda cáustica e derivados

Existem diversos tipos de processos de obtenção de soda cáustica, cloro, hidrogênio, ácido clorídrico e hipoclorito de sódio, no entanto, neste tópico daremos enfoque para o método eletrolítico da salmoura do cloreto de sódio. As células eletrolíticas possuem características distintas pelo tipo de célula empregada, podendo ser de diafragma, membrana e mercúrio (PEREIRA, 2010).

O processo de fabricação restringe-se ao da eletrólise e seus controles, possuindo etapas secundárias que consistem na adequação da salmoura, tanto no preparo e tratamento dos produtos secundários (lavagem, secagem, compressão e armazenamento dos gases resultantes que são o cloro e hidrogênio) e o tratamento do produto da reação entre o ácido clorídrico e hipoclorito de sódio.

Preparo da salmoura

O preparo da salmoura pode ser a partir do sal bruto ou purificado e da água do mar concentrada. Em todos os processos, a purificação é uma etapa crucial para aumentar a eficiência da produção, pois evitará a ocorrência de inconvenientes na operação da cuba eletrolítica (PEREIRA, 2010).

Durante o tratamento da salmoura, são eliminados o cálcio, ferro e o magnésio com a utilização da barrilha e uma pequena porção de soda promovendo a precipitação destas impurezas formando compostos insolúveis que são retirados posteriormente por filtração. O sulfato é eliminado pela adição de cloreto de bário ou por aquecimento da salmoura alcalinizada com a mistura de barrilha e soda cáustica. Após a filtração, é

realizada a correção do pH com adição de ácido clorídrico devido a utilização de alcalinizantes. A adição de ácido para a correção de pH é necessária para evitar o entupimento de tubulações e aumentar o rendimento da eletrólise.

A etapa inicial da salmoura inicia-se com o preparo da solução saturada com concentração, aproximada, de 29 a 31% de NaCl, seguida de aquecimento a 65°C, sendo enviadas para as cubas de eletrólise para a “síntese” da soda cáustica, hidrogênio e cloro. Finalizada a síntese, a salmoura diluída retorna ao ciclo para um novo tratamento de ressaturação retornando posteriormente para as cubas.

Processo de eletrólise

A salmoura, pós-tratamento, alimenta as cubas eletrolíticas (compartimento anódico) de modo que o nível permaneça constante evitando possíveis problemas operacionais, sendo que cada célula utiliza de 3 a 4,5 V de energia e são, normalmente, ligadas em série. O grande diferencial do processo está no tipo de célula empregado (PEREIRA, 2010).

Método amalgama (eletrólise em célula de mercúrio)

A célula apresenta uma leve inclinação na parte inferior, o anodo é composto por vários eletrodos de grafite ou titânio aditivado e o catodo é constituído por mercúrio que recobre a base da célula e flui lentamente durante o processo.

O eletrólito é composto por uma solução de cloreto de sódio de concentração de 290 a 319 g L⁻¹ com temperatura de operação a 65°C e tensão de trabalho variando de 4 a 4,5 V.

As duas partes essenciais da célula são o eletrolisador e o decompositor. A produção do gás cloro ocorre no anodo enquanto que o sódio é depositado sobre a superfície do catodo de mercúrio que é dissolvido formando a amalgama. A amalgama formada sofre decomposição no decompositor na presença de água desmineralizada formando a solução de soda caustica com teor de 50 a 73% de NaOH produzindo também H₂.

A circulação do mercúrio se mantém fechada entre o eletrolisador e o decompositor sendo mantida pelas bombas e outros dispositivos. A salmoura esgotada do eletrolisador perde o cloro e é continuamente realimentada com sal sólido e puro para dar continuidade ao processo.

As reações que ocorrem na célula, tanto no eletrolisador e decompositor, são:

» Eletrolisador:



» Decompositor:



» Reação total:



Eletrólise em células de diafragma

A célula de diafragma é separada por várias camadas de asbesto (amianto) que forma um diafragma no espaço anódico e no espaço catódico. Neste método, utiliza-se também anodos de grafite e catodos de ferro; o eletrólito é uma solução pura e saturada de NaCl que alimenta continuamente a parte superior da célula.

Os íons cloreto são descarregados no anodo, numa voltagem continua de 4 V, formando gás cloro no espaço anódico. Os íons Na^+ e H^+ são descarregados por último devido aos seus elevados valores de potenciais de redução. O hidrogênio é recolhido na parte inferior do diafragma e sendo recolhido no espaço catódico.

Este tipo de célula produz solução com teor de 12% de soda cáustica. A seguir, são apresentadas as reações realizadas neste tipo de célula:

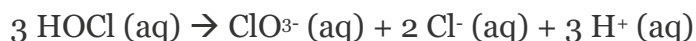
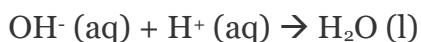
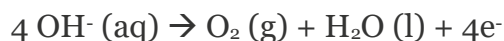


» Reação global: $2 \text{NaCl (aq)} + 2 \text{H}_2\text{O (l)} \rightarrow 2 \text{NaOH (aq)} + \text{H}_2 \text{(g)} + \text{Cl}_2 \text{(g)}$

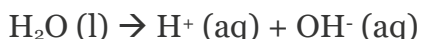
Eletrólise em células de membrana

Esta célula é composta por uma membrana (fabricada de polímero microporoso) seletiva que mantém os compartimentos anódicos e catódicos separados. No compartimento anódico, é injetado a salmoura para a formação de gás cloro, os íons de sódio, provenientes da dissociação da salmoura, fluindo para o compartimento catódico região que ocorre a formação da soda cáustica. Os resíduos obtidos neste processo podem ser ressaturados e reaproveitados. Células de membranas produzem uma soda cáustica com concentração de 30 a 50% de cloro e 98 a 99% de hidrogênio puro. As reações deste tipo de célula são as mesmas nas células de diafragma, e de maneira simplificadas podemos representá-las da seguinte maneira:

» Reação catódica:



» Reação anódica:



» Reação global:



Estas células possuem alta eficiência apresentando menor risco ambiental e toxicológico.

Processo de evaporação e purificação da soda cáustica

De modo geral, a eficiência máxima na produção de soda caustica é de 50%, para células de membrana ou diafragma e 73% para amalgamas. A evaporação da soda obtida com concentrações de 50% é realizada por evaporadores de estágio duplo ou triplo a partir da precipitação do sal que é decantado, filtrado e lavado. Este sal retorna a célula eletrolítica e o licor purificado (soda caustica) é comercializada a granel em tambores ou carros – tanque.

Outro produto que pode ser obtido neste processo é a soda cáustica sólida (em forma de escama) por meio do processo de evaporação da soda líquida utilizando um evaporador de um estágio sendo possível obter soda com pureza de 70 a 75%. Este tipo de soda é conduzido por tubos aquecidos a vapor para evitar a solidificação podendo ser embalada em tambores formando a soda fundida; outra possibilidade é o envio da solução concentrada da soda para uma escamadeira transformando-a em escamas e embaladas em sacos de polietileno.

O processo de obtenção de uma soda com pureza de 96 a 98% é possível pela passagem da solução com 50% de pureza aquecida numa torre contra uma corrente de amônia anidra. A acomodação desta soda com alto teor de pureza deve ser do mesmo modo que a soda com pureza de 70 a 75%. A soda obtida pelo processo de mercúrio possui maior teor de pureza e o processo de purificação de cloretos e cloratos mais simples.

Para fins comerciais, a soda pode ser classificada em dois tipos em relação a quantidade de cloretos presentes: grau comercial e grau rayon. Considerando a soda na forma de escamas é possível obter de 2,2 a 0,03%, respectivamente.

Tratamento de gases da eletrólise (Cl_2 e H_2)

Devido a sua leve e insolubilidade na água, o gás hidrogênio permite o arraste de impurezas nas cubas ou no decompositor quente. Para evitar possíveis contaminações por impurezas, é preciso resfriar o gás H_2 e conduzi-lo para um gasômetro para estocagem e posterior comercialização para a síntese do ácido clorídrico. Nos processos utilizando as células de diafragma ou membrana, o gás pode arrastar a salmoura contendo cloreto, cloratos e possíveis resíduos de soda, sendo preciso resfriar, lavar e secar o gás. O processo de lavagem é realizado com água desmineralizada e a secagem em coluna de ácido sulfúrico, seguido do processo de estocagem. No processo de mercúrio, é realizado, somente, o resfriamento e recirculação da soda arrastada para a escamadeira após a saída das cubas de eletrólise.

O gás cloro, devido a sua alta solubilidade em água, apresenta maiores dificuldade no processo de purificação. É preciso realizar a lavagem, o resfriamento, a secagem, a

compressão, a filtração, a liquefação e a estocagem em cilindros para comercialização. O processo de lavagem é realizado em torres com recheio, secagem em torres de ácido sulfúrico e a filtração com lã de vidro para absorção do ácido da secagem. As últimas etapas são físicas: compressão, filtração, liquefação e condução para armazenamento.

Produção de hipoclorito de sódio e ácido clorídrico

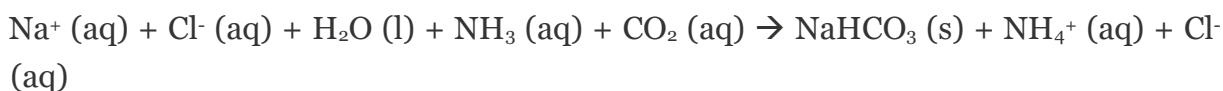
A obtenção do hipoclorito de sódio é possível a partir da solução de soda cáustica com concentração de 20% com gás cloro seco concentrado. O gás é inserido numa torre e banhado com solução de soda, seguido da adição de água industrial para manter a concentração de hipoclorito próximo a 12 a 13%. Nesta etapa, é preciso manter a temperatura do sistema em valores baixos para evitar a conversão do hipoclorito em clorato. A reação do processo consiste em:



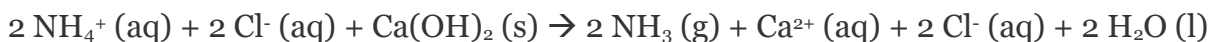
O processo de obtenção do ácido clorídrico é possível a partir da combustão do gás cloro, em presença de hidrogênio, em fornos com revestimento de grafite e com a injeção de água abrandada para absorção do ácido gasoso para formação da solução comercial conhecido também como ácido muriático. A solução obtida é resfriada para armazenamento e a concentração final deste produto é de 30 a 33% do ácido.

Produção de barrilha ou soda Solvay

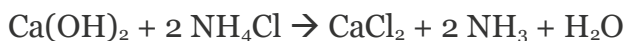
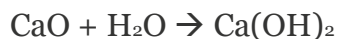
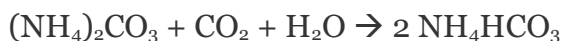
Grande parte da produção mundial do carbonato de sódio utiliza o processo Solvay ou do amoníaco, que foi aprimorado pelo belga Ernest Solvay, em 1863. As matérias-primas envolvidas neste processo são o sal comum, calcário e amônia. Os materiais de partidas empregados nesta síntese são o gás amônia, gás carbônico e solução saturada de cloreto de sódio (salmoura) a temperatura de 10 a 15°C. O processo inicia-se com a solução saturada de salmoura que é saturada com gás amônia, seguida da inserção de gás carbônico que converterá a amônia em bicarbonato de amônio e o sódio em bicarbonato de sódio. Devido a diferença de solubilidade, o bicarbonato de sódio pode ser removido por filtração. Todo o processo de conversão pode ser simplificado pelas seguintes reações:



O bicarbonato com alto grau de impureza é lavado com água e aquecido para a formação do carbonato de sódio (barrilha) e a água e o gás carbônico são reciclados no processo. A amônia é recuperada por meio do aquecimento do cloreto de amônio e hidróxido de cálcio que são subprodutos da reação:



É importante salientar que o gás carbônico e o óxido de cálcio possuem origem da decomposição térmica do calcário, sendo este último, dissolvido em água produzindo o hidróxido de cálcio e regenerando a amônia, conforme as reações:



O processo Solvay é um dos métodos mais importantes e versáteis para a ciclização de matérias-primas inorgânicas, pois gera apenas um subproduto (cloreto de cálcio) com aplicabilidade, podendo atuar como agente dessecante devido ao seu alto caráter higroscópico.

CAPÍTULO 1

Tintas

Introdução

A utilização de tintas tem origem pré-histórica quando as antigas civilizações registravam suas atividades em formas coloridas nas paredes de suas cavernas. Por volta de 1500 a.C, os egípcios possuíam uma ampla gama de derivados e cores de pigmentos voltados para a pintura. Mas somente no século XX ocorreu um grande avanço no desenvolvimento de novos polímeros (resina) no setor (GAUTO, 2011).

Nos últimos anos, devido ao desenvolvimento tecnológico, estão surgindo novas aplicações para este material, aliado a preocupação ambiental que auxiliou no desenvolvimento de tintas com baixo teor de compostos orgânicos voláteis e das tintas em pó.

A pintura é uma espécie de método para evitar o processo de corrosão, que possui uma série de propriedade das quais podemos citar:

- » Facilidade de aplicação e manutenção.
- » Relação custo benefício.
- » Finalidade estática.
- » Segurança industrial.
- » Identificação de fluidos de tubos e reservatórios.
- » Impede o crescimento de animais marinhos nos cascos de navios.

- » Impermeabilização de superfícies.
- » Permite o aumento ou a redução da absorção de calor.
- » Diminui a rugosidade em superfícies.

Classificação

A tinta é composta por uma série de insumos, dentre eles solventes e elementos sólidos e voláteis que define as propriedades de resistência, tipo de aplicação e o custo final.

Desta maneira, as tintas podem ser classificadas da seguinte maneira (GAUTO, 2011):

- » Tintas imobiliárias: destinadas a construção civil e que podem ser:
 - › Produto aquoso (látex): látex acrílico, látex vinílico, látex vinílico – acrílico e dentre outros;
 - › Produtos a base de solvente orgânico: tinta a óleo, esmaltes sintéticos e dentre outros.
- » Tintas industriais tipo OEM (*original equipment manufacturer*):
 - › Fundos (primers) eletroforéticos;
 - › Fundos (primers) base solvente;
 - › Tintas em pó;
 - › Tintas de cura por radiação UV e dentre outros.
- » Tintas especiais: abrangem outros tipos de tintas:
 - › Tintas e complementos para repintura de automóveis;
 - › Tintas para demarcação de tráfegos;
 - › Tintas e complementos para manutenção industrial;
 - › Tintas marítimas;

› Tintas para madeira e dentre outros.

As tintas também podem ser classificadas a partir da sua formação de revestimento, ou seja, o mecanismo de sua formação do filme protetor, sua secagem e cura:

- » **Lacas:** formação de películas por evaporação do solvente.
- » **Produtos látex:** o mecanismo de secagem é a coalescência.
- » **Produtos termoconvertíveis:** secagem a partir da reação de duas resinas a uma determinada temperatura.
- » **Sistema de dois componentes:** no momento da pintura, a formação do filme ocorre a partir da mistura de dois componentes a temperatura ambiente.
- » **Tintas de secagem oxidativa:** o filme é formado a partir do contato com o ar.

Constituinte das tintas

Tintas líquidas são compostas basicamente por veículo fixo, pigmentos e solventes. As tintas em pós possuem a mesma composição básica, exceto a presença de solvente. Da mesma maneira, os vernizes possuem a mesma composição das tintas com exceção da presença de pigmentos. Para a elaboração de tintas, estes constituintes são selecionados de forma qualitativa e quantitativa para a obtenção de um produto de alta qualidade (GAUTO, 2011).

Veículo fixo (veículo não volátil)

É o responsável pela continuidade e formação da película atuando como constituinte ligante ou aglomerante no material. Este agente é constituído por um ou mais tipos de resinas poliméricas de natureza orgânica, desta maneira, a resistência do veículo fixo depende exclusivamente do tipo de resina e de sua composição:

- » Óleos vegetais (linhaça, soja, tungue).
- » Resinas vinílicas.
- » Resinas alquídicas.

- » Resinas acrílicas.
- » Resinas epoxídicas.
- » Resinas poliuretanas.

Óleos vegetais

Estes óleos são empregados como veículo fixo na produção de tintas a óleo. No entanto, devido a sua secagem lenta e o amarelamento da película ao longo do tempo, este tipo de tinta vem perdendo a empregabilidade. A combinação de óleo com algumas sintéticas resulta em veículos fixos com melhores propriedades para a produção de tintas voltadas para aplicação industrial.

Apesar dos inconvenientes citados, a tinta a óleo é o material que confere maior estabilidade anticorrosiva ao aço devido a sua baixa resistência química. Os óleos mais empregados para esta finalidade são o óleo de linhaça, tungue, soja, oiticica, coco e de mamona. Estes óleos podem ser classificados como secativos, semissecativos e não secativos, conforme o seu grau de insaturação (presença de duplas ligações na cadeia principal $-C=C-$).

Resinas vinílicas

Resinas vinílicas são espécies que contém em sua estrutura química o grupo vinil ($H_2C=CH_2$). Em termos de proteção anticorrosiva, a resina de maior interesse é a obtida pela reação entre cloreto de vinila e acetato de vinila. Este polímero apresenta maior resistência química em relação aos ácidos, álcalis e sais. Em ambientes agressivos, como marinho e industrial, tintas derivadas deste polímero têm constituído um dos principais revestimentos corrosivos, não sendo recomendado a sua aplicação em ambiente acima de $70^{\circ}C$ por conta de riscos de degradação e liberação de ácido clorídrico ao ambiente.

Resina alquídica

São produtos da reação entre polióis com poliácidos ou seus anidros que possuem modificações com ácidos graxos livres ou contidos em óleos vegetais. As tintas alquídicas, também conhecidas como tintas sintéticas, possuem resistência superior em relação às tintas óleo e podem sofrer saponificação. Não são indicadas para aplicação em ambientes agressivos quimicamente, no entanto, em ambiente urbano, rural e industrial leve apresentam bom desempenho possuindo custo inferior em comparação a outras tintas anticorrosivas.

Resina fenólica

Possui alta resistência a água, solventes fortes, detergentes, ácidos, abrasão, ao calor, álcalis, boa flexibilidade e alta dureza. Devido a estas características, este tipo de resina teve rápida aceitação no mercado por causa da rápida secagem, alta resistência a agentes químicos e umidade, no entanto, podem amarelar rapidamente e são evitadas em cores claras. Atualmente, são evitadas devido à alta toxicidade de suas matérias-primas.

Estas resinas podem ser produzidas a partir de um composto fenólico e um aldeído, sendo classificado de acordo com a natureza de sua reação de produção:

- » Resina de uma etapa (resol): todos os reagentes (fenol, formol e catalisador) são carregados no reator de polimerização, em proporções apropriadas reagindo em conjunto. A resina formada é termoestável necessitando apenas um aquecimento complementar para que a reação seja completada.
- » Resina de duas etapas (novolaca): neste processo, adiciona-se apenas uma parcela do formol necessário e utiliza-se um catalisador ácido para diminuir o processo de reticulação do polímero. Ao ser descarregado do reator, esta resina se mantém fusível (termoplástico).

Resina acrílica

Estas resinas são derivadas da reação entre o ácido acrílico com metacrilato. Este material possui grande versatilidade: podem ter alta elasticidade ou possuir alta resistência podendo ser empregado no setor de usinagem; podem ser termoestáveis que curam com energia térmica ou termoplásticas que podem formar película após a evaporação do solvente. Como principal característica, a resina possui alta retenção de pigmentos evitando o amarelamento quando exposto ao ambiente. Possui resistência à decomposição de raios UV, a óleos e graxa.

Borracha clorada

É uma resina obtida a partir da cloração da borracha natural, sendo composto por 67% de cloro, obtida em pó granular com coloração branca. Possui solubilidade em hidrocarbonetos aromáticos, éteres, cetonas e solventes clorados.

Possui tendência a decomposição por ação dos raios UV liberando HCl para o ambiente, necessitando, assim, a adição de estabilizantes como epícloridrina e óxido de zinco. Outro

fator que influencia na decomposição desta borracha é a alta temperatura que promove a liberação de HCl. A liberação do ácido poderá atacar a superfície em que a borracha está aplicada gerando maiores prejuízos, assim, não se recomenda a aplicação deste material em locais acima de 65°C.

A película deste material é altamente impermeável, sendo indicado no revestimento de equipamentos que executem trabalhos de imersão constante tanto em água doce e salgada; apresenta alta resistência no contato de solução ácida e básica e óleo mineral. Este material é empregado em atmosfera industrial, revestimento de concreto, demarcação de tráfego e revestimento de piscinas.

Resina epóxi

Possui alta aderência, resistência química, resistência à abrasão e impacto. Os revestimentos de resina epóxi podem apresentar de várias formas, como por exemplo, cura de estufas em que o entrecruzamento do polímero é induzido pelo calor. Existe também a formação de película em sistemas de dois componentes, em que a formação do polímero entrecruzado é devido à reação entre a resina epóxi e um agente endurecedor. Esta reação pode ocorrer a temperatura ambiente e os endurecedores mais comuns são as poliaminas e poliamidas.

As tintas epoxídicas, de dois ou mais componentes, apresentam alta resistência mecânica, dureza, abrasão e impacto podendo ser empregadas como tintas de fundo, intermediária e de acabamento para permitir a existência de alta resistência em ambientes agressivos. Quando exposto ao intemperismo, estas tintas apresentam baixa resistência à ação de raios UV perdendo rapidamente o brilho, coloração e apresentam o gizamento (*chalking*) que é a degradação superficial pela ação dos raios UV promovendo a liberação do pigmento sobre a superfície aplicada.

Resina poliuretana

Da mesma maneira que as tintas epóxi, a resina de poliuretano é fornecida em dois componentes A e B. O componente A é, normalmente, a poliidroxilada (poliéster ou acrílica) e a componente B (agente de cura) poliisocianato alifático ou aromático. Estas tintas apresentam excelentes propriedades anticorrosivas em ambientes extremamente agressivos e, também, propriedades físicas, como por exemplo, dureza, resistência a abrasão e dentre outros.

Solventes

Os solventes possuem a função de auxiliar no processo de fabricação de tintas promovendo a solubilização dos reagentes e, também, no controle de viscosidade para facilitar a sua aplicação. Dentre a gama de solventes aplicados na indústria podemos destacar os seguintes:

- » Hidrocarboneto alifático – nafta e aguarrás mineral.
- » Hidrocarboneto aromático – tolueno e xileno.
- » Ésteres – acetato de etila, acetato de butila e acetato de isopropila.
- » Alcoóis – etanol, butanol e álcool isopropílico.
- » Cetonas – acetona, metiletilcetona, metilisobutil cetona e cicloexanona.
- » Glicóis – etilglicol e butilglicol.
- » Solventes filmógenos – são solventes que auxiliam na solubilização e incorporam à película por polimerização, como por exemplo, o estireno.

Além disso, os solventes podem ser classificados como:

- » **Solventes verdadeiros:** são capazes de dissolver ou são miscíveis, em qualquer proporção para uma determinada resina. Exemplo: aguarrás e cetonas.
- » **Solventes auxiliares:** estes solventes auxiliam o processo de solubilização de solventes verdadeiros. Eles não atuam de modo individual.
- » **Falso solvente:** possui baixo poder de solvência e é utilizado para reduzir o custo final das tintas.
- » **Diluentes:** é uma mistura de diferentes solventes para ajustar a viscosidade de aplicação da tinta.

Além da solubilização de resinas, o solvente também atua no processo de formação da película protetora. Caso uma tinta apresente teor excessivo de solvente de evaporação rápida poderá promover o desnivelamento da película e, caso exista quantidade excessiva de solvente de evaporação lenta, comprometerá o processo de secagem da película e a retenção de solventes no revestimento.

A utilização de água como solvente na produção de tintas promove a formação de emulsão ou dispersão, pois não ocorre a solubilização completa da resina por questões de polaridade. A vantagem de utilizar as emulsões é devido a sua baixa toxicidade, pois possuem baixa quantidade de compostos orgânicos voláteis. A grande maioria dos solventes orgânicos utilizados no preparo de tintas possui alta toxicidade podendo prejudicar a saúde humana. Desta maneira, a utilização de tintas a base de água tem aumentado nos últimos anos apesar de sua baixa durabilidade.

Pigmentos

Os pigmentos caracterizam-se por ser partículas sólidas, finamente divididas, insolúveis no veículo fixo (resina), promovem a proteção anticorrosiva, coloração, opacidade, impermeabilidade e melhoria física na película. Os pigmentos podem ser classificados da seguinte maneira:

- » **Anticorrosivos:** proporcionam a proteção anticorrosiva do aço por meio de mecanismos químicos ou eletroquímicos, como por exemplo, zarcão (P11504), cromato de zinco, molibdatos de zinco e cálcio, fosfato de zinco e pó de zinco.
- » **Opacificantes coloridos:** são responsáveis pela coloração de opacidade à tinta.
- » **Cargas ou extensores:** não proporciona influência na coloração e opacidade à tinta, mas seu emprego está relacionado à redução do custo final do produto, melhoria das propriedades mecânicas da película e aquisição de determinadas propriedades ao material.

A origem dos pigmentos pode ser de natureza orgânica ou inorgânica (naturais ou sintéticos). Os pigmentos naturais podem ser encontrados ao longo da crosta terrestre, apresentando-se na forma de microcristalina e muitas vezes associado à sílica. Os pigmentos sintéticos possuem rede cristalina mais regular, forma pura e tamanho de partícula uniforme. Os pigmentos inorgânicos apresentam melhor resistência à radiação solar (raios UV) frente aos pigmentos de origem orgânica, mas para algumas pigmentações os derivados orgânicos apresentam melhor resistência química em comparação aos de origem inorgânica. Entre os grupos de pigmentos inorgânicos podemos destacar:

- » **Bióxido de titânio (TiO_2):** este pigmento é utilizado para a produção de coloração branco ou tons claros. Possui elevado poder de cobertura ou

opacidade devido ao seu alto índice de refração, tamanho de partícula (aproximadamente $0,3\ \mu\text{m}$) e elevada resistência química, exceto aos ácidos sulfúricos e fluorídricos concentrado.

- » **Alumínio (Al):** aplicado para a proteção anticorrosiva se superfície metálicas, possuindo elevado poder de cobertura, tendo a sua coloração característica do metal.
- » **Óxido de ferro:** em sua grande maioria possuem origem mineral podendo ser obtido por meio de processos industriais (óxidos de ferro sintético). O óxido de ferro III é um pigmento alaranjado empregado na fabricação de tintas anticorrosivas (tintas de fundo e intermediárias).
- » **Zarcão (Pb_3O_4 ou 2PbO.PbO_2):** é um dos pigmentos mais antigos aplicado para anticorrosão. Em presença de ácidos graxos de óleos vegetais, confere proteção anticorrosiva ao aço pelo processo de passivação ou inibição anódica; possui coloração laranja e é um pigmento toxico de alto risco à saúde.
- » **Cromato de zinco (ZnO.CrO):** é um dos pigmentos mais eficientes no processo de proteção anticorrosivo do aço. Possui coloração amarelada e estão praticamente fora de uso devido à sua alta toxicidade.
- » **Fosfato de zinco ($\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2\text{H}_2\text{O}$):** é um pigmento relativamente novo na indústria e atóxico, seu desenvolvimento ocorreu devido a necessidade de substituição dos pigmentos tóxicos aplicados na produção de tintas. Seu mecanismo de proteção é a passivação ou inibição anódica e constitui-se de um pó branco sem opacidade.

Aditivos

Os aditivos possuem a função de atribuir características específicas às tintas, sendo possível classificá-los da seguinte maneira:

- » **Secantes:** possui a função de diminuir o tempo de secagem das tintas, sendo empregado basicamente na elaboração de tintas a óleo, alquídicas e óleo-resinosas. Os secantes mais utilizados são os naftalenos ou octoatos de cobalto, chumbo, manganês, cálcio e zinco.

- » **Antissedimentantes:** diminui a tendência de sedimentação dos pigmentos no fundo do recipiente durante o período de estocagem.
- » **Antinata ou antipele:** estes aditivos possuem características antioxidantes, sendo o mais comum à base de cetoximas, como é o caso da metiletilcetoxima.
- » **Plastificantes:** este composto tem como finalidade atribuir flexibilidade adequada às películas sendo os mais comuns os óleos vegetais não secantes, como por exemplo, o óleo de mamona, os ftalatos, os fosfatos e hidrocarbonetos clorados.
- » **Nivelantes:** melhora as características de nivelamento ou espalhamento de tintas.
- » **Antiespumantes:** são utilizados derivados de silicones que tem a função de evitar espumas em tintas.
- » **Agentes tixotrópicos:** são aplicados principalmente em tintas de alta espessura permitindo a aplicação do material na espessura correta e evitando o escorrimento em superfícies verticais. Os materiais aplicados para esta finalidade são os silicatos orgânicos e amidas de baixo peso molecular.
- » **Antifungos:** possui a função de prevenir a ocorrência de bactérias e fungos no interior da embalagem ou da película aplicada comprometendo a tinta. Os aditivos empregados para esta finalidade são os sais orgânicos de mercúrio e fenóis clorados em geral.

CAPÍTULO 2

Papel e celulose

Introdução

Desde os primórdios, o homem vem representando objetos, inanimados ou em movimentos, sob a superfície de diferentes tipos de materiais. Os egípcios, há 6.500 anos, utilizavam as pedras para registrar os acontecimentos de grande importância de sua sociedade. Após 3.000 anos mais tarde, os babilônicos desenvolveram a tábu de argila para realizar seus registros. As civilizações gregas e romanas realizavam gravações da escrita e chapas metálicas, até que os egípcios desenvolveram o papiro que é um material confeccionado de tiras extraídas dos caules de uma planta abundante da região do rio Nilo (GAUTO, 2011).

No século segundo, o papiro era muito utilizado entre os gregos e romanos, que os representantes do Egito proibiram a exportação deste material temendo uma possível escassez. Assim, iniciou uma busca de novos materiais que pudessem substituir o papiro, e foi na cidade de Pérgamo, na antiga Grécia (atual Turquia) que surgiu o pergaminho, proveniente da parte interna da pele do carneiro. Este material possuía resistência e de boa espessura, ideal para os materiais pontiagudos que eram utilizados para a escrita dos ocidentais, no entanto, não era liso e macio o suficiente para a escrita dos chineses que praticavam a caligrafia com um delicado pincel de pelo desenvolvido no ano 250 a.C.

É muito provável que o papel existisse na China desde o século II a.C, conforme indicaram os restos encontrados em uma tumba na província de Shensi, mas somente em 105 a.C foi anunciada pelos oficiais da corte de T'sai Lure ao imperador a nova invenção. Era um material muito mais barato do que a seda, que era utilizada para a escrita tornando a prática extremamente cara, que era preparado sobre uma tela de pano esticada por armações de bambu; era vertida uma mistura aquosa de fibras maceradas, composta por redes de pesca e cascas de árvores, sobre a superfície tela.

No ano de 750 d.C, dois artesãos chineses foram capturados pelos egípcios que impuseram uma condição: eles conseguiriam a liberdade se ensinassem a técnica de fabricação do papel. Assim, este material passou a ser difundido pelo mundo. Na cidade de Córdoba, na Espanha, construiu-se os primeiros moinhos papeleiros no século X. Grande parte da Europa demorou a aceitar o produto oferecido pelos árabes justificando que o papel era muito frágil em comparação ao pergaminho. Buscando diminuir esta desvantagem, os moradores da cidade de Fabriano começaram a produzir papeis, no ano de 1268, à base de fibras de algodão, linho e cola – para dar resistência às penas metálicas

utilizadas na escrita. A fibra de algodão foi utilizada por muitos anos e, somente em 1719, o entomologista René de Réaumur (1683-1757) propôs a troca por madeira. Ele havia observado o trabalho das vespas durante a construção de seus ninhos com uma pasta obtida pela mastigação de minúsculos pedaços de troncos, e a partir da observação em microscópio, percebeu que o trabalho dos artesãos papaleiros era muito semelhante ao das vespas. De início, a proposta de Réaumur foi muito mal recebida devido às questões estéticas, pois a celulose extraída da madeira originava uma pasta de cor parda. Mas, em 1744, o químico sueco Karl Scheele (1742-1786) isolou a molécula do cloro e descobriu suas propriedades alvejantes, e a partir de então foi possível obter papel branco utilizando qualquer tipo de madeira, tornando-se protagonista do processo.

Matéria-prima: madeira

Para a fabricação de papel, são utilizadas como principais matérias-primas as fibras vegetais, sendo a fonte mais usada para a formação de pasta celulósica a madeira. Existem dois tipos de madeiras empregadas neste processo: as gimnospermas ou coníferas (madeira mole) e as angiospermas ou folhosas (madeira dura). A principal diferença entre estes dois tipos de madeira é o comprimento da fibra, sendo nas coníferas superior a 2 mm e as folhosas maior do que 0,65 mm (GAUTO, 2011).

Devido às condições climáticas no Brasil, a produção de pinus e eucalipto é muito alta e, aliada ao desenvolvimento biotecnológico, apresenta altos níveis de produção mundial. Em algumas regiões, a capacidade de produção de eucalipto ultrapassa 75 m³/ ha/ ano, enquanto que nos EUA a produtividade é de aproximadamente de 5 a 15 m³/ ha/ ano.

É importante lembrar sobre a questão do manejo adequado das plantações de pinus e eucalipto associado a estudos avançados sobre o impacto destas culturas para o solo. No Brasil, este manejo é realizado por instituições, como o Conselho Brasileiro de Manejo Florestal – FSC Brasil, que promove o manejo e a certificação florestal em todo o território brasileiro, atestando a origem da matéria-prima florestal.

As empresas participantes do programa da FSC – Brasil recebe o selo FSC indicando que a madeira utilizada em sua produção possui manejo florestal. Segundo a ONG WWF Brasil, o Brasil é o país com maior área florestal certificada, sendo mais de 3 milhões de hectares de florestas desde a Amazônia até o Rio Grande do Sul.

Composição química da madeira

Para a compreensão do processo de fabricação do papel, é preciso compreender sobre a importância da presença da celulose, hemicelulose e da lignina (GAUTO, 2011).

A celulose é um polímero linear de glicose com alto peso molecular, possui ligação beta 1,4 glicosídicas, insolúvel em água e é o principal componente da parede celular da biomassa vegetal. A hemicelulose é uma mistura de polímeros de polissacarídeos com baixo peso molecular que está associado ao tecido celular das plantas. A lignina é composta por polímeros amorfos de composição variada; apresenta grupos fenólicos em sua estrutura possuindo coloração variável de branco a marrom; atua como ligante que mantém as fibras unidas na estrutura da madeira; possui alta resistência à hidrólise ácida e possui alta reatividade com agentes oxidantes; é responsável de 15 a 35% do peso do vegetal. Os constituintes minoritários englobam diferentes compostos orgânicos e inorgânicos que são divididos em duas classes: extrativos (extraíveis em água, solventes neutros ou volatizáveis a vapor) e não extrativos (compostos orgânicos, inorgânicos, proteínas e substâncias pécicas).

Processo industrial

Obtenção do papel

Para a fabricação de papel, são utilizadas fibras de celulose provenientes dos troncos das árvores (95% de toda a produção mundial), folhas (sisal), frutos (algodão) e rejeitos industriais (bagaço de cana, palha de arroz e dentre outros). É possível utilizar fibras animais (lã), mineral (asbesto) ou sintética (poliéster, poliamida) para fins especiais (GAUTO, 2011).

O processo de obtenção da pasta de celulose possui o mesmo objetivo: primeiramente separar as fibras de celulose da lignina e depois branqueá-las, conforme os seguintes passos:

- » **Método mecânico:** atrito mecânico para desagregar as fibras da madeira.
- » **Método termomecânico:** saturação das fibras com vapor de água.
- » **Método termoquímico-mecânico:** saturação de fibras por vapor de água e adição de reagentes químicos; podem ser chamados de “Kraft ou Sulfato” ou “Sulfito” dependendo do tipo de reagente utilizado.
- » **Método químico:** desagregação por vapor, pressão e reagentes químicos.

Processo Kraft ou Sulfato

As etapas que compõem o processo termoquímico-mecânico, conhecido como Kraft ou Sulfato, para obtenção da celulose e conversão em papel são: preparo da madeira, cozimento, lavagem alcalina, branqueamento, secagem, embalagem e fabricação do papel. Geralmente, as fábricas de celulose e papel são distintas, ou seja, a fábrica que produz papel não produz celulose e vice-versa. No entanto, existem algumas fábricas que realizam a produção destes dois materiais na mesma planta.

O termo Kraft possui origem sueca e alemã e significa força, resistência. A química envolvida no processo Kraft consiste na utilização de dois reagentes químicos, hidróxido de sódio (NaOH) e o sulfeto de sódio (Na₂S) que, combinados, originam o licor branco que atua na dissolução da lignina e liberação das fibras, conforme as equações:



ou



Este processo resulta no subproduto licor negro, que contém a parte dissolvida da madeira (lignina e extrativos) e os reagentes químicos. Devido às razões econômicas e ambientais, este subproduto é reaproveitado no processo de Recuperação de Produtos Químicos, que envolve a queima na caldeira de recuperação do licor negro, concentrado previamente a 60% dos sólidos e enriquecido com sulfato de sódio. Após a fundição, o material é tratado e transformado em licor e reciclado no processo.

Preparo da madeira

A etapa inicial do preparo da celulose é o manuseio das toras de madeiras descascadas que possuem dimensões de 3 m de comprimento e 7 a 40 cm de diâmetro. Após o descarregamento, as toras são lavadas e transportadas, por esteiras, até o picador para a formação de cavacos, que são separados por tamanhos, por uma peneira vibratória; o formato do cavaco proporciona o aumento da superfície de contato da madeira facilitando o processo de cozimento. É importante destacar os motivos da necessidade do preparo da madeira:

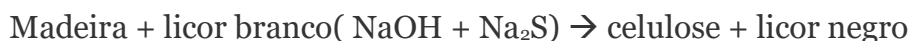
- » A casca possui baixa quantidade de fibras.
- » Necessidade de consumo maior de reagentes químicos nas etapas de polpeamento.

- » Ocupação de maior espaço nos digestores, comprometendo a produtividade.
- » Dificuldade na lavagem e depuração da polpa.
- » Comprometimento das propriedades físicas do produto final.
- » Interferência no aspecto visual da pasta, devido a presença de impurezas.

A casca gerada na primeira etapa da fabricação da celulose pode ser destinada para a formação de húmus para o solo, quando a madeira é descartada na floresta. Outra possibilidade é a utilização deste material na queima de fornalhas para a geração de vapor (fornalhas de biomassa), uma vez que o poder calorífico é de 4000 kcal kg⁻¹.

Cozimento do cavaco

O cozimento do cavaco é realizado pela ação química do licor branco e o vapor de água no interior dos digestores, permanecendo por, aproximadamente, duas horas a 170°C. Esta etapa consiste em dissociar a lignina presente entre as fibras da madeira:

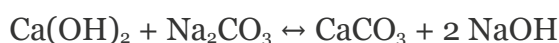


Lavagem alcalina

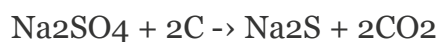
O material proveniente dos digestores é enviado para a depuração grossa (peneiramento) para a retirada de nós da madeira e os possíveis cavacos não cozidos. O material é enviado para o sistema de lavagem, gerando o licor negro fraco. O material é depurado novamente e levado para um espessador para aumentar a consistência que enviado para a produção de papel ou para processos intermediários de branqueamento.

Tratamento do licor negro

O licor negro obtido ao longo do processo é queimado numa fornalha para sua recuperação. A partir da combustão deste licor, são obtidos sais que se depositam no fundo da fornalha na forma líquida. Esses sais são constituídos por carbonato de sódio (Na₂CO₃) e sulfeto de sódio (Na₂S) e são enviados para o escoamento ao interior de tanques que contém o licor branco fraco, formando um licor verde (coloração verde devido a presença de FeII). A conversão do licor verde em licor branco é realizada pela adição de cal (reação de caustificação):



O licor branco utilizado no processo Kraft contém NaOH e Na₂S na proporção de 5:2 com pH de 13,5 a 14. As perdas de enxofre e soda no processo são supridas pela adição de sulfato de sódio à fornalha de recuperação (junto com o licor negro forte), de modo que na zona de redução da fornalha ocorra a seguinte reação:



Branqueamento

O processo de branqueamento da polpa marrom requer várias etapas dependendo do grau de brancura exigido. Os principais agentes branqueadores são o cloro, oxigênio, hipoclorito de sódio, peróxido de hidrogênio, clóximo de cloro e ozônio. De modo geral, os reagentes utilizados nesta etapa são compostos oxidantes que confere à pasta alvura mais estável, aliado ao custo mais baixo frente a outros agentes. Existem processos que utilizam agentes redutores que alteram quimicamente os compostos coloridos da pasta sem afetar o rendimento e o aspecto visual.

Secagem e embalagem

Finalizado o processo de branqueamento, a celulose está muito diluída e sendo necessário secá-la. A polpa é enviada para uma linha de secagem, na qual uma mesa de deságue e prensas primárias retira grande parte da água; a folha formada passa por uma prensa secundária entre feltros e encaminhada para um túnel secador, completando o processo. Na saída do secador, a folha é cortada (obedecendo as especificações desejadas) e empilhada em fardos e encaminhados para o empacotamento sendo devidamente identificados para expedição.

CAPÍTULO 3

Óleo e gordura

Introdução

Os óleos e as gorduras estão presentes nas estruturas de vegetais como, sementes, frutos, raízes, caules, folhas, no gérmen das sementes dos cereais, na estrutura animal e são produzidos por bactérias, fungos, leveduras. De modo geral, os óleos e as gorduras vegetais e animais são ésteres glicéricos de ácidos graxos, sendo as ceras uma mistura de ésteres, em sua grande maioria monovalente, com diferentes quantidades de alcoóis livres e hidrocarbonetos (PEREIRA, 2010).

Para fins industriais, a matéria-prima deve possuir teor de óleo acima de 12%, ser de fácil obtenção e possuir relativa abundância. Em termos físicos, a diferença entre óleo e gordura está no seu estado físico a temperatura ambiente: os óleos encontram-se no estado líquido enquanto que a gordura está no estado sólido. Estas características estão relacionadas ao grau de insaturação da molécula: quanto maior o número de insaturação na estrutura, menor é o ponto de fusão.

Os óleos e gorduras caracterizam substâncias insolúveis em água com forte caráter hidrofóbico, podendo ser de origem animal, vegetal ou microbiana, sendo formada em grande maioria, de triglicerídeos. Em termos estruturais, não existem diferenças entre óleos e gorduras de origem vegetal e animal, pois os ácidos graxos integrantes são praticamente os mesmos.

Estrutura de lipídeos

As gorduras fazem parte da classe dos lipídeos e podem ser divididas da seguinte maneira: lipídeos simples, lipídeos compostos (fosfolipídeos, glicolipídeos e aminolipídeos) e lipídeos derivados. Os lipídeos simples são as ceras e gorduras, os fosfolipídeos são os fosfatídeos, como por exemplo, lecitina, e os lipídeos e derivados são produtos da hidrólise de lipídeos simples ou compostos (PEREIRA, 2010).

Os óleos e as gorduras comestíveis são formados por triglicerídeos que são compostos de ésteres de glicerina com diferentes tipos de ácidos graxos. O ponto de fusão dos ácidos graxos é influenciado pela cadeia de hidrocarbonetos, número de insaturações e pela configuração CIS e TRANS. Os principais ácidos graxos encontrados são o mirístico, palmítico, láurico e o esteárico (saturado), o oleico e linoleico (insaturados). A classificação das gorduras é realizada pelo grau de insaturação da cadeia carbônica: saturadas, mono-insaturada e poli-insaturada. Os ácidos graxos que possuem todos os átomos de hidrogênio possíveis na estrutura carbônica são caracterizados como saturado; ausência de hidrogênios ligados ao átomo de carbono e presença de duplas ligações na estrutura do ácido é classificado como insaturado; caso exista somente uma ligação dupla na estrutura do ácido, este será classificado como mono-insaturado; caso existam mais ligações dupla, este será um ácido graxo poli-insaturado. As gorduras de origem animal tendem a ser saturadas e são sólidas a temperatura ambiente, enquanto que as gorduras de origem vegetal possuem insaturações em sua estrutura atribuindo o estado líquido a temperatura ambiente. As gorduras vegetais podem se tornar sólidas a partir de reações de hidrogenação que podem romper as duplas ligações existentes.

Em sua maioria, os óleos e as gorduras possuem de 12 a 18 carbonos em sua estrutura, podendo ou não possuir insaturações ao longo da cadeia carbônica. A presença de

insaturações influência diretamente nas propriedades físicas do ácido graxo: quanto mais hidrogenado (saturado) for o óleo mais sólido ele será na temperatura ambiente. Desta maneira, a partir do grau de saturação, é possível identificar os três tipos de gorduras a temperatura ambiente: gorduras saturadas são sólidas, monoinsaturadas são cremosas, podendo se solidificar em baixas temperaturas, e as gorduras poli-insaturadas são muito cremosas, sendo até mesmo líquidas, e não se solidificam em baixas temperaturas. Quimicamente, os ácidos graxos são formados por ésteres, possuindo o componente alcoólico (glicerol) e o componente ácido formado por ácidos monocarboxílicos sem ramificação.

A aplicação destes ácidos graxos no meio industrial encontra-se na fabricação de produtos alimentícios, como por exemplo, margarinas, fabricação de sabões, perfumaria, setor farmacêutico, explosivos, polímeros, metalurgia do pó, indústria mobilística (óleo para freios), produção de tintas e dentre outros.

Propriedades físicas

- » **Propriedades espectrais:** não possuem coloração e, conseqüentemente, não possuem propriedades espectrais. A presença de pequenas quantidades de pigmentos solúveis, como por exemplo, clorofilas, carotenos, produtos de oxidação e polimerização dos ácidos graxos podem atribuir certa coloração (PEREIRA, 2010).
- » **Índice de refração:** o índice de refração dos ácidos graxos está relacionado com o grau de insaturação e o peso molecular.

PROCESSOS QUÍMICOS ORGÂNICOS | UNIDADE III

- » **Ponto de fusão e polimorfismo:** o ponto de fusão dos ácidos graxos não aumenta conforme o comprimento de sua cadeia carbônica; o ponto de fusão de ácidos graxos com número par de carbonos aumenta de modo progressivo, no entanto, para ácidos graxos com número ímpar de carbonos não. A presença de duplas ligações na estrutura do ácido graxo promove a diminuição do ponto de fusão, como é o caso de ácidos na conformação TRANS que possuem ponto de fusão maior do que ácidos na conformação CIS. Ácidos graxos que apresentam cadeia carbônica longa apresentam diversas formas com propriedades físicas distintas caracterizando o fenômeno conhecido como polimorfismo.
- » **Densidade:** em geral, a densidade de óleos e gorduras é menor do que a água.

-
- » **Ponto de ebulição:** aumenta conforme o número de carbonos na estrutura, permitindo a separação de ácidos graxos com números diferentes de carbono.
 - » **Solubilidade:** de modo geral, óleos e gorduras são insolúveis em água, exceto o óleo de rícino, e possuem alta solubilidade em solventes orgânicos. O grau de solubilidade é uma propriedade importante no ponto de vista da produção industrial, pois permite o isolamento de um composto saturado de um insaturado por meio da cristalização a baixa temperatura.
 - » **Isomerismo:** é uma propriedade relacionada à existência de duplas ligações, como é o caso do ácido oleico (forma CIS) e o elaidico (forma TRANS) que possuem pontos de fusão, 16,3°C e 43,7°C, respectivamente.
A dupla ligação restringe a rotação livre atribuindo propriedades distintas.

Propriedades químicas

- » **Hidrólise:** é o processo que permite a obtenção de ácidos graxos a partir de triglicerídeos em presença de água ou vapor. Este processo produz ácidos graxos livres e glicerol, sendo catalisada por ácidos, enzimas e compostos que formam sabões de ácidos graxos (PEREIRA, 2010).
- » **Saponificação:** é uma reação de hidrólise em meio básico sendo obtida uma mistura de sabões, ácidos graxos e glicerina.
- » **Esterificação:** este tipo de reação é o processo inverso da hidrólise: ácido + álcool → éster + água.
- » **Interesterificação:** este processo pode ocorrer em qualquer um desses três mecanismos: alcoólise que é a reação entre um álcool em presença de uma base catalítica; acidólise que é a reação entre ésteres e ácidos graxos livres e troca de ésteres que ocorre a reação entre dois ésteres na presença do íon alcóxido.
- » **Halogenação:** é o mecanismo básico de adição de halogêneos em cadeias insaturadas.
- » **Hidrogenação:** é a reação de inserção de hidrogênios em ligações insaturadas que permite a conversão de óleos em gorduras, sendo necessária a utilização de um catalisador metálico adequado.

- » **Oxidação:** pode ocorrer por meios naturais ou forçados: da forma natural ocorre devido ao contato do oxigênio presente no ar que modifica a estrutura do ácido graxo, como é o caso do processo de rancificação (decomposição de ácidos); oxidação forçada é empregada na obtenção de derivados oleoquímicos.

Produção de óleos e gorduras

- » **Extração por fusão:** é empregado basicamente para a produção de graxas de origem animal, consistindo no aquecimento (água, vapor ou qualquer outro meio aquecido) do material que contém o óleo ou a gordura (PEREIRA, 2010).
- » **Prensagem:** empregam-se altas pressões para separação do óleo de outros materiais, podendo ser de bateladas (prensas hidráulicas) ou produção contínua (expellers).
- » **Eliminação de materiais indesejados:** neste processo, são eliminados materiais indesejados na obtenção do óleo ou gorduras utilizando peneiras vibratórias e rotativas, ventiladores e imãs.
- » **Descorticação:** é o processo de eliminação de camadas de fibras ou cascas utilizando meios mecânicos (serras circulares ou moinhos de cilindros, desintegradores ou descascadores) e químicos (adição de agentes coagulantes).

PROCESSOS QUÍMICOS ORGÂNICOS | UNIDADE III

- » **Redução:** utiliza-se o processo de trituração e laminação para facilitar a obtenção do óleo da semente, sendo realizada em moinhos horizontais ou oblíquos contendo vários laminadores.
- » **Cozimento:** promovem a ruptura das células que não foram rompidas na trituração utilizando o calor da umidade.
- » **Extração por solventes:** é o processo complementar da prensagem que permite a retirada do residual oleaginoso da torta (produto final da prensagem mecânica), podendo recuperar cerca de 98% do óleo contido na torta. Seu princípio é a dissolução do óleo em solvente e posterior recuperação por destilação a vácuo.

Refinação

O processo de refino consiste num conjunto de operações necessárias ao ácido graxo para a remoção de impurezas para aumentar seu valor de mercado (PEREIRA, 2010):

- » **Depuração ou degomagem:** remoção do material finamente disperso e coloidal, incluindo a farinha, materiais proteínicos, carboidratos e alguns fosfatídeos e água. Este processo pode ser realizado por decantação por gravidade em tanques de fundo cônico e aquecido, permitindo que as impurezas com maior densidade sejam eliminadas parcialmente pela coagulação do material disperso. Em alguns óleos, como por exemplo, a soja, a depuração é conhecida como degomagem, devido ao alto teor de goma.
- » **Neutralização:** este processo consiste no tratamento do material oriundo da produção de óleos e gorduras por método alcalino, destilação de ácidos graxos, esterificação e extração dos ácidos graxos.
- » **Clarificação:** é conhecido também como branqueamento que consiste na utilização de absorventes como argilas naturais ou ativadas, carvões ou agentes químicos que possuem ação oxidante ou redutora. Os métodos químicos não são aplicados em óleos comestíveis sendo utilizado, somente, para produtos com finalidade industrial.
- » **Desodorização:** o processo de branqueamento também possui a função desodorizadora, que consiste na eliminação de odores por vapor ou destilação com vapores das espécies odoríferas voláteis a elevadas temperaturas e em baixas pressões.
- » **Climatização ou winterização:** consiste na remoção parcial de glicerídeos saturados que estão presentes nos óleos. Esta espécie possui ponto de fusão relativamente alto e limitada solubilidade em glicerídeos insaturados. Desta maneira, muitos óleos que estão claros e líquidos no verão podem adquirir aspecto leitoso e indesejado no inverno por conta da precipitação dos glicerídeos saturados. Este processo é aplicado em óleos de salada e óleos lubrificantes que são esfriados pouco a pouco em grandes tanques, em quartos refrigerados, que, após atingir a temperatura de 5°C, são separados o glicerídeo cristalizado da porção líquida com o auxílio de um filtro prensa em um ambiente refrigerado.
- » **Hidrogenação:** consiste na adição de hidrogênio nas ligações insaturadas presentes na cadeia carbônica do ácido graxo. Este processo é realizado utilizando um catalisador metálico (níquel), podendo ser parcial ou total, convertendo óleos em gorduras duras, melhora a cor e destrói o odor e o sabor desagradável do óleo cru.

CAPÍTULO 4

Sabões e detergentes

Breve introdução

A utilização de um material semelhante ao sabão é datado desde 2.800 a.C., que foi encontrado cilindro de barros, durante escavações da antiga Babilônia, que possuíam inscrições sobre o processo de fervura de gorduras com cinzas, mas não mencionavam para qual finalidade era usado. O sabão está inserido na cultura humana, tanto oriental e ocidental, há mais de dois mil anos, podendo relacioná-la com o progresso da sociedade. Atualmente, a indústria saboeira não possui tanta importância como antigamente, mas mantém o seu caráter essencial dentro da sociedade (PEREIRA, 2010).

A indústria saboeira é responsável por aproximadamente 25% da demanda de produtos de limpeza doméstica, ficando atrás da demanda de detergentes que é responsável pela outra parte do mercado. É importante mencionar que a produção mundial de sabão se permaneceu constante ao longo do tempo, não houve retração, mas sim adaptação deste setor. A maior parte sua produção é proveniente de pequenas indústrias e indústrias artesanais, devido a facilidade de produção e acessibilidade. A qualidade e o rendimento de sabões estão ligados à qualidade das matérias-primas empregadas e, também, do balanceamento adequado de seus componentes.

Matérias-primas

Sabões

As matérias-primas empregadas para a fabricação de sabões podem ser classificadas da seguinte maneira (PEREIRA, 2010):

- » **Graxas:** caracterizam-se de gordura animal (banha, sebo, óleo e dentre outros) ou de óleo vegetal.
- » **Alcalinas:** composto por hidróxido de sódio (soda cáustica) e hidróxido de potássio.
- » **Auxiliares:** são compostos por cloreto de sódio (sal), silicatos e sódio, carbonato de cálcio, barrilha, amido, açúcar, glicerina, amido, corantes e essências. Além destes componentes, utiliza-se os branqueadores óticos (que transmitem a

coloração azul quando submetida a radiação UV e que possui efeito cumulativo nas roupas), tensoativos (alquil sulfonato de sódio, lauril éter sulfato de sódio), sequestrantes (EDTA, EHDP) e dispersantes (tripolifosfato de sódio).

Detergentes

Apresenta grande diversidade de matérias-primas, as quais dependem de sua finalidade principal. Desta maneira, pode classificá-la em dois grupos: tensoativos e coadjuvante.

- » **Tensoativos:** sua classificação depende da atividade química estrutural, priorizando a natureza iônica, dentre os quais destacamos: aniônicos, catiônicos, não iônicos e anfotéricos ou anfóteros.
 - › **Tensoativos aniônicos:** possuem carga negativa em sua estrutura e são os que apresentam maiores quantidades de espuma.
 - › **Tensoativos catiônicos:** atuam como antisséptico ou germicida; os sais quaternários de amônio são os mais empregados para esta finalidade.
 - › **Tensoativos não iônicos e anfóteros:** são os tensoativos mais sofisticados com aplicações específicas possuindo as seguintes características: alto poder emulsificante, desengordurante e baixa irritabilidade dermatológica. Não se indica a mistura de tensoativos catiônicos e aniônicos numa mesma fase devido a incompatibilidade e formação de precipitados.
- » **Coadjuvantes:** os mais comuns na formulação de detergentes são:
 - › Sais inorgânicos: utilizados como cargas, como limpadores e coadjuvantes de viscosidade.
 - › Complexos sequestrantes: são utilizados para a remoção ou inibir substâncias interferentes.
 - › Amônia: atua como agente de limpeza devido a modificação de pH e ser volátil.
 - › Corantes essenciais: atuam nas propriedades organolépticas.
 - › Solventes: atuam na remoção de gorduras.

- › Antiespumantes.
- › Branqueadores.
- › Óticos.
- › Estabilizantes.
- › Antidepositantes.

Fabricação de sabões

O processo de obtenção de sabões pode ser simplificado pelas seguintes etapas: mistura e saponificação, filtração, homogeneização, secagem, refinação, extrusão, corte, condicionamento, estampagem, embalagem, armazenamento e expedição (PEREIRA, 2010).

- » **Mistura e saponificação:** a obtenção do sabão é a partir da reação de ácidos graxos (óleos e gorduras) com soluções alcalinas ou lixiviadas denominada de saponificação. Esta reação pode ser realizada em baixas ou altas temperaturas, em que a soda ou potássio atacam os ésteres deslocando a glicerina para a formação dos sais sódicos ou potássicos. Os sais formados são os sabões, que após o processo de purificação e adição de outros ingredientes, são transformados nos produtos comerciais.
- » **Filtração:** remoção de grânulos provenientes da mistura.
- » **Homogeneização:** material filtrado que é submetido ao processo de uniformização.
- » **Secagem:** remoção de 70 a 90% de água do sabão realizado por tuneis de secagem ou atomizadores a vácuo.
- » **Refinação e extrusão:** etapa complementar a homogeneização, utilizase compressores ou rosca sem-fim e cone de extrusão como a forma definida da barra.
- » **Corte, condicionamento, estampagem e embalagem:** processo de acabamento do sabão para apresentação comercial do produto.

- » **Armazenamento e expedição:** após a aprovação de controles de qualidade, o produto é mantido em local adequado para a distribuição no mercado.

Fabricação de detergentes

O processo de fabricação de detergentes é mais simples em comparação aos sabões, obedecendo as seguintes etapas: neutralização, mistura, aditivação, homogeneização, secagem, embalagem e expedição (PEREIRA, 2010).

- » **Neutralização:** existem empresas que não utilizam a etapa de sulfonação partindo-se do ácido sulfônico e realizando o ajuste de pH com alcalinizantes para obtenção do sal derivado neutro; o processo é realizado num reator com a acomodação da água, alcalinizante e o ácido sulfônico até a neutralização da solução, sendo necessário resfriar o reator pois é uma reação extremamente exotérmica.
- » **Homogeneização:** etapa que auxilia o processo de neutralização das matérias-primas opostas (ácido e base) sendo fundamental para estabilidade da mistura e completar o processo de resfriamento.
- » **Aditivação:** adição de diversos produtos para enriquecimento do produto final.
- » **Secagem:** etapa é realizada somente para detergente em pó; é realizada a partir da mistura líquida específica pós-filtração para a retirada de possíveis grumos.
- » **Embalagem, armazenamento e expedição:** procedimento de finalização do produto para comercialização, que envolve desde embalagens, aprovação de controle de qualidade, estocagem adequada e distribuição.

Propriedades

Sabões

- » **Solubilidade:** sabões podem ser formados por sais sódicos ou potássicos, sendo este último mais solúvel em água e álcool do que os sódicos. Apesar destas pequenas diferenças, a ordem geral é de que a solubilidade dos sabões depende diretamente da natureza do corpo graxo (PEREIRA, 2010).

» **Poder detergente:** está relacionado ao poder de aderência do sabão durante o processo de limpeza. O sabão atua como um corpo viscoso que

pode se interpor entre a matéria (a ser eliminada) e a superfície (tecido ou pele), por meio da formação da emulsão que realiza a retirada da matéria.

- » **Atuação do sabão:** deve-se lembrar de que o sabão não possui o poder de limpar nenhum material; ele atua como um agente umectante que diminui a tensão superficial do solvente (água) permitindo maior contato dos corpos com o líquido promovendo a remoção da matéria (sujeira).
- » **Química do sabão:** a interação do sabão com a água se dá por meio da extremidade carboxílica ($-\text{COO}-$) que possui caráter polar permitindo a solubilidade no mesmo, enquanto que a cadeia hidrocarbônica com forte caráter apolar permite a interação com a matéria orgânica, em sua maioria óleos e gorduras, formando micelas. Assim, a estrutura química dos sabões permite que sejam dispersos pequenos glóbulos, em que a porção hidrofóbica penetre nos glóbulos oleosos e a extremidade polar interaja com a água permitindo a sua solubilização.

Detergentes

- » **Atuação do detergente:** grande parte dos detergentes é destinada para a limpeza utilizando a água como solvente, no entanto, existem alguns produzidos para limpeza utilizando outros tipos de solventes, como por exemplo, os óleos de motores. Os detergentes possuem uma série de aplicações desde a limpeza doméstica até aplicações industriais. Da mesma maneira que os sabões, a estrutura molecular do detergente é composta por uma cadeia de hidrocarbonetos com grupos hidrofóbicos (baixa afinidade com a água) e de grupos hidrofílicos (alta afinidade com a água devido a polaridade). Desta maneira, a porção hidrofóbica pode dissolver-se em gorduras e óleos e a porção hidrofílica (polar) pode solubilizar-se em água. O poder de limpeza dos detergentes está relacionado a sua capacidade de formar emulsões com compostos solúveis nas gorduras. Na formação das emulsões, as moléculas de detergentes englobam a “sujeira” de modo que sejam solúveis em água a partir da formação de micelas, promovendo a dispersão de partículas sólidas de “sujeiras” na emulsão. As cadeias de hidrocarbonetos não polares dissolvem-se

no óleo e os grupos iônicos polares em água, formando gotículas carregadas negativamente se repelido mutuamente (PEREIRA, 2010).

A INDÚSTRIA PETROQUÍMICA E DE OUTROS COMBUSTÍVEIS

UNIDADE IV

CAPÍTULO 1

Petróleo e derivados

Introdução

O petróleo é uma mistura de hidrocarbonetos de baixo e alto peso molecular, inflamável, menos denso que a água e de cheiro característico, com coloração que varia de incolor à preto. O nome petróleo vem do latim *petroleum*, *petrus* = pedra; *oleum* = óleo, “óleo de pedra”.

A mistura de hidrocarbonetos é composta em sua maioria por componentes alifáticos, alicíclicos e aromáticos, contendo também nitrogênio, oxigênio compostos de enxofre e íons metálicos.

A proporção elementar dos componentes químicos do petróleo pode variar de região para região, porém, de forma geral pode ser expressa por (ANP, 2018):

- » Carbono: 82% – elemento principal no petróleo.
- » Hidrogênio: 12% – atua com o carbono formando as moléculas de hidrocarboneto.
- » Nitrogênio: 4% – encontrado em aminas.
- » Oxigênio: 1% – presente em baixas concentrações.
- » Sais: 0,5% – podem ou não estarem presentes.
- » Metais (ferro, cobre etc.): 0,5% – são considerados resíduos.

O petróleo pode ser considerado a mistura de substâncias que propulsionou a vida moderna, sendo o componente básico para mais de 6 mil produtos como a gasolina, borracha, gás de cozinha, lubrificantes, plásticos, tintas entre outros (GAUTO; ROSA, 2011).

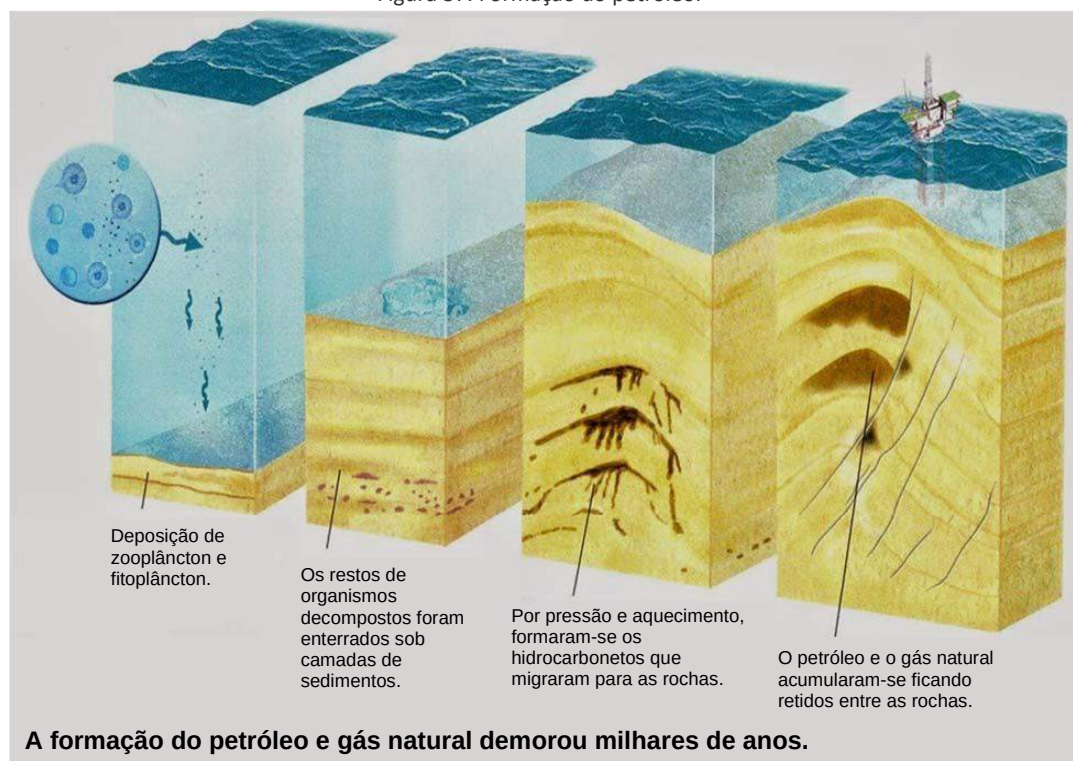
Formação do petróleo

Geologicamente, o petróleo é encontrado nas chamadas bacias sedimentares, que ao longo das eras acumulou material orgânico proveniente dos restos de animais e plantas.

Essas bacias sedimentares encontram-se próximas aos limites de placas tectônicas que, por meio da sua movimentação, exercem pressão sobre os resíduos de material orgânico.

A pressão somada ao calor da movimentação das placas tectônicas forneceu energia para que ocorressem os processos de formação do petróleo.

Figura 37. Formação do petróleo.



Fonte: <<https://mybrainsociety.blogspot.com.br/2014/05/?view=sidebar>>. Acesso em: 28/6/2018.

Estima-se que as jazidas petrolíferas mais novas datam de 2 milhões de anos, enquanto que as mais antigas possuem cerca de 500 milhões de anos.

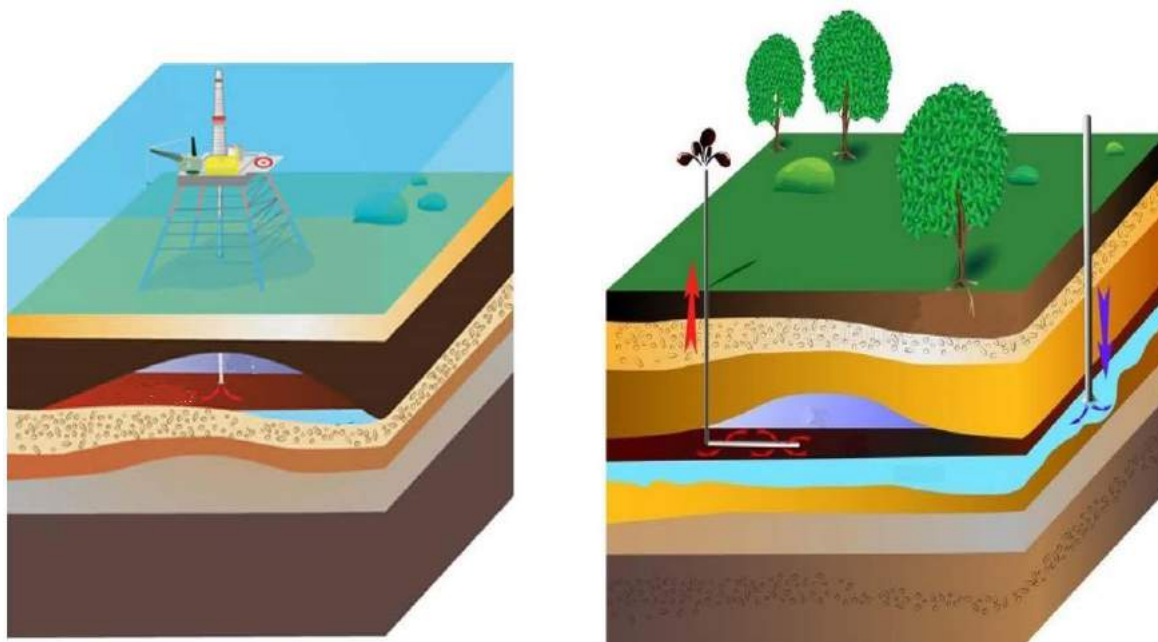
É importante destacar que o petróleo não é uma fonte renovável de energia, sendo necessário a pesquisa e o desenvolvimento de outras fontes de obtenção de energia e matérias-primas.

Extração do petróleo

O petróleo localiza-se principalmente nos poros das rochas, localizadas a milhares de metros de profundidade. Sua extração é bastante dificultada tanto na etapa de localização das jazidas quanto na perfuração e obtenção do óleo.

Os bolsões de petróleo podem ser encontrados em terra firme e no fundo do mar.

Figura 38. Jazidas de petróleo no mar e em terra firme.



Fonte: <<https://alunosonline.uol.com.br/quimica/exploracao-extracao-petroleo.html>>; <<https://www.dreamstime.com/stockimage-oil-extraction-bottle-brush-vector-scheme-image28851181>>. Acesso em: 28/6/2018.

A exploração e extração de petróleo seguem basicamente três passos:

Primeiro passo

Prospecção: levantamento topográfico para a localização das bacias sedimentares, pela análise do solo e subsolo. Nesta etapa, são usados equipamentos específicos como o gravímetro, que detecta variações na gravidade; magnetômetros, que detectam mudanças sutis no campo magnético, causado pelo fluxo do petróleo; *sniffers*

(farejadores eletrônicos), que detectam a presença de hidrocarbonetos; sismólogos, que detectam ondas de choques entre rochas.

Segundo passo

Perfuração: após a localização das jazidas de petróleo, o local é marcado por coordenadas de geolocalização. Realiza-se a perfuração do primeiro poço, para avaliação da viabilidade econômica da extração desta jazida. As perfurações podem atingir entre 800 a 6.000 metros de profundidade.

Terceiro passo

Extração: na terra, o petróleo localiza-se acima da água e abaixo de uma camada gasosa de alta pressão. Devido a isso, este pode jorrar espontaneamente até a superfície. Quando a pressão é insuficiente, utiliza-se o equipamento conhecido como “cavalo de pau” que bombeia o petróleo até a superfície. No mar, utilizam-se as plataformas petrolíferas que ficam sob a superfície da água.

Figura 39. “Cavalo de pau” utilizado na extração de petróleo.



Fonte: <<http://brasilsobranoelivre.blogspot.com.br/2012/11/cavalo-de-pau-brasileiro-sera-entregue.html>>. Acesso em: 28/6/2018.

Refino do petróleo

A partir do refino do petróleo obtém-se diversos subprodutos usados no cotidiano. No processo de **destilação fracionada** os componentes com menores quantidades de carbono saem primeiro da coluna de destilação (como o GLP, por exemplo), enquanto

que aqueles com maior quantidade de carbono, e conseqüentemente maior peso molecular, são retirados posteriormente na forma de sólidos.

O petróleo pode ter diversas classificações, dependendo dos critérios utilizados. Dentre elas, podemos destacar o grau de densidade API, o teor de enxofre e razão entre os componentes químicos (GAUTO; ROSA, 2011).

a. Densidade API: parâmetros oriundos do *American Petroleum Institute*, obtém-se pelo cálculo:

- › A densidade do óleo utilizada é a densidade específica calculada tendo como referência a água.
- › Segundo a classificação API, temos:
 - **Petróleo leve:** acima de 30° API.
 - **Petróleo médio:** entre 21 e 30° API.
 - **Petróleo pesado:** abaixo de 21° API.

b. Teor de enxofre: de acordo com o teor de enxofre na amostra, temos a seguinte classificação:

- › **Petróleo doce:** teor de enxofre < 0,5% em massa.
- › **Petróleo ácido:** teor de enxofre > 0,5% em massa.

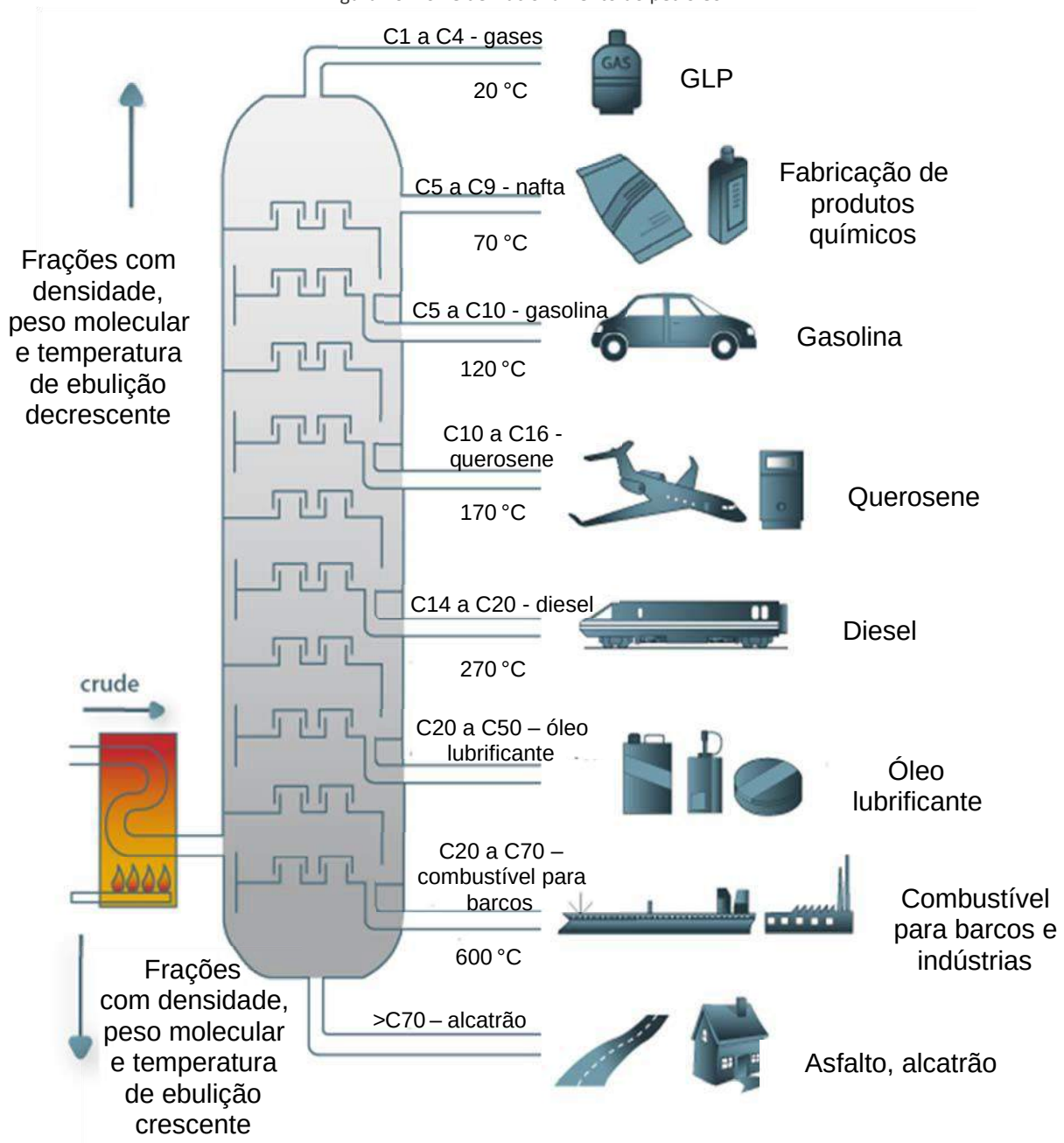
c. Razão entre os componentes químicos: está relacionado ao tipo de cadeia de hidrocarbonetos presente na amostra:

- › **Aromáticos:** cadeia fechada, com ligações duplas e simples alternadas (núcleo benzênico).
- › **Olefínicos:** cadeias com ligações duplas.
- › **Acetilênicos:** cadeias retilíneas com tripla ligação.

Destilação do petróleo

O processo de destilação é utilizado para fracionar o petróleo, separando os seus constituintes. Essa separação é baseada na volatilidade de cada componente da mistura.

Figura 40. Torre de fracionamento do petróleo.



Fonte: <<https://diariodopresal.wordpress.com/o-que-e-o-pre-sal/torre-de-fracionamento-de-petroleo-3/>>. Acesso em: 28/6/2018.

Na unidade de destilação industrial, antes de entrar na coluna de fracionamento, o petróleo cru passa por algumas seções específicas:

- a. Seção de dessalgação e pré-aquecimento:** o dessalgador é um equipamento destinado à retirada de sais inorgânicos, água e sedimentos. Existem dois tipos de dessalgadores: o químico, no qual o petróleo é aquecido e a ele adiciona-se água para a dissolução dos sais e ainda algum agente químico capaz de coagular esses componentes; o elétrico é utilizado da mesma maneira, porém, ao invés de adicionar-se agentes químicos para a coagulação, passa-se uma corrente elétrica para favorecer a coagulação e sedimentação da fase aquosa.
- b. Seção pré-flash:** é onde ocorre a separação das frações mais leves como o GLP e nafta leve.
- c. Seção atmosférica:** separação das frações com temperatura de ebulição de até 360°C.
- d. Seção vácuo:** separação das frações mais pesadas como óleo combustível e asfalto.

Craqueamento

O craqueamento é a terceira etapa do refino do petróleo, podendo ser térmico ou catalítico. O princípio do craqueamento baseia-se na quebra das moléculas de hidrocarbonetos, transformando-as em moléculas menores.

O **craqueamento térmico** é realizado em temperatura e pressão elevadas, quebrando as moléculas mais pesadas. No **craqueamento catalítico**, utiliza-se catalisadores, capazes de aumentar a velocidade das reações.

Produção de petróleo no Brasil

A produção de petróleo no Brasil possui estimativa de crescimento em 38% até 2022 (RAMALHO, 2017).

A produção brasileira atual fica em torno de 2 milhões de barris por dia, ficando em 17º no ranking mundial de produção.

A exploração do petróleo no Brasil é realizada em nove bacias, tendo como destaque as bacias de Campos, de Santos, Espírito Santo e Recôncavo Baiano.

1. Bacia de Campos: localiza-se entre o litoral do Espírito Santo e Rio de Janeiro. É responsável por 80% da produção brasileira.
2. Bacia de Santos: localiza-se entre o litoral sul do Rio de Janeiro e estendese até o norte de Santa Catarina. É nesta bacia que se encontra a camada pré-sal.
3. Bacia do Espírito Santo: estende-se da porção norte do Espírito Santo até o litoral sul da Bahia. Extraí-se principalmente gás natural.
4. Bacia do recôncavo baiano: localiza-se ao longo do estado da Bahia, sendo a segunda bacia brasileira em volume de produção.

CAPÍTULO 2

Polímeros e Petroquímica (etoxilados)

Introdução

Os polímeros são materiais muito empregados atualmente. Eles são utilizados em diversos setores do cotidiano estando presentes, por exemplo, em móveis, encanamentos, próteses, utensílios de cozinha, peças de automóveis, eletrodomésticos entre outras tantas possibilidades.

Devido a sua elevada versatilidade e empregabilidade, os polímeros possuem relevante importância tanto econômica, como social e ambiental.

Um dos problemas atuais de se empregar polímeros nas produções em geral, é o acúmulo de resíduos tanto em lixões quanto a presença nas águas.

A indústria petroquímica

A indústria petroquímica é a responsável pela produção dos polímeros. No Brasil, destacam-se quatro polos: Polo Petroquímico de São Paulo, Polo Petroquímico de Camaçari – Bahia, Polo Petroquímico de Triunfo – Rio Grande do Sul e Polo Petroquímico do Rio de Janeiro.

As indústrias de primeira geração são aquelas que utilizam principalmente nafta e gás natural para produzir os materiais petroquímicos básicos como metano, etano, propeno, buteno e petroquímico cíclicos (GAUTO; ROSA, 2011).

As indústrias de segunda geração são aquelas que processam os produtos petroquímicos básicos, produzindo os produtos petroquímicos intermediários (polímeros).

Os de terceira geração são os responsáveis em transformar os produtos de segunda geração em embalagens, recipientes, sacos, tintas etc.

Polímeros

Os polímeros são macromoléculas formados a partir de repetições de subunidades menores. As macromoléculas são caracterizadas por elevado peso molecular. As

subunidades menores são chamadas de monômeros, sendo moléculas simples, geralmente orgânicas.

Classificação dos polímeros

Os polímeros podem ser classificados quanto sua natureza, fusibilidade, disposição espacial dos monômeros, estrutura molecular, morfologia no estado sólido e método de preparação.

Natureza do polímero

Polímeros naturais: presentes nos seres vivos, como DNA, RNA, proteínas e carboidratos.

Polímeros sintéticos: produzidos pela indústria petroquímica, como por exemplo, PVC, PP e PET.

Fusibilidade

Termoplásticos: são aqueles que podem ser fundidos por aquecimento, possibilitando a mudança de seu formato. Exemplo: poliamida, polipropileno e poliestireno.

Termofixos: são polímeros infusíveis e insolúveis, que por aquecimento adquirem estrutura tridimensional rígida, com ligações cruzadas. Exemplo: baquelite e silicone.

Disposição espacial dos monômeros

Polímero tático: é aquele que as cadeias poliméricas se dispõem de maneira ordenada. **Polímero atático:** é aquele que as cadeias poliméricas se dispõem de maneira aleatória.

Estrutura molecular

Podem possuir estrutura linear, ramificada ou em rede.

Morfologia no estado sólido

Amorfos: as moléculas dos polímeros são orientadas aleatoriamente e estão entrelaçadas. Os polímeros amorfos geralmente são transparentes.

Semicristalinos: as moléculas apresentam-se em empacotamento regular, ordenado em determinadas regiões. Estes são mais duros e resistentes, sendo opacos.

Método de preparação

Polímeros por adição: são formados pela adição sucessiva de monômeros à cadeia. Geralmente, as moléculas de monômeros apresentam ligações duplas em sua estrutura.

UNIDADE IV | A INDÚSTRIA PETROQUÍMICA E DE OUTROS COMBUSTÍVEIS

Polímeros por condensação: formado pela reação de dois monômeros diferentes, com eliminação de pequenas moléculas como subprodutos. Os monômeros não precisam apresentar necessariamente duplas ligações em sua estrutura.

Tipos de polímeros

Polímeros de adição

Polietileno

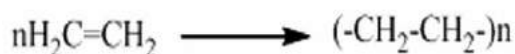
É obtido a partir da reação entre moléculas de eteno, apresentando alta resistência à umidade e ataque químico, flexibilidade e baixa resistência mecânica.

Polietileno de alta densidade (PEAD)

Possui cadeias lineares dispostas paralelamente, favorecendo a interação intermolecular.

Utilizado na fabricação de garrafas, brinquedos e material hospitalar.

Figura 41. Formação da cadeia de PEAD.



Fonte: Imagem de própria autoria.

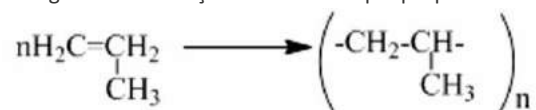
Polietileno de baixa densidade (PEBD)

Possui cadeias ramificadas que provocam impedimento do empilhamento das estruturas. É um material bastante flexível, termoplástico, branco a translúcido. Utilizado na produção de sacolas plásticas, revestimentos de fios e utensílios domésticos.

Polipropileno

Obtido da adição sucessiva do propeno.

Figura 42. Formação da cadeia de polipropileno.



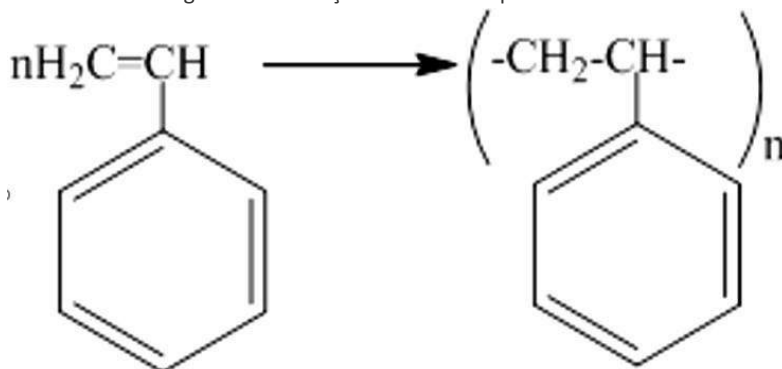
Fonte: Imagem de própria autoria.

Este polímero é incolor, termoplástico, baixa densidade, boa resistência química e térmica. Usado para produzir objetos moldados, fibras de roupas, cordas, tapetes, equipamentos médicos entre outros.

Poliestireno

Obtido da adição sucessiva do vinil benzeno (estireno).

Figura 43. Formação da cadeia de poliestireno.



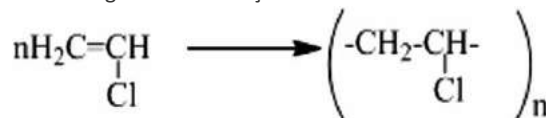
Fonte: Imagem de própria autoria.

Material amorfo, termoplástico, baixa resistência ao risco. Utilizado na produção de utensílios rígidos como pratos e copos, embalagens para cosméticos e alimentos.

Policloreto de vinila (PVC)

Obtido da adição sucessiva do cloreto de vinila (cloroeteno).

Figura 44. Formação da cadeia de PVC.



Fonte: Imagem de própria autoria.

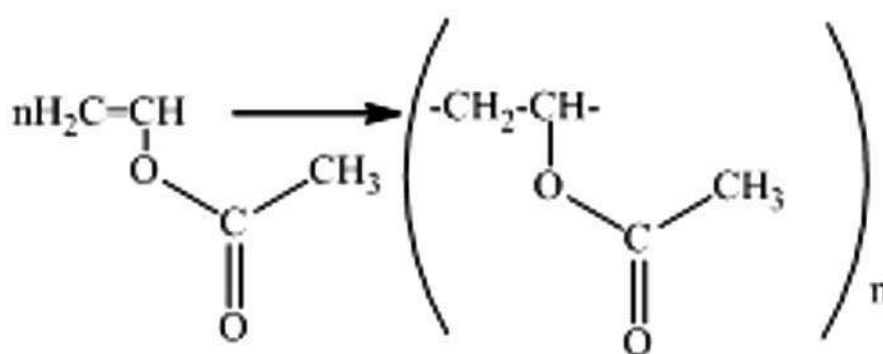
Possui resistência química, termoplástico, rigidez elevada. É utilizado em tubulações, garrafas plásticas, calçados, bolsas etc.

Poliacetato de vinila (PVA)

Obtido da adição sucessiva do acetato de vinila.

UNIDADE IV | A INDÚSTRIA PETROQUÍMICA E DE OUTROS COMBUSTÍVEIS Figura 45.

Formação da cadeia de PVA.



Fonte: Imagem de própria autoria.

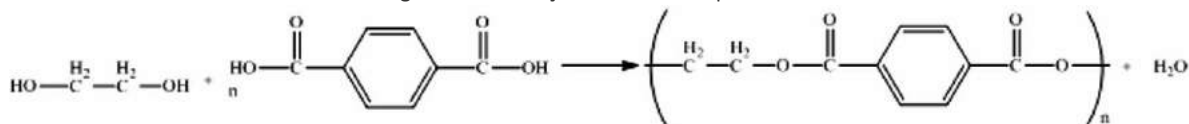
Termoplástico utilizado na preparação de tintas e adesivos.

Polímeros de condensação

Poliéster

É caracterizado pela presença de vários grupos ésteres. O poliéster mais conhecido é o PET, obtido da reação entre o ácido tereftálico e o etilenoglicol.

Figura 46. Formação da cadeia de poliéster.



Fonte: Imagem de própria autoria.

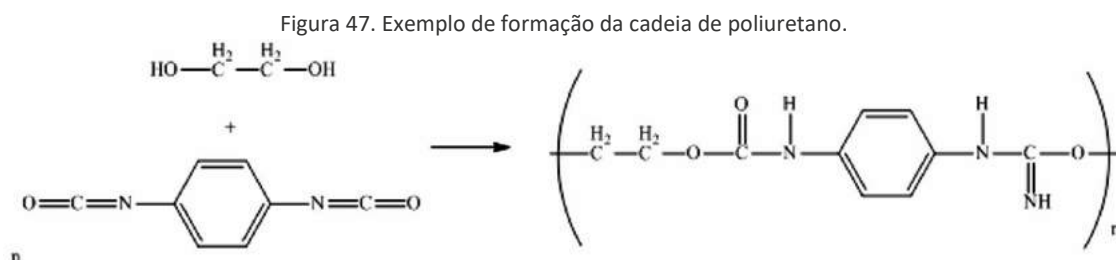
O PET é um material termoplástico, apresenta alta resistência mecânica, química e térmica. É empregado na fabricação de tecidos, garrafas, linha de pesca, filmes fotográficos etc.

Policarbonato

O policarbonato é um polímero termoplástico, incolor e transparente. Apresenta alta resistência ao impacto sendo empregado na fabricação de janelas para aviões e em “vidros a prova de bala”. Utilizado também na fabricação de capacetes, componentes elétricos, artigos esportivos entre outros.

Poliuretanos

São obtidos a partir da reação entre um diisocianato e um diol.



Fonte: Imagem de própria autoria.

Os poliuretanos podem ser termoplásticos ou termorrígidos, conforme os monômeros empregados. Podem ser rígidas ou flexíveis e são empregadas na produção de colchões, estofados, isolantes térmicos e acústicos e fibras.



A poluição das águas por plástico tornou-se um grave problema mundial. Estes componentes alteram significativamente a flora e fauna, acarretando na morte de diversas espécies.

Assista ao vídeo “ONU: o plástico está cobrindo e destruindo o nosso planeta” pelo *link* <<https://youtu.be/3dmZrzeg2e0>> para saber mais sobre os impactos causados pelo plástico.

CAPÍTULO 3

Álcool etílico

Introdução

O álcool etílico ou etanol está presente em nosso cotidiano sendo empregado na produção de produtos de limpeza, bebidas alcoólicas, medicamentos, solvente de tintas e combustível.

O etanol é uma substância orgânica de fórmula $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ obtido pela fermentação de açúcares, hidratação do etileno ou redução do acetaldeído.

O etanol pode ser encontrado tanto anidro quanto hidratado:

- » **Etanol anidro:** possui teor alcoólico de no mínimo 99,3°, composto apenas por etanol. É empregado como combustível e matéria-prima industrial.
- » **Etanol hidratado:** é uma mistura de etanol e água com teor alcoólico mínimo de 92,6°. É utilizado principalmente na indústria de bebidas, farmacêuticas e em produtos de limpeza.

Processos de fabricação do etanol

O etanol pode ser obtido a partir de três processos: fermentação de açúcares, hidratação do etileno ou redução do acetaldeído.

Fermentação de açúcares

A fermentação é o processo mais utilizado para se obter o etanol. No Brasil, utiliza-se a cana-de-açúcar como matéria-prima, porém, em outros países utiliza-se outras plantas ricas em açúcares como o milho, beterraba, arroz, trigo e batata.

As etapas de produção do etanol envolvem a colheita da espécie vegetal a ser utilizada, a moagem, produção do melaço, a fermentação e destilação. Focando-se no método produtivo brasileiro, abaixo serão apresentadas as etapas de obtenção do etanol a partir da cana de açúcar.

Figura 48. Cana-de-açúcar.



Fonte: <<https://www.comprerural.com/plantio-da-cana-de-acucar-tudo-o-que-e-necessario-saber-para-se-obter-sucessonessa-cultura/>>. Acesso em: 28/6/2018.

Colheita da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma gramínea da família das *Poaceae*, tendo o nome científico de *Saccharum officinarum*. Para o seu crescimento, é necessário alta exposição à radiação solar, o que favorece o seu cultivo no Brasil.

Sua colheita pode ser feita manualmente ou utilizando-se colheitadeiras mecânicas.

Após a colheita, a cana deve ser moída em até 72h para que não ocorra contaminação por fungos e bactérias que prejudiquem a fermentação.

A cada tonelada de cana-de-açúcar colhida, produz-se cerca de 70 litros de etanol.

Moagem

A moagem é feita em moendas nas usinas, liberando o caldo conhecido como garapa. Esta garapa é rica em sacarose, açúcar utilizado na produção do etanol.

O bagaço produzido posteriormente à moagem é utilizado como combustível, sendo queimado nas caldeiras, liberando energia usada na produção de eletricidade.

Produção do melaço

Quando a garapa é aquecida à 105°C, ocorre a formação do melaço. O melaço nada mais é que um concentrado de 40% de sacarose.

Pré-evaporação

O melaço é aquecido até 115°C evaporando a água até a concentração de 20 brix (porcentagem de sólidos solúveis contidos em uma solução). Esse aquecimento favorece a fermentação por eliminar microrganismos selvagens.

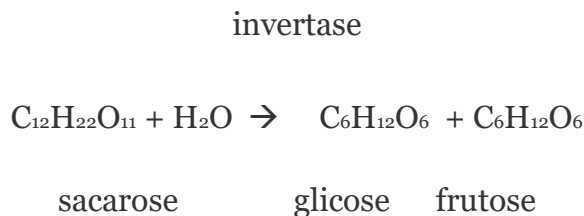
Preparo do mosto

O mosto é composto de caldo clarificado, melaço e água. O mosto é resfriado até 30°C e passado para a etapa de fermentação.

Fermentação

A etapa de fermentação é contínua e agitada. A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é inoculada no mosto. Esta levedura, na presença de sacarose, produz a enzima **invertase** que atua como catalisador na hidrólise da sacarose, produzindo então glicose e frutose:

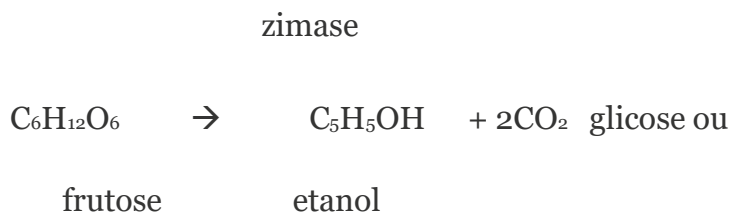
Figura 49. Hidrólise da sacarose.



Fonte: Imagem de própria autoria.

Posteriormente, a levedura produz outra enzima, **zimase**, que catalisa a quebra da glicose e frutose em etanol e gás carbônico.

Figura 50. Produção enzimática do etanol.



Fonte: Imagem de própria autoria.

A imagem a seguir mostra a etapa de fermentação do mosto pelas leveduras. Pode-se observar a produção de bolhas, geradas pelo desprendimento do gás carbônico.

Figura 51. Fermentação do mosto.



Fonte: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2015/08/13/hidrogenio-a-partir-de-etanol/>>. Acesso em: 28/6/2018.

Destilação

Posteriormente à fermentação, o mosto fermentado é levado para a destilação fracionada. Por meio dessa técnica, obtém-se o etanol comum a 96°GL.

Hidratação do etileno

Neste método de obtenção do etanol, o etileno, um gás incolor reage com a água, formando-se então o etanol:

Figura 52. Reação de hidratação do etileno.



Fonte: Imagem de própria autoria.

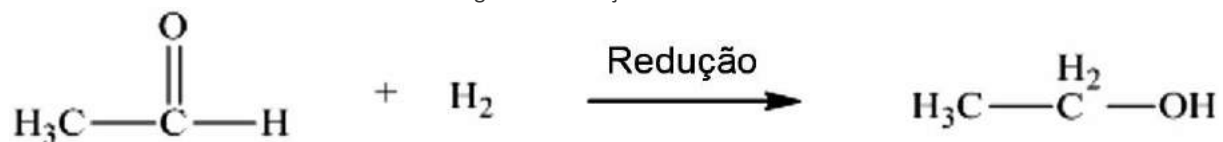
Este tipo de reação necessita de um catalisador que pode ser o ácido sulfúrico ou o ácido fosfórico.

Esta metodologia é pouco empregada no Brasil, porém, estima-se que 80% do etanol produzido nos Estados Unidos seja obtido por esse processo.

Redução do acetaldeído

Uma outra possibilidade de produção de etanol é a partir da redução do acetadeído.

Figura 53. Redução do acetadeído.



Fonte: Imagem de própria autoria.

O etanal reage com o gás hidrogênio, produzindo o etanol. Esta metodologia é pouco empregada nos processos em grande escala.

CAPÍTULO 4

Biocombustíveis

Introdução

Os combustíveis renováveis, aos poucos, vêm substituindo os combustíveis fósseis em todas as suas áreas de uso. A limitação e o esgotamento das reservas de combustíveis fósseis são os principais fatores da mudança de paradigma quanto ao uso dessas substâncias.

Além da limitação das reservas, os combustíveis fósseis são extremamente poluentes, resultando na emissão massiva de partículas no ar, água e solo e gases de efeito estufa antropogênicos, principais responsáveis pelo aquecimento global.

Tais alterações climáticas tiveram grande aumento nas últimas cinco décadas, sendo resultantes, principalmente, da ação humana. Tendo em vista tais efeitos, é necessário que os níveis atmosféricos de dióxido de carbono (CO₂) sejam estabilizados em 450 p.p.m. até o final do século XXI, o que significa uma emissão de 2 toneladas/ano por pessoa de CO₂ (BART; PALMERI; CAVALLARO, 2010). Para que essa meta seja alcançada, várias ações devem ser tomadas incluindo uma regulamentação governamental global, em que os principais países emissores de poluição estejam de acordo e ciente quanto ao limite de emissão de poluentes; aumentar a eficiência dos processos produtivos industriais (em particular nas indústrias mais poluidoras: química, de cimento e aço), pesquisa e desenvolvimento de biocombustíveis com ciclo de zero carbono.

O que são biocombustíveis?

Biocombustíveis são substâncias derivadas de biomassa renovável, podendo substituir os combustíveis de derivados de petróleo e gás natural.

Os principais biocombustíveis utilizados no Brasil são o etanol, originado a partir da cana-de-açúcar, e o biodiesel, produzido a partir de óleos vegetais ou de gorduras de animais.

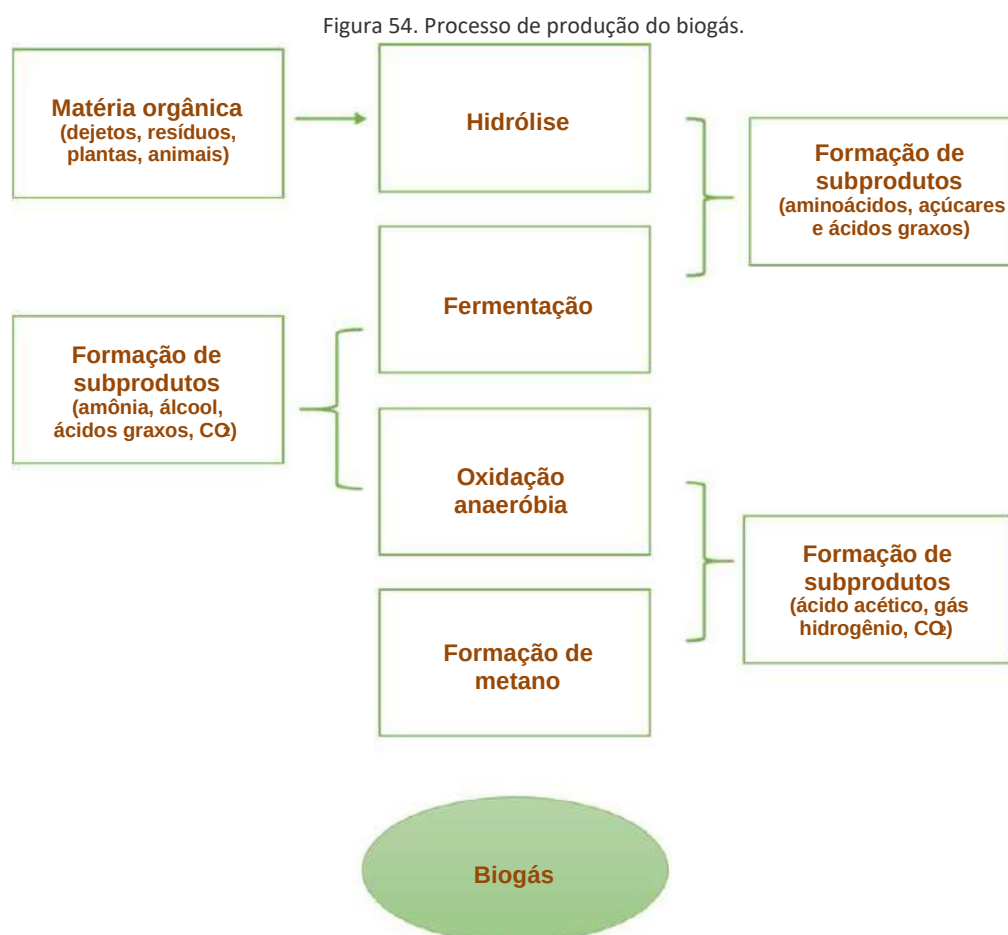
Cerca de 45% da energia e 18% dos combustíveis consumidos no Brasil provêm de fontes renováveis (ANP, 2018).

Além do biodiesel e do etanol, existe o biometano como biocombustível.

Biometano

O biometano é obtido a partir do biogás. Este biogás é produzido da decomposição da matéria orgânica por microrganismos.

O processo de formação do biogás envolve a decomposição anaeróbia de matéria orgânica pela ação de bactérias. Ele é composto de 60% de metano, 35% de gás carbônico e 5% de outros gases (hidrogênio, nitrogênio amônia, aminas e oxigênio).



Fonte: <<https://www.infoescola.com/combustiveis/biogas/>>. Acesso em: 29/6/2018.

Hidrólise

Nesta etapa, ocorre a quebra da matéria orgânica pela ação da água em moléculas menores. Essas moléculas sofrerão então ação dos microrganismos.

Fermentação

Ocorre pela ação dos microrganismos fermentadores. Ocorre a quebra de moléculas em moléculas ainda menores.

Oxidação anaeróbia

Ocorre a quebra de moléculas e a formação de ácido acético, gás hidrogênio e CO_2 . Nesta etapa, são necessárias bactérias metanogênicas que consumam o hidrogênio.

Formação do metano

Posteriormente à oxidação anaeróbia, ocorre a formação do metano, principal componente do biogás.

Biodiesel

O biodiesel é obtido a partir da transesterificação de triglicerídeos. A matéria-prima principal para sua produção são os óleos de origem vegetal.

O biodiesel apresenta algumas vantagens frente ao uso dos combustíveis fósseis: na reação de combustão produz menor quantidade de dióxido de carbono, além de ser uma fonte de energia renovável.

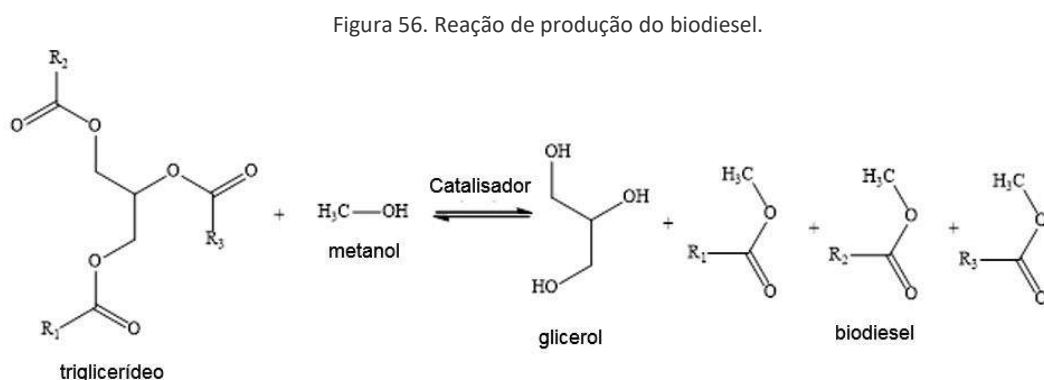
Ciclo da produção de biodiesel

A figura abaixo mostra o processo produtivo de biocombustíveis, especialmente do biodiesel.



Fonte: adaptado de <<http://revistagalileu.globo.com/Revista/Galileu/0,,EDG83925-7837-203-3,00BIOCOMBUSTIVEL+OU+COMIDA.html>>. Acesso em: 29/6/2018.

A reação química que envolve a produção do biodiesel está representada a seguir:



Fonte: Imagem de própria autoria.

A reação de formação do biodiesel envolve a hidrólise alcalina de um triglicerídeo, fornecendo além do biodiesel, o glicerol como subproduto. Esse processo é conhecido como **transesterificação**.

Biodiesel no Brasil

Segundo a Agência Nacional do Petróleo (ANP), a produção e o consumo de biodiesel no Brasil é uma das maiores do mundo, sendo sua produção no ano de 2010 de 2,4 bilhões de litros.

Devido sua alta viscosidade e densidade, o biodiesel ainda não pode ser utilizado puro nos motores de óleo diesel. Para isso, são feitas misturas com o óleo de origem petroquímica em proporções que variam de 2 a 5%.

Em 2005, o congresso nacional aprovou a lei nº 11.097, que tornou obrigatório a adição de 2% de biodiesel ao diesel encontrado nos postos de combustíveis. Na resolução 6, de 2009, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) aumentou para 5% o percentual obrigatório.

Os incentivos estabelecidos atuam para fortalecer a indústria nacional de biocombustíveis, trazendo tanto vantagens econômicas quanto ambientais para o nosso país.

Referências

ABCP. **Associação Brasileira de Cimento Portland**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/tipos/a-versatilidade-do-cimentobrasileiro/>>. Acessado em: 16/5/2018.

ABIQUIM. **Desempenho da indústria química em 2016**. São Paulo, 2016.

ABNT. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/>>. Acessado em: 14/5/2018.

AISI. **American Iron and Steel Institute**. Disponível em: <<https://www.steel.org/>>. Acessado em: 14/5/2018.

ALTO FORNO. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/demouthie/escoriafabricacao>>. Acessado em: 12/5/2018.

ALUNOS ONLINE. **Exploração e extração do petróleo**. Disponível em: <<https://alunosonline.uol.com.br/quimica/exploracao-extracao-petroleo.html>>. Acesso em: 24/5/2018.

ANDRÉ RAMALHO. **Petrobras: Produção de petróleo no Brasil deve crescer 38% até 2022**. 2017. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/empresas/5234669/petrobrasproducao-de-petroleo-no-brasil-deve-crescer-38-ate-2022>>. Acesso em: 9/5/2018.

ANP. **Biocombustíveis**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis>>. Acesso em: 9/5/2018.

ANP. **Petróleo**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/petroleo-e-derivados2/petroleo>>. Acesso em: 8/5/2018.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Consulta Pública nº 312**, de 20 de fevereiro de 2017. Brasília, 2017.

AQUABIOS. **Osmose inversa**. Disponível em: <<http://www.aquabios.pt/osmoseinversa>>. Acesso em: 24/5/2018.

ARTE PRECOLOMBINO. **Cerâmica com técnicas americanas**. Disponível em: <<http://www.arteprecolombino.com.ar/engobes.htm>>. Acesso em: 25/5/2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9800**: critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987.

ATLAS ACUARIO. **Filtración**. Disponível em: <<http://www.atlasacuاريو.com/guia%201%20mi%20primer%20acuاريو%20pag%204%20filtro.htm>>. Acesso em: 24/5/2018.

BARRON'S. **Iron-ore prices will fall further**. Disponível em: <<https://www.barrons.com/articles/iron-ore-prices-will-fall-further-1498277483>>. Acessado em: 7/5/2018.

BART, Jan C. J.; PALMERI, Natale; CAVALLARO, Stefano. **Biodiesel science and technology**. Cornwall: Crc Press, 2010.

BELGO. **Processo de fabricação Belgo 50 e Belgo 60**. Disponível em: <<http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/belgo5060.pdf>>. Acessado em: 14/5/2018.

BLOOMBERG. **Iron Ore Powers Higher as China Clean-Air Push Boosts Demand**. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-12-18/iron-ore-powers-higher-as-china-s-clean-air-push-boosts-demand>>. Acesso em: 24/5/2018.

BRAGA, Lauriberto. **Cavalo de pau brasileiro será entregue hoje**. Disponível em: <<http://brasilsobranoelivre.blogspot.com.br/2012/11/cavalo-de-pau-brasileiro-sera-entregue.html>>. Acesso em: 24 maio 2018.

BRASIL. Ministério do meio ambiente. **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005. Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Classificação Nacional de Atividades Econômicas**. 2006. Disponível em: <<https://concla.ibge.gov.br/images/concla/documentacao/ResConcla1-2006.pdf>>. Acesso em: 25/4/2018.

BRASIL ESCOLA. **Poluição da água**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/biologia/poluicao-aguas.htm>>. Acesso em: 24/5/2018.

BREDA, Eymard de Meira. **Água grau reagente para laboratório e outros fins especiais**. 2001. Disponível em: <http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_responde/C1GUA%20GRAU%20REAGENTE.PDF>. Acesso em: 3/5/2018.

CAERN. **Tratamento de Esgoto**. Disponível em: <<http://www.caern.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=12037&ACT=null&PAGE=0&PARM=null&LBL>>.

=null>. Acesso em: 24/5/2018.

REFERÊNCIAS

CAÇADORES-COLETORES. **Caçadores-coletores**: uma revisão. Disponível em: <<http://deedellaterra.blogspot.com.br/2013/02/cacadores-coletores-uma-revisao.html>>. Acesso em: 24/5/2018.

COMPRERURAL. **Plantio da cana-de-açúcar, tudo o que é necessário saber**. Disponível em: <<https://www.comprerural.com/plantio-da-cana-de-acucartudo-o-que-e-necessario-saber-para-se-obter-sucesso-nessa-cultura/>>. Acesso em: 24/5/2018.

DALMOLIN, Carla. **Tratamento de Águas Industriais**. Florianópolis: UDESC, 2018.

DIÁRIO DO PRÉ-SAL. **O que é o Pré-Sal** » Refino de petróleo: Torre de fracionamento de petróleo. Disponível em: <<https://diariodopresal.wordpress.com/o-que-e-o-presal/torre-de-fracionamento-de-petroleo-3/>>. Acesso em: 24 maio 2018.

DIÁRIO GAÚCHO. **Empresa de gases industriais e medicinais busca estagiários no RS**. Disponível em: <<http://diariogaucha.clicrbs.com.br/rs/diadia/noticia/2017/08/empresa-de-gases-industriais-e-medicinais-busca-estagiariosno-rs-9873612.html>>. Acesso em: 24/5/2018.

DREAMSTIME. **Oil extraction bottle brush**. Vector scheme. Disponível em: <<https://www.dreamstime.com/stock-image-oil-extraction-bottle-brush-vectorscheme-image28851181>>. Acesso em: 24 maio 2018.

EDUCARE. **Tratamento de água de abastecimento por meio da tecnologia de filtração em** múltiplas etapas – FIME. Disponível em: <<http://blog.educare.bio.br/wordpress?tag=filtracao-lenta>>. Acesso em: 24/5/2018.

EMERGUY, Lila. **A extração da balata é reconhecida pelo Iphan como patrimônio cultural de natureza imaterial do Pará**. Disponível em: <<http://www.mppa.mp.br/index.php?action=Menu.interna&id=6236&class=N>>. Acesso em: 24 maio 2018.

EQUIPAMENTO AMBIENTAL. **Reverse osmosis water filtration system, RO water treatment plant 250 - 1000L/H Capacity**. Disponível em: <<http://www.industrial-wastewatertreatment.com/sale-4350533-reverse-osmosis-water->

filtrationsystem-ro-water-treatment-plant-250-1000l-h-capacity.html>. Acesso em: 24/5/2018.

FERRUGIA, Beatriz. **Membranas de filtração, tecnologia eficiente em aplicações diversas.** Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/6489noticias>>. Acesso em: 24 maio 2018.

FLORESTA, Cleide. **Estações compactas.** Disponível em: <<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/26/estacoescompactas-280963-1.aspx>>. Acesso em: 24/5/2018.

GAUTO, M. A.; ROSA, G. R. **Processos e operações unitárias da Química Industrial.** Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2011.

GIORDANO, Gandhi. **Tratamento e controle de efluentes industriais.** Rio de Janeiro: Revista Abes, 2004.

HIDROSUL. **Peneira estática para efluente.** Disponível em: <<http://www.hidrosul.com.br/produto/peneira-estatica>>. Acesso em: 24/5/2018.

IMPERMEABILIZANTES UNIÃO. **Corpo de apoio para massas selantes em juntas de dilatação** – Tarucel. Disponível em: <<http://imperuniao.blogspot.com.br/2011/01/corpo-de-apoio-para-massas-selantes-em.html>>. Acesso em: 24/5/2018.

INDIAMART. White factice, 50 kg. Disponível em: <<https://www.indiamart.com/proddetail/white-factice-12495198862.html>>. Acesso em: 24/5/2018.

INFOESCOLA. **Biogás.** Disponível em: <<https://www.infoescola.com/combustiveis/biogas>>. Acesso em: 24 mai. 2018.

LA DEPURADORA. Disponível em: <<https://iesmunoztorrero.educarex.es/web/aguaserena/buey/depuradora/depuradora.html>>. Acesso em: 24 maio 2018.

LAIFI. **Tratamento preliminar.** Disponível em: <http://www.laifi.com/laifi.php?id_laifi=7299&idC=87814#>. Acesso em: 24/5/2018.

LÓGICA AMBIENTAL. **Lagoa Facultativa.** Disponível em: <<http://www.logicambiental.com.br/lagoa-facultativa/>>. Acesso em: 24/5/2018.

MACROVENDA. **Carvão aditivado.** Disponível em: <<http://www.macrovenda.com.br/carvao-ativado.php>>. Acesso em: 24/5/2018.

MEIO AMBIENTE. Disponível em: <<http://oseas2d2010.blogspot.com.br/2010/05/lagoa-de-maturacao-fase-final-de-todo.html>>. Acesso em: 24 maio 2018.

MYBRAIN. **Combustíveis fósseis.** Disponível em:
<<https://mybrainsociety.blogspot.com.br/2014/05/?view=sidebar>>. Acesso em: 24/5/2018.

NATURALTEC. **Filtração de Água com Resinas de Troca Iônica.** Disponível em:
<<http://www.naturaltec.com.br/resina-de-troca-ionica/>>. Acesso em: 24/5/2018.

REFERÊNCIAS

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **v4: International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC).** Nova York: United Nations Publication, 2008. Disponível em:
<https://unstats.un.org/unsd/publication/seriesm/seriesm_4rev4e.pdf>. Acesso em: 25/4/2018.

PEREIRA, F. S. G. **Processos químicos industriais.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE, RECIFE, 2010.

PESQUISA FAPESP. **Hidrogênio a partir de etanol.** Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2015/08/13/hidrogenio-a-partir-de-etanol/>>. Acesso em: 24/5/2018.

REVISTA GALILEU. **Biocombustível ou comida?** Disponível em: <<http://revistagalileu.globo.com/Revista/Galileu/0,,EDG83925-7837-203-3,00BIOCOMBUSTIVEL+OU+COMIDA.html>>. Acesso em: 24 mai. 2018

SAE. **Society of Automotive Engineers,** Disponível em: <<https://www.sae.org/>>. Acessado em: 14/5/2018.

SALÚD CONSULTAS. **São zeólitos realmente seguro e eficaz?** Disponível em: <<https://www.saludconsultas.com/pt/las-zeolitas-son-realmente-seguras-yeficaces/17666>>. Acesso em: 24/5/2018.

SILVA, J. N. S. **Siderurgia.** Belém: IFPA: Santa Maria: UFSM, 2011.

THOMAZ, Eduardo C. S. **Escória de alto forno.** Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/demouthie/escoria-fabricacao>>. Acesso em: 24/5/2018.

TODA MATÉRIA. **Idade dos metais.** Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/idade-dos-metais/>>. Acesso em: 24/5/2018.

TORRE DE COQUE. Disponível em: <<http://mapio.net/pic/p-10975651/>>. Acessado em: 3/5/2018.

TěžAřSKÁ NWR prodá své koksovny za 2,5 miliardy korun společnosti Metalimex. Disponível em: <<https://byznys.ihned.cz/c1-60906160-tezarska-nwr-proda-svekoksovny-za-2-5-miliardy-korun-spolecnosti-metalimex>>. Acesso em: 24/5/2018.

VAGÃO DE COQUE. Disponível em: <<https://byznys.ihned.cz/c1-60906160-tezarskanwr-proda-sve-koksovny-za-2-5-miliardy-korun-spolecnosti-metalimex>>. Acessado em: 3/5/2018.

ÁGUA COM QUALIDADE. Tubulações antigas. Disponível em: <<http://acquality.com.br/blog/tubulacoes-antigas/>>. Acesso em: 24/5/2018.

ÂNFORAS GREGAS. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAfAosAA/anforas-gregas>>. Acesso em: 24/5/2018.



Tecnologia na Fabricação

Farmacêutica

Brasília-DF.

Elaboração

Gislaine Patricia de Andrade

Roseli Hiromi Sato

Produção

Equipe Técnica de Avaliação, Revisão Linguística e Editoração

Sumário

APRESENTAÇÃO	5
ORGANIZAÇÃO DO CADERNO DE ESTUDOS E PESQUISA	6
INTRODUÇÃO.....	8
UNIDADE I	
TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE FORMAS FARMACÊUTICAS SÓLIDAS	9
CAPÍTULO 1	
PÓS E GRÂNULOS	9
CAPÍTULO 2	
CÁPSULAS	18
CAPÍTULO 3	
COMPRIMIDOS	24
UNIDADE II	
TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE FORMAS FARMACÊUTICAS SEMISSÓLIDAS	31
CAPÍTULO 1	
POMADAS	32
CAPÍTULO 2	
CREMES, GÉIS E OUTROS MEDICAMENTOS SEMISSÓLIDOS	38
UNIDADE III	
TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE FORMAS FARMACÊUTICAS LÍQUIDAS	42
CAPÍTULO 1	
SOLUÇÕES	42
CAPÍTULO	155
PREPARO DE SOLUÇÕES	207
UNIDADE IVTECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE FORMAS FARMACÊUTICAS ESTÉREIS.....	227
CAPÍTULO 1	
INJETÁVEIS	63
CAPÍTULO 2	
SOLVENTES E VEÍCULOS PARA OS INJETÁVEIS	72

UNIDADE V

VALIDAÇÃO DE METODOLOGIAS ANALÍTICAS	77

CAPÍTULO 1

AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA	77

UNIDADE VI

PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS EM PRODUTOS FARMACÊUTICO	84

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GERAIS DOS PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS	84

CAPÍTULO 2

LEGISLAÇÃO DE BIOSSEGURANÇA NO BRASIL	90

CAPÍTULO 3

BIOTECNOLOGIA FARMACÊUTICA	106

UNIDADE VII

CONTROLE MICROBIOLÓGICO NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA	118

CAPÍTULO 1

PRINCÍPIOS DE MICROBIOLOGIA	118

CAPÍTULO 2

PRINCÍPIOS BÁSICOS DE ESTERILIZAÇÃO	125

CAPÍTULO 3

TÓPICOS EM CONTROLE MICROBIOLÓGICO NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA	130

UNIDADE VIII

DESENHOS DE PROCESSOS	139

CAPÍTULO 1

PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE FÁRMACOS SÓLIDOS	139

CAPÍTULO 2

PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE FÁRMACOS LÍQUIDOS	147

UNIDADE IX

VALIDAÇÃO DE PROCESSOS FARMACÊUTICOS: PROCESSOS E LIMPEZA	152

CAPÍTULO 1

VALIDAÇÃO DE PROCESSOS	152

CAPÍTULO 2

Apresentação

Caro aluno

A proposta editorial deste Caderno de Estudos e Pesquisa reúne elementos que se entendem necessários para o desenvolvimento do estudo com segurança e qualidade. Caracteriza-se pela atualidade, dinâmica e pertinência de seu conteúdo, bem como pela interatividade e modernidade de sua estrutura formal, adequadas à metodologia da Educação a Distância – EaD.

Pretende-se, com este material, levá-lo à reflexão e à compreensão da pluralidade dos conhecimentos a serem oferecidos, possibilitando-lhe ampliar conceitos específicos da área e atuar de forma competente e conscienciosa, como convém ao profissional que busca a formação continuada para vencer os desafios que a evolução científico-tecnológica impõe ao mundo contemporâneo.

Elaborou-se a presente publicação com a intenção de torná-la subsídio valioso, de modo a facilitar sua caminhada na trajetória a ser percorrida tanto na vida pessoal quanto na profissional. Utilize-a como instrumento para seu sucesso na carreira.

Conselho Editorial

Organização do Caderno de Estudos e Pesquisa

Para facilitar seu estudo, os conteúdos são organizados em unidades, subdivididas em capítulos, de forma didática, objetiva e coerente. Eles serão abordados por meio de textos básicos, com questões para reflexão, entre outros recursos editoriais que visam tornar sua leitura mais agradável. Ao final, serão indicadas, também, fontes de consulta para aprofundar seus estudos com leituras e pesquisas complementares.

A seguir, apresentamos uma breve descrição dos ícones utilizados na organização dos Cadernos de Estudos e Pesquisa.



Provocação

Textos que buscam instigar o aluno a refletir sobre determinado assunto antes mesmo de iniciar sua leitura ou após algum trecho pertinente para o autor conteudista.



Para refletir

Questões inseridas no decorrer do estudo a fim de que o aluno faça uma pausa e reflita sobre o conteúdo estudado ou temas que o ajudem em seu raciocínio. É importante que ele verifique seus conhecimentos, suas experiências e seus sentimentos. As reflexões são o ponto de partida para a construção de suas conclusões.



Sugestão de estudo complementar

Sugestões de leituras adicionais, filmes e sites para aprofundamento do estudo, discussões em fóruns ou encontros presenciais quando for o caso.



Atenção

Chamadas para alertar detalhes/tópicos importantes que contribuam para a síntese/conclusão do assunto abordado.



Saiba mais

Informações complementares para elucidar a construção das sínteses/conclusões sobre o assunto abordado.



Sintetizando

Trecho que busca resumir informações relevantes do conteúdo, facilitando o entendimento pelo aluno sobre trechos mais complexos.



Para (não) finalizar

Texto integrador, ao final do módulo, que motiva o aluno a continuar a aprendizagem ou estimula ponderações complementares sobre o módulo estudado.

Introdução

A indústria do setor farmacêutico é responsável pela produção de substâncias químicas farmacologicamente ativas, originadas a partir de reações químicas empregadas no preparo de medicamentos.

A obtenção destas substâncias envolve a extração de fitoquímicos de origem vegetal, animal ou biotecnológica, possuindo uma cadeia ampla, que envolve a fabricação de especialidades farmacêuticas (alopáticas e homeopáticas) presentes nas seguintes classes: medicamentos sistêmicos específicos, agentes hematológicos, medicamentos dermatológicos, hormônios, medicamentos anti-infecciosos e soluções hospitalares. Dessa maneira, é preciso garantir a qualidade do produto a partir da adoção de sistemas de liberação de fármacos adequados além da aplicação das boas práticas de fabricação de medicamentos.

Objetivos

- » Compreender as tecnologias de fabricação de fármacos.
- » Analisar processos biotecnológicos em produtos farmacêuticos.
- » Conhecer o controle microbiológico na indústria farmacêutica.
- » Analisar desenho de processos.
- » Mostrar como funciona a validação de processos farmacêuticos, processos e limpeza.
- » Entender a validação de metodologias analíticas.

TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE FORMAS FARMACÊUTICAS SÓLIDAS

UNIDADE I

CAPÍTULO 1

Pós e grânulos

Aspectos gerais

Grande parte das matérias-primas empregadas no setor farmacêutico (ativas ou inativas) encontra-se como sólidos amorfos ou cristalinos, apresentando diversas estruturas morfológicas. O termo “pó” possui mais de um sentido no setor farmacêutico, podendo ser empregado para designar a forma física de um material (material seco) que é constituído por partículas finamente divididas, ou para referir-se a um tipo de preparo para uso interno (ex.: pó oral) ou externo (pó tópico). Na área da farmácia, os pós são misturas secas de fármacos e/ou outras substâncias, compostas por partículas finamente divididas, que podem ser aplicadas ao uso interno ou externo (ALLEN, 2013).

Apesar da aplicação limitada do “pós-medicação”, seu emprego na elaboração de outras formas farmacêuticas é grande, como por exemplo, o fármaco sólido pode ser misturado com diluentes e outros excipientes pulverizados para produção de outras formas farmacêuticas sólidas.

Os grânulos são aglomerados de materiais pulverizados, podem ser usados como tais, dependendo de seu valor medicinal podendo, também, ser usado com propósitos tecnológicos na fabricação de comprimidos.

Pós

Antes do preparo dos produtos farmacêuticos, as matérias-primas sólidas são qualificadas com o objetivo de determinação química e física: morfologia, pureza, solubilidade, fluxo, estabilidade, tamanho de partícula, uniformidade e compatibilidade com demais componentes da formulação. De modo geral, os fármacos e outros materiais exigem um processamento químico ou farmacêutico para incorporar propriedades que permitam a produção eficiente de uma forma farmacêutica finalizada e com alta eficácia terapêutica. Este processo inclui o ajuste e o controle do tamanho de partícula do pó (ALLEN, 2013).

Tamanho de partícula e análise

O material particulado utilizado na fabricação de medicamentos pode variar de 10 mm (1 cm) de diâmetro a 1µm ou menos. Assim, a *United States Pharmacopeia* (USP) visando a caracterização do tamanho de partícula de pós utiliza os seguintes termos:

- » muito grosso;
- » grosso;
- » moderadamente grosso;
- » fino
- » muito fino.

Estes termos estão relacionados à proporção de pó que é capaz de atravessar a tamise padronizada, com diferentes aberturas de malha, em um determinado período sob agitação.

O seguinte quadro apresenta os números dos tamises e a abertura expressa em milímetros.

Quadro 1. Abertura de malha de tamises.

Número do Tamis	Abertura da malha
2,0	9,50 mm
3,5	5,60 mm
4,0	4,75 mm
8,0	2,36 mm
10	2,00 mm

20	850,00 µm
30,0	600,00 µm
40,0	425,00 µm
50,0	300,00 µm
60,0	250,00 µm
70,0	212,00 µm
80,0	180,00 µm
100,0	150,00 µm
120,0	125,00 µm
200,0	75,00µm
230,0	63,00µm
270,0	53,00µm
325,0	45,00µm
400,0	38,00µm

Fonte: Allen (2013).

Pós de origem vegetal ou animal recebem a seguinte definição:

- » Muito grosso (nº 8): todas as partículas atravessam a tamis nº 8 e não mais que 20% através da tamis nº 60.
- » Grosso (nº 20): todas as partículas atravessam a tamis nº 20 e não mais do que 40% atravessam a tamis nº 60.
- » Moderadamente grosso (nº 40): todas as partículas atravessam a tamis nº 40 e não mais do que 40% a tamis nº 80.
- » Fino (nº 60): todas as partículas atravessam a tamis nº 60 e não mais do que 40% a tamis nº 100.
- » Muito fino (ou nº 80): todas as partículas atravessam a tamis nº 80 e não existe limite inferior para o tamanho de partículas.

Os grânulos, geralmente, encontram-se na faixa de 4 a 12 tamis, no entanto, alguns podem ser retidos em tamis de 12 a 20 e são utilizados na produção de comprimidos.

A análise granulométrica tem como objetivo obter informações quantitativas em relação ao tamanho, a distribuição e a forma do fármaco e de outros componentes que serão utilizados em formulações farmacêuticas. Em alguns casos podem existir diferenças no tamanho da partícula, na morfologia do cristal e nas características

amorphas intra e intersubstâncias. Alguns fatores podem influenciar no tamanho da partícula:

- » velocidade de dissolução das partículas;
- » suspensibilidade de partículas destinadas a permanecer não solubilizadas, mas dispersas de modo uniforme em um veículo líquido;
- » distribuição uniforme de substâncias ativas em misturas de pó ou em formas farmacêuticas sólidas, assegurando a uniformidade do conteúdo;
- » grau de penetração de partículas que devem ser inaladas para deposição profunda no trato respiratório;
- » grau de aspereza das partículas sólidas nas pomadas, nos cremes dermatológicos e nas preparações oftálmicas.

Existem alguns métodos para determinação do tamanho de partícula:

- » Tamisação: as partículas são passadas, por meio de agitação mecânica, através de uma série de tamises de abertura de malha conhecida, dispostos em ordem decrescente, determinando-se a proporção de pó que passa ou é retida em cada tamis (faixa de medida em tomo de 40 a 9.500 μm , dependendo do tamanho dos tamises).
- » Microscopia: a determinação do tamanho das partículas é feita com auxílio de uma grade calibrada ou outro dispositivo de medida (faixa de 0,2 a 100 μm).
- » Método por sedimentação, em que o tamanho é determinado pela medida da velocidade de sedimentação das partículas em um meio líquido, em um ambiente gravitacional ou centrífugo (faixa de 0,8 a 300 μm). A velocidade de sedimentação pode ser calculada pela lei de Stokes.
- » Dispersão ou espalhamento de luz, na qual o tamanho de partícula é determinado pela redução da intensidade luminosa que alcança o sensor à medida que a partícula, que se encontra dispersa em um líquido ou gás, passa através da zona de medida (média de 0,2 a 500 μm).
- » Laser holográfico, no qual um laser pulsante é disparado através de uma aspersão de partículas na forma de aerossol e fotografado em três dimensões

com uma câmara holográfica, permitindo que as partículas sejam visualizadas e medidas individualmente.

- » Impacto em cascata, fundamentado no fato de que uma partícula arrastada por uma corrente de ar bate em uma superfície durante seu trajeto desde que sua inércia seja suficiente para superar a força que tende a mantê-la na corrente de ar.
- » Métodos em linha para determinação do tamanho de partícula durante a produção.

Cominuição

É possível realizar em pequena escala a redução do tamanho de partículas de substâncias químicas com a utilização do gral e pistilo. A obtenção de um material mais fino é possível por meio de um gral com superfície rugosa, no lugar de superfície lisa. A redução do tamanho de partículas é denominada de cominuição ou trituração.

Em processos de grande escala, são utilizados vários moinhos e pulverizadores para redução do tamanho da partícula.

Mistura de pós

Para a formação de uma mistura com duas ou mais substâncias pulverizadas, o melhor procedimento é a redução do tamanho das partículas de cada componente antes da pesagem e da formação da mistura. Dependendo da natureza dos componentes, qualidade e dos equipamentos, os pós podem ser preparados por espatulação, trituração, peneiramento e tombamento.

- » Espatulação: é a mistura de pequenas porções de pós pelo movimento de uma espátula sobre uma folha de papel ou uma pedra de pomada. Este método não é indicado para grandes quantidades de pó ou pós que contenham substâncias potentes, como em outros métodos.
- » Trituração: processo utilizado para reduzir o tamanho das partículas e misturar os pós. A utilização do gral de vidro é indicada quando se quer obter uma mistura sem necessidade especial de redução do tamanho da partícula.

- » Peneiramento: esta técnica permite a obtenção de um material leve e solto. No entanto, esta técnica não é permitida para a incorporação de fármacos potentes em um diluente.
- » Tombamento: consiste na utilização de uma câmara rotatória em que misturadores mecânicos misturam pós em pequena ou grande escala.

Pós medicinais

Grande parte dos pós de uso interno são ingeridos via oral, após a mistura com água, ou nos casos de lactantes, com formulação pediátrica. Alguns são usados por inalação, para exercer efeitos locais ou sistêmicos, enquanto outros são acondicionados e comercializados para serem reconstituídos como um solvente ou veículo de administração oral, injetável ou duchas vaginais.

Pós medicinais de utilização externa são pulverizados sobre a área afetada por meio de um frasco com tampa crivada ou aplicados como aerossóis. Medicamentos desta natureza devem apresentar no rótulo a seguinte advertência: “SOMENTE PARA USO EXTERNO”, ou avisos similares.

Os pós medicinais administrados oralmente são empregados para a obtenção de efeitos locais ou sistêmicos, e são preferíveis aos correspondentes comprimidos e cápsulas pelos pacientes que possuem dificuldade para engolir formas farmacêuticas sólidas.

De modo geral, espera-se que os pós utilizados oralmente apresentem velocidades de dissolução e absorção mais rápidas em relação as outras formas farmacêuticas sólidas. Isto se deve pelo contato imediato com o suco gástrico sendo que, a vantagem real em termos de resposta terapêutica pode ser irrelevante ou mínima, dependendo das características de liberação de seus produtos similares.

Medicamento, como os antibióticos de uso pediátrico, são voltados para a administração oral como líquido, mas são instáveis nesta forma. Estes são fornecidos ao farmacêutico, pelo fabricante, na forma de pós ou grânulos para reconstituição em um determinado volume de água purificada, no momento da dispensação. Para as condições de armazenamento descritas no rótulo, o produto derivado deve permanecer estável durante o período de uso, geralmente até duas semanas.

Aerossóis

Existem alguns medicamentos de pós os quais sua administração ocorre por meio da inalação com auxílio de inaladores de pó seco, que proporcionam a liberação de partículas micronizadas do remédio em quantidades dosificadas. Grande parte destes produtos é destinada ao tratamento de asma ou de condições que exijam a penetração profunda do princípio ativo nos pulmões. Para que o efeito seja alcançado, o tamanho da partícula do medicamento é mantido na faixa de 1 a 6 μm de diâmetro e contém propelentes inertes e diluentes farmacêuticos, como por exemplo, alfalactose monoidratada cristalina, que possui a função de auxiliar nas propriedades de fluxo da formulação, na uniformidade da dose e proteção contra umidade.

Pós não divididos e divididos

Os medicamentos em pó podem ser fornecidos aos pacientes na forma granel ou divididos, podendo ser acondicionados pelo fabricante ou preparados e acondicionados pelo farmacêutico:

» **Pós não divididos:** estão disponíveis comercialmente em quantidades predeterminadas, como por exemplo, os antiácidos. A dispensação deste tipo de medicamento é limitada a substâncias não potentes. Pós que possuem em sua composição doses controladas são fornecidos aos pacientes em quantidades divididas em papéis ou envelopes. É imprescindível apresentar o modo de utilização (manuseio, armazenamento, dose e preparo) de medicamentos desta natureza aos pacientes. De maneira geral, estes medicamentos são armazenados sob temperatura ambiente, em local seco, limpo e longe do alcance de crianças e animais.

» **Pós divididos:** após o preparo da mistura (utilização do método da diluição geométrica para substâncias potentes), o pó pode ser dividido em doses unitárias, baseado na quantidade a ser ministrada. Existem vários medicamentos que são dosificados (papéis, envelopes ou sachês), como por exemplo, pós para dor de cabeça, laxantes e pós para duchas.

Grânulos

Os meios de preparo dos grânulos podem ser pelo método seco e úmido. O método úmido consiste em umidificar (molhar) o pó ou a mistura de pós e passar o material obtido por uma malha para produção de grânulos com o tamanho desejado. Estes são

dispostos em bandejas de secagem e secos pelo ar ou por aquecimento, sendo movimentados periodicamente para evitar a formação de uma grande massa. Outro método de via úmida é o leito fluidizado, em que as partículas são dispostas no interior de uma peça cônica do equipamento que promove a dispersão e suspensão, enquanto um excipiente líquido é aspergido sobre elas e o produto é seco, formando grânulos ou *pellets* que apresentam o tamanho desejado (ALLEN, 2013).

O método seco pode ser efetuado por dois meios. O pó seco pode ser submetido a um rolo compactador seguido por um equipamento de granulação. O rolo processa um pó fino em lâminas densas, por conta da passagem forçada, entre dois rolos metálicos rotatórios mecânicos que giram em sentidos contrários. A superfície dos rolos de compactação pode apresentar endentações, enrugamentos, ou ser lisas.

Um método alternativo para o processo de granulação por via seca é o método de compactação, que consiste na compressão de um pó, ou mistura de pós, em um equipamento de compressão de 8.000 a 12.000 libras, que dependendo da morfologia do pó, pode ser transformado em grandes peças planas ou compactas. As peças compactas podem apresentar 2,5 cm de diâmetro e seu emprego, em geral, é voltado para a produção de comprimidos. A via seca resulta na produção de finos, ou seja, pós que não aglomeram em grânulos. Os finos são separados, coletados e reprocessados.

De maneira comparativa, os grânulos fluem melhor do que os pós, como é o caso do açúcar granulado e em pó. Dessa maneira, os grânulos são empregados na produção de comprimidos por conta de sua facilidade de escoamento do alimentador para a máquina de comprimir. Outra característica importante dos grânulos é a menor área de superfície que proporcionam maior estabilidade, em relação aos efeitos da umidade e são menos propensos ao endurecimento ou formação de torrões quando em repouso. Além disso, os grânulos são umedecidos com facilidade em comparação aos pós, que são leves e macios, e tendem a flutuar sobre a superfície do líquido.

Muitos medicamentos contendo antibiótico, que são instáveis em soluções aquosas, são preparados na forma de pequenos grânulos para reconstituição farmacêutica, com água purificada, antes de sua aplicação. O material é desenvolvido de modo a conter não somente substâncias ativas, mas também corantes, flavorizantes e outros adjuvantes farmacêuticos. Após a reconstituição, o líquido produzido apresenta todas as suas atividades farmacêuticas e medicinais necessárias a uma solução farmacêutica.

Sais granulados efervescentes

Os sais efervescentes são constituídos de grânulos ou pós grossos a muito grossos, contendo a substância ativa em uma mistura seca, que normalmente, é composta por bicarbonato de sódio, ácido cítrico e ácido tartárico. Quando se adiciona água, os ácidos e bases presentes na composição liberam dióxido de carbono que resultam no processo de efervescência, sendo gerada uma solução carbonatada que mascara o sabor desagradável da substância ativa.

A aplicação de grânulos reduz a velocidade de dissolução prevenindo a efervescência rápida e descontrolada do medicamento. A rápida efervescência pode causar o transbordamento do copo e gerar resíduos de carbonato na solução. Além disso, a associação dos ácidos cítrico e tartárico permite contornar algumas dificuldades, como por exemplo, a utilização isolada do ácido tartárico proporcionam a redução da firmeza dos grânulos gerando sua ruptura, e o ácido cítrico isolado proporciona a formação de uma mistura pegajosa que dificulta a formação granular.

Os grânulos efervescentes podem ser obtidos pelos métodos da fusão, ou via seca, e pelo método de via úmida:

» **Método seco ou de fusão:** a água presente em cada molécula de ácido cítrico atua como agente aglutinante da mistura de pós. Neste processo, os cristais de ácido cítrico são pulverizados e então misturados com os outros pós de mesmo tamanho para garantir a uniformidade da mistura. O equipamento de mistura e os tamises devem ser confeccionados de aço inoxidável por conta da utilização de ácidos no processo. A mistura deverá ser misturada rapidamente em ambiente de baixa umidade para evitar a possível absorção de água e gerando a reação química prematura. O produto obtido é colocado sobre um prato ou uma bandeja e levado à estufa sob 34 a 40 °C, e durante este processo, uma espátula resistente a ácidos é usada para mover o pó. O calor libera a água de cristalização do ácido cítrico, que, por sua vez, dissolve uma porção da mistura do pó, iniciando a reação química com a liberação do dióxido de carbono. Isso promove o amolecimento da massa de pós, tornando-a um pouco esponjosa, e, quando a massa alcançar a consistência apropriada (como uma massa de pão), é removida da estufa e passada através de um tamis para produzir grânulos de tamanho desejado. O tamis nº 4 produz grânulos grandes; o nº 8, grânulos médios; e o nº 10, grânulos pequenos. Os grânulos são secos em temperatura que não exceda 54°C e logo colocados em recipientes vedados.

» **Método úmido:** o método úmido difere do método da fusão em relação à fonte do agente de aglutinação, que realiza a adição da água ao álcool como agente umectante, formando uma massa elástica para granulação. Nesse método, todos os pós podem ser anidros, pois a água é adicionada como líquido de granulação. Apenas uma quantidade suficiente de líquido é adicionada (em porções) para preparar uma massa de consistência apropriada; o processo de formação de grânulos segue o mesmo procedimento do método anterior.

CAPÍTULO 2

Cápsulas

Aspectos gerais

Cápsulas são medicamentos na forma sólida em que a substâncias ativas e/ou inertes são inseridas em um pequeno invólucro de gelatina. Esta estrutura pode ser mole ou dura, dependendo de sua composição. Grande parte das cápsulas preenchidas são engolidas inteiramente pelo paciente, no entanto, é comum realizar a abertura destes medicamentos e misturá-los em alimentos ou bebidas para administração em crianças ou pacientes incapazes de deglutir o medicamento sólido (ALLEN, 2013).

Cápsula de gelatina dura

Invólucros de gelatina dura são empregados na maioria das cápsulas comerciais, e também, em testes clínicos farmacológicos (ALLEN, 2013).

A composição destas cápsulas, em geral, é feita de gelatina, açúcar e água, podendo ser transparentes, incolores, coloridos (aplicação de corantes) e opacos (com adição de agentes com o dióxido de titânio).

A gelatina é formada a partir da hidrólise parcial do colágeno da pele, do tecido conjuntivo branco e de ossos de animais; comercialmente, este material encontrase na forma de pó fino, pó grosso, tiras, flocos ou folhas. Possui estabilidade na presença de ar quando seca, no entanto, é sujeita à decomposição microbiana em presença de umidade. Geralmente, as cápsulas de gelatina dura possuem de 13 a 16% de umidade, mas se armazenado em ambiente com alta umidade, estas absorvem a umidade adicional e, conseqüentemente, perdem a forma e a rigidez. Em ambientes extremamente secos, parte da umidade presente nas cápsulas é perdida, tornando o material frágil e quebradiço. Assim, para evitar possíveis modificações no material, as cápsulas são acondicionadas com um pequeno pacote contendo material dessecante (sílica gel, carvão ativado e argila) para protegê-la das adversidades.

A gelatina é solúvel em água quente e no suco gástrico: após a administração do medicamento, o invólucro se dissolve com rapidez liberando o seu conteúdo. Como a gelatina é uma proteína, esta é digerida por enzimas proteolíticas e absorvida.

Existem vários métodos para monitorar a passagem da cápsula e comprimidos ao longo do trato gastrointestinal, e assim mapear seu trajeto e o perfil de liberação do fármaco. Dentre estes métodos, destaca-se a *cintilografia gama*, que é um procedimento não invasivo que utiliza um emissor de radiação gama incorporado na formulação com uma câmara gama acoplada a um sistema de registro. A quantidade do emissor de radiação gama é pequena e não compromete as características usuais *in vivo* da forma farmacêutica em estudo. A combinação da técnica de cintilografia com estudos farmacocinéticos, a avaliação farmacocintilográfica, proporciona informações sobre o transporte e o perfil de liberação do fármaco a partir da forma farmacêutica, bem como, a velocidade de absorção em diferentes regiões do trato gastrointestinal.

Esta técnica permite obter as seguintes informações:

- » Determinação da existência de correlação entre a biodisponibilidade *in vitro* e *in vivo* para formas farmacêuticas de liberação imediata.
- » Avaliação da integridade e tempo de resistência de comprimidos revestidos entéricos no estômago e intestino.
- » Análise do fármaco e da forma farmacêutica no desenvolvimento de novo produto.

Produção de invólucros de gelatina dura

Os invólucros de gelatina dura são produzidos em duas partes: o corpo da cápsula e uma tampa curta. Essas partes se encaixam quando unidas, ajudando-se de forma perfeita sobre a abertura do corpo. A produção destas estruturas é industrial, ocorrendo pela imersão de pinos (feitos de bronze e fixados em blocos) de forma e diâmetro determinados em um reservatório com controle de temperatura contendo a mistura de gelatina fundida.

Cada bloco é mergulhado mecanicamente no banho de gelatina a uma profundidade adequada e mantidos por período desejado para a obtenção de um revestimento de comprimento e espessura específico. Então, o bloco é lentamente erguido do banho, e a gelatina é seca por uma corrente de ar com temperatura e umidade controladas. Quando secas, ambas as partes dos invólucros são cortadas mecanicamente no comprimento apropriado, removidas dos pinos e encaixadas. É importante que a espessura da parede de gelatina seja controlada com rigor para que o corpo e a tampa se ajustem de modo perfeito, evitando desprendimento posterior.

Tamanho das cápsulas

As cápsulas de gelatina são produzidas em diferentes tamanhos baseados na quantidade de material a ser encapsulado. A densidade e a compressibilidade do material de enchimento determinam a extensão de acondicionamento no interior do invólucro. É possível realizar uma estimativa com pós para identificar o tamanho necessário, da cápsula, para inserir uma quantidade específica do material.

Quadro 2. Capacidade aproximada dos invólucros de gelatina.

	Tamanho da cápsula							
	000	00	0	1	2	3	4	5
Volume (mL)	1,40	0,95	0,68	0,50	0,37	0,30	0,21	0,13
Substância ativa (mg)								
Sulfato de quinino	650	390	325	227	195	130	97	65
Bicarbonato de sódio	1.430	975	715	510	390	325	260	130
Ácido acetilsalicílico	1.040	650	520	325	260	195	162	97

Fonte: Allen (2013).

Para realizar a estimativa do tamanho da cápsula com pó, é importante utilizar características bem conhecidas (Quadro 2) e uma seleção inicial, considerando o tamanho necessário para conter uma quantidade específica de material. Entretanto, a determinação final pode ser resultado de tentativa e erro. Invólucros de tamanho 000 (o maior) a 5 (o menor) são comercialmente disponíveis para uso humano, enquanto o de cápsulas maiores encontram-se disponíveis para uso veterinário. Na manipulação, as cápsulas de gelatina dura permitem ampla flexibilidade de prescrição pelo médico. O farmacêutico pode manipular cápsulas de um único agente terapêutico ou uma combinação de agentes com dose prescrita individualizada para o paciente.

Preparação de cápsulas de gelatina dura

O preparo de cápsulas de gelatina, em pequena ou grande escala é dividido nas seguintes etapas:

- » **Desenvolvimento e preparação da formulação e seleção do tamanho da cápsula:** consiste no desenvolvimento da formulação de cápsulas, a meta é obter uma preparação com dose exata, boa biodisponibilidade, fácil preenchimento e produção estável e sofisticada.

- » **Preenchimento dos invólucros:** para o enchimento de um pequeno número de cápsulas, o farmacêutico pode usar o método da punção, em que é retirado o número exato de cápsulas vazias a serem preenchidas do recipiente empregado para sua estocagem. Em escala industrial são separadas automaticamente as tampas das cápsulas vazias, enchem o corpo, raspam para fora o excesso de pó, recolocam as tampas, selam as cápsulas, se necessário, e limpam o lado externo das cápsulas cheias, com a produtividade de até 165 mil cápsulas por hora.
- » **Selagem das cápsulas (opcional):** processo de junção das partes da cápsula, podendo ser com uma fita colorida de gelatina, soldagem a quente, agente umidificante líquido (que diminui o ponto de fusão nas áreas de contato entre a tampa e o corpo e, então, une termicamente as duas partes usando baixas temperaturas, entre 40 a 45 °C).
- » **Limpeza e polimento das cápsulas cheias:** em pequena escala, as cápsulas podem ser limpas individualmente ou em pequeno número, com auxílio de gaze ou pano limpo. Em grande escala, as principais máquinas de enchimento são acopladas a um sistema vácuo-limpante, que remove qualquer material estranho das cápsulas quando saem do equipamento.

Cápsula de gelatina mole

Cápsulas de gelatina mole são produzidas a partir de gelatinas com a inserção de glicerina ou um álcool poli-hídrico, como por exemplo, o sorbitol. Devido à alta umidade, característico deste material, pode estar presente em sua composição conservantes como metilparabeno e/ou propilparabeno, que retarda o aparecimento de sistemas microbianos. Podem possuir estruturas oblongas, redondas e ovais, de coloração única ou de duas tonalidades e apresentarem marcas de identificação (ALLEN, 2013).

Cápsulas desta natureza são empregadas no encapsulamento hermético de líquidos, suspensões, materiais pastosos, pós secos e comprimidos pré-formados.

Preparo de cápsulas de gelatina mole

O preparo de cápsulas de gelatina mole ocorre a partir do emprego de lâminas de gelatina e um conjunto de moldes para formação das cápsulas, ou por meio de matriz recíproca ou rotatória, em que são produzidas, enchidas e seladas sob operação

continua. A partir do processo de moldagem, uma lâmina aquecida de gelatina comum ou colorida é disposta sobre uma chapa do fundo do molde e o líquido contendo o fármaco é vertido de modo uniforme sobre a chapa. Após este processo, uma segunda lâmina é disposta sobre o medicamento, e a parte superior do molde é colocada sobre a folha. Assim, é realizada uma pressão ao molde para formar, preencher e selar as cápsulas simultaneamente, e após esta etapa, as cápsulas são removidas e lavadas com um solvente inóculo.

Muitas cápsulas são preparadas pelo procedimento de moldes rotativos, criado em 1933, por Robert P. Scherer. Este método consiste no escoamento da gelatina quente a partir de um reservatório situado acima do encapsulador, que é moldada como duas fitas contínuas, que são transportadas até o meio de moldes idênticos. Durante a formação das fitas, o medicamento é dosado e injetado entre as fitas, exatamente quando o molde forma bolsas na gelatina. Essas bolsas são seladas por pressão, aquecidas e então separadas. Usualmente, são utilizadas fitas de duas cores para a formação de cápsulas bicolores.

O processo de molde recíproco é similar ao processo rotativo em relação à formação e o uso de fitas de gelatina para encapsulamento, diferindo no procedimento empregado. As fitas de gelatina são formadas a partir de um conjunto de moldes verticais que abrem e fecham continuamente para formação de várias bolsas. Estas são preenchidas com o medicamento e, então, moldadas, seladas e cortadas do filme conforme avançam pelo equipamento. Conforme são cortadas, as cápsulas caem em tanques refrigerados que previnem a aderência entre elas.

Aplicação das cápsulas de gelatina mole

Cápsulas de gelatina mole podem conter, em geral, uma variedade de líquidos, pastas e materiais secos, sendo que da classe dos líquidos, podemos incluir:

- » Líquidos voláteis e não voláteis imiscíveis com água, tais como óleos aromáticos e vegetais, hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos, hidrocarbonetos clorados, éteres, ésteres, álcoois e ácidos orgânicos.
- » Líquidos não voláteis miscíveis em água, tais como os polietilenoglicóis e tensoativos não iônicos, como o polissorbato.

- » Compostos relativamente não voláteis e miscíveis em água, como o propilenoglicol e o álcool isopropílico, dependendo de fatores como a concentração empregada e as condições de acondicionamento.

Os líquidos que podem facilmente migrar pelo invólucro não são indicados para acondicionamento em cápsulas de gelatina mole. Esses materiais incluem água em uma concentração acima de 5% e compostos orgânicos voláteis e solúveis em água apresentando baixo peso molecular, como álcoois, cetonas, ácidos, aminas e ésteres.

Os sólidos podem ser colocados em cápsulas de gelatina mole na forma de soluções em solvente apropriado, suspensões, pós secos, grânulos, *pellets* ou pequenos comprimidos.

CAPÍTULO 3

Comprimidos

Aspectos gerais

Os comprimidos são formas farmacêuticas sólidas que são preparadas com o auxílio de adjuvantes farmacêuticos, podendo variar em tamanho, forma, peso, dureza, espessura, características de desintegração e dissolução. Grande parte da aplicação dos comprimidos é voltada para administração oral de fármacos (ALLEN, 2013).

O preparo, em geral, consiste na utilização de corantes e vários materiais de revestimento, no entanto, em alguns casos, como os comprimidos administrados pela via sublingual, bucal ou vaginal, são desenvolvidos de modo a apresentar características mais aplicáveis conforme a via de administração.

Os meios de fabricação dos comprimidos são baseados pelo método de compressão, e em alguns casos, por moldagem. Os comprimidos que são fabricados pelo método de compressão são realizados por meio de máquinas de comprimir especiais para exercer grande pressão para compactar pós e grânulos. O tamanho e a forma são determinados a partir da utilização de matrizes e punções de diferentes formatos e tamanhos. Os comprimidos que são fabricados pelo método de molde são preparados em grande escala por máquinas e em pequena escala por métodos manuais de pós que são previamente molhados em um molde, e comprimidos, formados, removidos e levados à secagem.

Existem alguns comprimidos que são sulcados ou marcados que permitem a partição da estrutura, permitindo ao paciente ingerir doses menores, sempre que necessário. Existem comprimidos que não apresentam sulcos em sua estrutura com o objetivo de não serem divididos pelo paciente, pois apresentam revestimento especial e/ou características de liberação que estariam comprometidos pela alteração de sua integridade física.

Tipos de comprimidos

Comprimidos obtidos por compressão

Os comprimidos, além do princípio ativo, possuem em sua composição vários adjuvantes farmacêuticos, como (ALLEN, 2013):

- » **Diluentes ou materiais de enchimento:** aumentam o volume da formulação, para a preparação de comprimidos de tamanho adequado.
- » **Aglutinantes:** promovem a adesão das partículas dos pós, permitindo a preparação de grânulos e a manutenção da integridade do produto final.
- » **Desintegrantes:** após a administração, promovem a desagregação dos comprimidos em partículas menores, para tornar o fármaco disponível.
- » **Antiaderentes, deslizantes e lubrificantes:** melhoram o fluxo de pós e grânulos para a matriz, minimizam o desgaste de matrizes e punções, previnem a aderência dos materiais particulados em matrizes e punções e conferem brilho aos comprimidos.
- » **Adjuvantes diversos:** por exemplo, corantes e flavorizantes.

Após a compressão, os comprimidos podem ser revestidos com diversos materiais e os comprimidos para administração oral, bucal, sublingual ou vaginal podem ser preparados por compressão.

Comprimidos obtidos por múltiplas compressões

Comprimidos produzidos por várias compressões geram um material com multicamadas ou um comprimido inserido em outro (comprimido interno constituindo o núcleo e a camada externa, o invólucro).

Os comprimidos multicamadas são produzidos a partir da compactação do pó ou granulado, seguido pelo acréscimo e compressão de porções adicionais, que promove a formação de duas ou três camadas, dependendo do número de vezes que a mistura de pós ou grânulos é adicionada. Cada camada pode comportar uma substância ativa, permitindo a separação de fármacos que são química ou fisicamente incompatíveis, e a liberação poderá ser realizada em tempos diferentes. Normalmente, cada camada do material particulado apresenta uma coloração distinta facilitando o processo de

identificação. No preparo de comprimidos inseridos em comprimidos, é necessária a utilização de máquinas específicas para a inserção precisa do núcleo pré-formado no interior da punção, seguido da adição da camada externa.

Comprimidos revestidos com açúcar (drágeas)

Comprimidos conhecidos como drágeas são revestidos com uma camada de açúcar incolor ou coloridos, que são hidrossolúveis e são rapidamente dissolvidos após a ingestão. Esta cobertura protege o fármaco do meio, fornecendo uma barreira contra o sabor ou odor desagradável. Este processo melhora a aparência do comprimido permitindo a impressão de informações sobre a identidade do fabricante.

A desvantagem de utilizar drágeas é o tempo de preparo, a necessidade de experiência para o processo de revestimento e o aumento do tamanho, do peso e do custo de transporte. O drageamento pode aumentar, aproximadamente, 50% o peso e o volume de um comprimido não revestido.

Comprimidos revestidos com filme (peliculado)

São comprimidos que possuem uma fina camada de polímero que promove a formação de uma película. O filme, normalmente, é colorido, e sua vantagem frente ao revestimento de açúcar está na sua durabilidade, menor volume e rápida aplicação. O material utilizado como revestimento é selecionado para romper e expor o núcleo do comprimido no local adequado do trato gastrointestinal.

Comprimidos revestidos com gelatina

O revestimento com gelatina é algo recente, conhecido como *gelcap*, que consiste em um comprimido na forma de cápsula que possui menor tamanho em comparação à cápsula preenchida com pó. O revestimento de gelatina facilita a ingestão, e os comprimidos revestidos com a gelatina são menos suscetíveis à violação em comparação as cápsulas não seladas.

Comprimidos com revestimento entérico

Comprimidos com revestimento entérico possuem como principal característica a liberação retardada do princípio ativo. A tecnologia inserida neste produto consiste na

resistência pela passagem no estômago, e a liberação do fármaco é realizada, somente, quando o comprimido alcançar o intestino, permitindo a dissolução e a absorção e/ou o efeito terapêutico do fármaco.

Comprimidos bucais e sublinguais

Comprimidos sublinguais e bucais são ovais e planos, com a função de serem dissolvidos na cavidade bucal ou embaixo da língua, para promover a absorção do fármaco pela mucosa oral. O processo de absorção ocorre por via oral, sendo destruídos pelo suco gástrico e/ou fracamente absorvido no trato gastrintestinal.

Os comprimidos bucais são fabricados para sofrerem lenta erosão, enquanto os sublinguais são dissolvidos rapidamente promovendo o rápido efeito do fármaco. As pastilhas ou trociscos são formas farmacêuticas sólidas que possuem o agente farmacêutico e um flavorizante, em uma base constituída de açúcar. O processo de dissolução bucal é lento, para promover efeitos locais, mas existem alguns produtos que são formulados para a promoção de ação sistêmica.

Comprimidos mastigáveis

A principal característica dos comprimidos mastigáveis é a rápida desintegração a partir da mastigação. É composto por uma base cremosa, constituída, normalmente, de manitol com adição de corantes e flavorizantes. São empregados na administração de comprimidos grandes para crianças e adultos que possuem dificuldades para deglutir formas farmacêuticas sólidas.

Comprimidos efervescentes

Estes comprimidos são preparados a partir da compactação de sais efervescentes granulados que liberam gás quando entram em contato com a água. Normalmente, os comprimidos efervescentes possuem substâncias que dissolvem com rapidez quando adicionados à água. A presença de gás contribui na desagregação do comprimido e, conseqüentemente, na dissolução do princípio ativo.

Comprimidos obtidos por moldagem

Alguns comprimidos, como os triturados, são preferencialmente preparados por moldagem do que por compressão. Os comprimidos resultantes são pouco resistentes e muito solúveis, sendo designados para dissolução rápida.

Comprimidos triturados

Comprimidos desta natureza são pequenos, cilíndricos, produzidos por moldagem ou compressão e possuem pequenas quantidades de fármacos potentes. Atualmente, existem poucos comprimidos triturados no mercado, sendo a maioria produzida por compressão. Como estes comprimidos devem ser pronta e completamente solúveis em água, é preciso produzir um mínimo de pressão para sua produção. A combinação de sacarose e lactose é comumente empregada como diluente. Os poucos comprimidos triturados, presentes no mercado, são aplicados pela via sublingual e os farmacêuticos utilizam estes medicamentos, desta natureza, para manipulação.

Comprimidos hipodérmicos

Inicialmente, estes comprimidos eram utilizados por médicos em preparos extemporâneos de soluções parenterais, em que um número adequado de comprimidos era dissolvido em um veículo estéril e sua aplicação era realizada por meio de injeção. Estes comprimidos eram classificados como formas farmacêuticas convenientes devido à facilidade de transporte. No entanto, por conta da dificuldade de obtenção de preparações estéreis e a comercialização de produtos injetáveis, alguns em seringas descartáveis, baniram a utilização de comprimidos hipodérmicos.

Comprimidos para dispensação

Este tipo de medicamento não se encontra mais em uso. Antigamente, este medicamento era utilizado por farmacêuticos no aviamento de prescrições. Esses comprimidos possuíam grandes quantidades de substâncias ativas altamente potentes que permitiam a obtenção rápida de quantidades pré-medidas para a preparação de formas farmacêuticas de doses múltiplas. Além disso, estes medicamentos possuíam alta periculosidade, pois poderiam ser dispensados aos pacientes de forma inadvertida.

Comprimidos de liberação imediata

Os comprimidos de liberação imediata são destinados a desintegrar e liberar o fármaco sem que haja o controle da velocidade, como nos comprimidos contendo revestimentos especiais ou outras tecnologias.

Comprimidos de dissolução ou desintegração instantânea

Os comprimidos de liberação instantânea, ou dissolução rápida, são caracterizados a partir da desintegração ou dissolução na boca em um minuto, em alguns casos em até dez segundos. Medicamentos desta natureza são indicados para crianças e idosos ou pacientes que possuem dificuldades para deglutir formas farmacêuticas sólidas. Estes se liquefazem na língua para que o paciente possa ingerir o líquido formado. Existem várias técnicas utilizadas para o preparo destes medicamentos, como por exemplo, a liofilização e a compressão direta com baixa força de compressão.

O preparo destes comprimidos consiste na utilização de excipientes muito solúveis em água, que permitem a entrada de água no comprimido que resulta na rápida desintegração ou dissolução. Eles apresentam as mesmas características das formas sólidas.

O surgimento dos comprimidos de rápida dissolução foi a partir da moldagem para uso sublingual, em que consistia no umedecimento da mistura do fármaco e da lactose com uma mistura de água e etanol para a formação de uma pasta. Após este processo, os comprimidos eram moldados, secos e acondicionados.

Estes comprimidos estão sendo utilizados para a administração de medicamentos que sofrem degradação no sistema gastrointestinal, como por exemplo, a testosterona, cuja administração sublingual evita o efeito de primeira passagem.

Os comprimidos de dissolução ou desintegração instantânea são transportados e administrados com maior facilidade em comparação ao de preparação líquida oral. Normalmente, eles são acondicionados em cartelas ou embalagens bolhas, com cada comprimido acondicionado individualmente em sua cavidade. Geralmente, estes comprimidos são macios, a parte posterior da embalagem é descolada para o comprimido estar visível, podendo então ser removido.

Não existe uma especificação sobre este tipo de medicamento, mas uma possibilidade de critérios poderia ser um tempo de dissolução na boca de aproximadamente 15 a 20 segundos. Comprimidos que possuem dissolução mais lenta não seriam classificados como de rápida dissolução.

Apesar da facilidade de utilização pelo paciente, este tipo de medicamento apresenta algumas desvantagens, como por exemplo, na incorporação do fármaco e de mascaramento do sabor, friabilidade, os custos de produção e estabilidade do produto.

O processo de incorporação do fármaco consiste na introdução na forma farmacêutica; em alguns tipos de comprimidos de dissolução ou desintegração instantânea o preparo ocorre sem o fármaco, conhecido como formulação branca, em que o fármaco é adicionado posteriormente. De maneira geral, o fármaco em solução, normalmente em solvente orgânico, é incorporado ao comprimido. Outro meio de incorporação do fármaco, nesta etapa, é pelo método eletrostático em que o fármaco é inserido na forma de pó.

O mascaramento do sabor apresenta vários desafios para o processo de formulação; pelo fato do medicamento se dissolver na boca, qualquer sabor desagradável deve ser minimizado a partir de técnicas de correção organoléptica ou por microencapsulação ou nanoencapsulação. O produto não deverá ser áspero ao tato; dessa maneira, é preciso obter micropartículas de tamanho bastante reduzido.

A friabilidade é um ponto importante na produção de comprimidos de dissolução ou desintegração instantânea. Um material que se dissolve instantaneamente pode ser muito friável, e o aumento da dureza e a redução da friabilidade podem aumentar o tempo de dissolução. Dessa maneira, é preciso encontrar um equilíbrio entre a velocidade de dissolução e a friabilidade.

TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE FORMAS FARMACÊUTICAS SEMISSÓLIDAS

UNIDADE II

Aspectos gerais

Os géis, cremes e pomadas são produtos farmacêuticos semissólidos com aplicação tópica, podendo ser aplicados sobre a pele, superfície do olho, via nasal, vaginal ou retal. Grande parte delas é empregada conforme efeitos dos agentes terapêuticos que possui. As preparações medicamentosas são aplicadas devido aos seus efeitos físicos como protetoras ou lubrificantes (ALLEN, 2013).

As preparações tópicas são utilizadas por conta dos efeitos locais quanto sistêmicos, devendo ser considerado nos casos de utilização por gestantes ou lactantes, pois o fármaco poderá chegar até o bebê por meio da corrente sanguínea fetal ou por meio do leite materno.

A utilização de uma preparação tópica tem como objetivo os efeitos locais, ou absorção sistêmica, sendo importante considerar a diferenciação, quando se trata do preparo dermatológico: o produto dermatológico tópico liberar o princípio ativo na pele para o tratamento de alterações dérmicas, sendo assim, a pele o órgão-alvo. O produto transdérmico libera o princípio ativo a partir da absorção percutânea, que permite a circulação geral para obter os efeitos sistêmicos, e neste caso, a pele não atua como órgão-alvo.

CAPÍTULO 1

Pomadas

Definição

As pomadas são medicamentos semissólidos que são aplicados sobre a pele ou membranas mucosas, que contém substâncias medicamentosas ou não. Pomadas que não apresentam medicamentos em sua composição são utilizadas conforme seus efeitos físicos, como protetores, emolientes ou lubrificantes. As bases de pomadas

podem ser empregadas conforme seus efeitos físicos ou como veículos para pomadas medicamentosas (ALLEN, 2013).

Base de pomadas

Segundo a *United States Pharmacopeia* (USP), as pomadas podem ser classificadas em quatro grupos (ALLEN, 2013):

- » bases hidrofóbicas;
- » bases de absorção; » bases removíveis por água; » bases hidrossolúveis.

Bases hidrofóbicas

Estes tipos de base são conhecidos, também, como bases de hidrocarbonetos. As bases hidrofóbicas, quando aplicadas na pele, produzem efeito emoliente, que protege a pele contra a perda de umidade atuando como agentes oclusivos. Este produto pode permanecer sobre a pele por longos períodos sem ressecar, e devido a sua baixa solubilização em água, são de difícil remoção por lavagem (ALLEN, 2013).

Soluções aquosas e a água podem ser incorporadas à formulação, mas somente em pequenas quantidades e com muita dificuldade. A vaselina, vaselina sólida, pomada branca e pomada amarela são alguns exemplos de bases de hidrocarbonetos.

Nos casos em que é preciso realizar a incorporação de pós neste tipo de medicamento, a vaselina líquida (óleo mineral) pode ser empregado como agente de levigação.

- » **Vaselina (petrolato):** é uma mistura purificada de hidrocarbonetos semissólidos proveniente do petróleo. Consiste em uma massa untosa, que possui coloração variando entre o amarelo e o âmbar claro. Fundese a 38 a 60 °C, podendo ser trabalhada isoladamente como base para pomadas ou combinado com outros agentes.
- » **Vaselina branca:** é uma mistura purificada de hidrocarbonetos semissólidos proveniente do petróleo, sendo total ou parcialmente descolorida. Possui as mesmas aplicações da vaselina, no entanto, por conta de sua coloração menos intensa, é esteticamente aceitável por

farmacêuticos e pacientes. Este material também é conhecido como gel de vaselina branca.

- » **Pomada amarela:** é a cera purificada de favos de abelha que é preparada pela fusão da cera amarela em banho-maria, seguido da adição de vaselina até a formação de uma mistura uniforme.
- » **Pomada branca:** é diferente da pomada amarela por conta da substituição na forma por cera e vaselina branca.

Bases de absorção

As bases de absorção das pomadas podem ser de dois tipos (ALLEN, 2013):

- » Bases que permitem a incorporação de soluções aquosas, proveniente da formação de uma emulsão água em óleo.
- » Bases que já são emulsões água em óleo que permitem a incorporação de soluções aquosas.

Essas bases são utilizadas como emolientes, apesar de não oferecer o mesmo grau de oclusão das hidrofóbicas.

Elas podem ser facilmente removidas da pele a partir de lavagens uma vez que a fase externa da emulsão é oleosa. Estes tipos de base são úteis atuando como adjuvantes farmacêuticos, pois permitem a incorporação de pequenos volumes de soluções aquosas em bases hidrofóbicas. O processo é realizado por meio da adição de solução aquosa na base de absorção e incorporação da mistura na base hidrofóbica posteriormente.

UNIDADE II | TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE FORMAS FARMACÊUTICAS SEMISSÓLIDAS

Bases removíveis pela água

São emulsões óleo em água parecida aos cremes, por conta da fase externa aquosa, que são facilmente retiradas da pele com água. Por conta desta característica, também são conhecidas como bases laváveis. Podem ser facilmente diluídas com água ou soluções aquosas que absorvem descargas serosas (ALLEN, 2013).

Bases hidrossolúveis

Este tipo de base não apresenta componentes oleosos e são completamente laváveis, por isso, conhecidas como “não oleosas”. Pelo fato de amolecerem facilmente com a adição de água, este tipo de base não é recomendado para incorporação de grandes quantidades de soluções aquosas, sendo aplicados, principalmente, para veiculação de substâncias sólidas (ALLEN, 2013).

Seleção da base apropriada

Para a seleção do tipo de base a ser utilizada no preparo de uma pomada é necessário levar em conta os seguintes quesitos (ALLEN, 2013):

- » velocidade de liberação do fármaco;
- » o meio de absorção percutânea ou tópica;
- » necessidade de oclusão da umidade da pele;
- » estabilidade do fármaco na base de pomada;
- » influência do fármaco nas propriedades da base;
- » desejável remoção da pomada com água;
- » características da superfície na qual será aplicada a pomada.

Preparo de pomadas

O preparo das pomadas segue por dois métodos (ALLEN, 2013):

- » incorporação;
- » fusão.

A escolha do método está relacionada, principalmente, à natureza de seus componentes.

Incorporação

Este processo consiste na mistura dos componentes da formulação até a obtenção de uma mistura uniforme. Em pequena escala, como por exemplo, no preparo extemporâneo, o farmacêutico pode misturar a pomada utilizando um gral, pistilo, uma espátula com o auxílio de uma pedra de pomada (placa de vidro, porcelana ou mármore). Alguns profissionais utilizam um tipo de papel não absorvente e descartável para recobrir a superfície de trabalho, que facilita no processo de limpeza da pedra de

pomada. Outros utilizam um moinho para pomada, gral e pistilo eletrônico, ou um equipamento chamado Unguator, que permite a adição de componentes em um recipiente de plástico e fechá-lo com uma tampa especial que facilita a mistura dos componentes no frasco de dispensação. Estes equipamentos podem ser controlados por computadores ou manualmente.

Incorporação de sólidos

O preparo de uma pomada por espatulação, o farmacêutico utiliza uma espátula de aço inoxidável de lâmina longa e larga, removendo regularmente, o excesso de pomada acumulada na espátula com o auxílio de outra de menor tamanho. Nos casos em que algum componente da pomada interaja com o metal, podem ser utilizadas espátulas de borracha dura.

A pomada é preparada a partir da trituração e espatulação dos componentes misturados sobre uma superfície rígida, até a obtenção de uma mistura lisa e uniforme. Uma pequena porção do pó é misturada com uma porção da base até a obtenção de uma mistura homogênea. A mistura, por diluição geométrica, é repetida até que todas as combinações de pó e base estejam combinadas e misturadas de modo uniforme.

É recomendável que seja feita a redução do tamanho da partícula de um pó ou material cristalino antes da incorporação à base da pomada para evitar que o produto final se torne áspero. Este processo pode ser realizado pela técnica de ligação, que consiste na mistura do material sólido com um veículo no qual ele é insolúvel, para ser obtida uma dispersão lisa. O agente de levigação, por exemplo, óleo mineral, deve apresentar compatibilidade física e química com o fármaco e a base. O volume do agente de levigação deve ser similar ao material sólido e neste processo, é possível utilizar um gral e um pistilo para redução da substância no veículo.

Após o processo de levigação, adiciona-se a dispersão na base da pomada por espatulação ou a partir da utilização de gral e pistilo, até a obtenção de uma mistura uniforme. Sólidos solúveis em solventes comuns, como por exemplo, água e álcool, que

UNIDADE II | TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE FORMAS FARMACÊUTICAS SEMISSÓLIDAS

não interfiram na estabilidade do fármaco e nem na atuação do produto podem ser previamente dissolvidos, e agregados à pomada na forma de solução, por espatulação ou utilizando um gral e o pistilo. Esses últimos são mais indicados para adição em grande volume de líquido, pois evitam as perdas por escoamento que poderiam ocorrer em uma pedra de pomada.

À incorporação de materiais pegajosos pode ser utilizada o método de pulverização por intervenção. O material é dissolvido em um solvente e é espalhado sobre uma superfície lisa e impermeável, que após a evaporação, origina um filme fino do material, sobre o qual os outros componentes estão espalhados. Assim, o material produzido é adicionado aos componentes por espatulação.

Incorporação de líquidos

O processo de incorporação de líquidos em pomadas ocorre após as considerações sobre a capacidade da base de pomada em incorporar o volume requerido. Nos casos em que é preciso acrescentar uma solução aquosa em uma base hidrofóbica, a solução poderá ser incorporada, em quantidades mínimas, em uma base hidrofílica, e em seguida, adicionada à base hidrofóbica. No entanto, as bases hidrofílicas, apresentam um limite na capacidade de retenção de líquidos, e a adição superior a esta capacidade poderá gerar bases moles ou semilíquidas.

Volumes pequenos de soluções alcoólicas podem ser incorporados com facilidade em veículos oleosos ou bases emulsionadas. Como por exemplo, bálsamos naturais em geral podem ser misturados a uma quantidade equivalente de óleo de mamona antes da agregação à base. Este processo reduz a tensão superficial e permite sua distribuição uniforme na pomada.

Na produção em grande escala, são utilizados moinhos de rolos que forçam a passagem da massa pré-misturada entre cilindros de aço inoxidável ou de cerâmica para produção de pomadas com composição uniforme e textura lisa. Os moinhos de rolo de pequeno porte são utilizados em laboratórios de desenvolvimento para a produção em pequena escala, ou em farmácias de manipulação.

Fusão

Este método consiste na combinação de componentes por meio da fundição desses componentes e que são mantidos sob agitação até o completo resfriamento e solidificação. Consequentemente, os componentes termolábeis e voláteis são adicionados posteriormente para não sofrerem decomposição. Outros compostos podem ser adicionados à mistura que está solidificando na forma de soluções ou de pós insolúveis levigados com uma porção da base (ALLEN, 2013).

No processo em pequena escala, a fusão pode ser realizada em uma cápsula de porcelana ou béquer de vidro, e em grande escala, a fusão pode ser realizada em tanques de dupla camisa, com aquecimento a vapor. Após a solidificação, o produto

pode ser submetido ao moinho de rolos (grande escala) ou à espatulação ou trituração para proporcionar textura uniforme.

Em muitos casos, pomadas medicinais e bases de pomadas possuem substâncias que não podem ser incorporadas por misturas, como por exemplo, cera de abelhas, parafina, álcool estearílico e PEGs de alta massa molecular (polietileno glicol), sendo necessário o preparo por fusão. Em linhas gerais, os materiais que apresentam alto ponto de fusão são aquecidos até atingir a temperatura mínima necessária para ocorrer a fusão. Assim, outros componentes são incorporados durante a etapa de resfriamento, sob agitação constante. Nenhum componente é submetido a temperaturas superiores do que a necessária para obter a fusão. Um meio alternativo é a fundição prévia do componente com menor ponto de fusão, seguido da adição dos demais componentes, obedecendo à ordem crescente de ponto de fusão. Outra possibilidade é a fundição de todos os componentes, conforme o aumento gradual e lento da temperatura. Nessas metodologias, uma temperatura mais baixa, geralmente, é suficiente para promover a fusão por conta da ação solvente exercida pelo primeiro componente fundido em relação aos demais.

No preparo de pomadas do tipo emulsão, a técnica envolve procedimento de fusão e emulsificação. Primeiramente, os componentes imiscíveis em água, como por exemplo, óleos e as ceras são fundidos juntos em banho-maria até a temperatura próxima de 70 a 75 °C. Paralelamente, uma solução aquosa contendo todos os componentes termoestáveis e hidrossolúveis é aquecida à mesma temperatura dos componentes hidrofóbicos. Posteriormente, a solução aquosa é vertida lentamente com agitação mecânica, sobre a mistura fundida, sendo mantida a temperatura por 5 a 10 minutos. Após este processo, inicia-se a etapa de resfriamento, sob agitação lenta, até que a mistura se solidifique. Este processo é importante, pois caso a solução aquosa não esteja na mesma temperatura da fase oleosa fundida, algumas ceras poderão sofrer solidificação com a adição da solução aquosa mais fria.

CAPÍTULO 2

Cremes, géis e outros medicamentos semissólidos

Cremes

Cremes farmacêuticos são produtos semissólidos que apresentam em sua composição um ou mais agentes medicinais dissolvidos ou dispersos em emulsões óleo em água ou

em outros tipos de bases removíveis por água. Os cremes evanescentes são emulsões de óleo em água que possuem alta porcentagem de água e ácido esteárico ou outros componentes oleosos. Após a aplicação do creme, a água evapora permitindo a formação de um filme fino de ácido esteárico ou outro agente oleoso (ALLEN, 2013).

Estes produtos são voltados para aplicação tópica sobre a pele, retal e vaginal. Muitos médicos e paciente optam pelos cremes, frente às pomadas, por conta da maior facilidade de espalhamento e remoção.

O setor industrial farmacêutico produz, em geral, formulações tópicas de um fármaco em forma de pomada e de creme, buscando atender a preferência de pacientes e médicos.

Géis

Os géis também fazem parte da classe de sistemas semissólidos e são dispersões de pequenas ou grandes moléculas em um veículo líquido aquoso que possuem consistência semelhante às geleias, a partir da adição de um *agente gelificante*. Dentre os agentes gelificantes, podem-se destacar as macromoléculas sintéticas, derivados de celulose e as gomas naturais (ALLEN, 2013).

Os carbômeros são polímeros hidrossolúveis com alta massa molecular do ácido acrílico, reticulados com ésteres alílicos de sacarose e/ou pentaeritritol. Estes polímeros possuem viscosidade dependente de sua composição e são utilizados como agentes gelificantes em concentrações de 0,5 a 2,0% em água. O carbômero 940 proporciona maior viscosidade (40 mil e 60 mil centipoises), em dispersão aquosa a 0,5%. Os géis também são conhecidos como geleias (jellies).

Géis de fase única são compostos por macromoléculas com distribuição uniforme por todo o líquido, sem ligações aparentes entre elas e o líquido. O gel é constituído de flóculos de pequenas partículas distintas, sendo denominada de sistemas de duas fases ou magma. Um produto da classe de sistemas de duas fases é o leite de magnésia, ou magma de magnésia, que é um precipitado gelatino de hidróxido de magnésio. Os géis podem aumentar sua espessura quando em repouso, formando sistemas tixotrópicos, apresentando, assim, a necessidade de agitação antes de seu uso para que fiquem mais líquidos e com maior capacidade de fluidez.

As formulações de géis, além de serem constituídos com agente gelificante e água, podem apresentar em sua composição fármacos, solventes, como álcool e/ou propilenoglicol, conservantes antimicrobianos e estabilizantes. Géis medicamentosos

podem ser elaborados para administração em diversas vias, dentre as quais destacamos percutânea, ocular, nasal, vaginal e retal.

Preparações transdérmicas

A indústria farmacêutica apresentou um crescimento expressivo na produção de tópicos do tipo pomadas, géis e cremes visando à administração sistêmica de fármacos. Estes produtos apresentam em sua composição promotores de absorção no veículo como: Dimetilsulfóxido (DMSO), etano, propilenoglicol, glicerina, PEG, ureia, dimetilacetamida, laurel sulfato de sódio, os *poloxamers*, *spans*, *tweens*, lecitina, terpenos e outros (ALLEN, 2013).

Um preparo de transdérmico, muito comum, é o organogel Pluronic-lecitina que consiste em um gel de Pluronic (poloxamer) F127 misturado na proporção de 1:5 com uma mistura em partes iguais de palmitato de isopropila e lecitina. Este veículo na forma de gel promove a penetração rápida de muitos fármacos na pele.

Pastas

As pastas são preparações semissólidas voltadas para aplicação sobre a pele, contendo uma quantidade maior de sólido, aproximadamente 15% ou mais, em relação às pomadas e dessa forma, apresentam consistência mais firme (ALLEN, 2013).

O preparo das pastas é a mesma que as pomadas, por mistura direta ou com uso de calor, para amolecer a base antes da adição de sólidos, que devem ser triturados e tamisados previamente. No entanto, caso um agente de levigação seja adicionado ao

UNIDADE II | TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE FORMAS FARMACÊUTICAS SEMISSÓLIDAS

preparo, é preferível utilizar uma porção da base, pois um líquido poderá diminuir a consistência da pasta.

Por conta da dureza que caracteriza as pastas, elas permanecem no local de aplicação e são empregadas com eficiência no processo de absorção de secreções serosas. Entretanto, devido à dureza e impermeabilidade, as pastas não são indicadas na aplicação em regiões do corpo que possuam pelos.

Dentre as poucas pastas no mercado atualmente, encontra-se a pasta de óxido de zinco que é preparada a partir da mistura de 25% de óxido de zinco e 25% de amido em

vaselina branca. Este produto possui alta consistência e é mais eficaz na proteção da pele absorvendo secreções do que a pomada de óxido de zinco.

Emplastros

Emplastros são massas adesivas sólidas ou semissólidas espalhadas em uma cobertura de papel, tecido, molesquim (tipo de tecido que imita o couro) ou plástico. O material adesivo usado pode conter uma base emborrachada ou uma resina sintética (ALLEN, 2013).

Este produto é aplicado sobre a pele para promover o contato prolongado com o local de ação. Os emplastros não medicamentosos são empregados para proteção ou suporte mecânico. Tiras adesivas costumavam ser usadas como emplastros e são bem conhecidas.

Os emplastros medicinais produzem efeitos no local da aplicação, podendo ser cortados conforme o tamanho da superfície corporal a ser coberta. O emplastro de ácido salicílico, um dos poucos ainda utilizados, é aplicado nos dedos dos pés para a remoção de calos. As camadas endurecidas da pele são removidas pela ação queratolítica do ácido salicílico. A faixa de concentração usual de ácido salicílico no emplastro calicida comercial é de 10 a 40%.

Glicerogelatinas

Basicamente, a glicerogelatina é composta por gelatina (15%), glicerina (40%), água (35%), além de uma substância medicinal (10%), como o óxido de zinco. O preparo deste produto inicia-se pelo amolecimento da gelatina em água por cerca de 10 minutos, seguido do aquecimento em banho-maria até a completa dissolução da gelatina seguido da adição da substância ativa à glicerina e da agitação constante da mistura até seu resfriamento e sua solidificação (ALLEN, 2013).

As glicerogelatinas permanecem sobre a pele por longos períodos. Elas devem ser fundidas antes da aplicação, resfriadas até temperatura ligeiramente acima da corporal e aplicadas sobre a área afetada com uma escova fina. Após a aplicação, a glicerogelatina endurece e é coberta com bandagem, permanecendo no local por semanas.

A glicerogelatina oficial mais recente é a de zinco, empregada para o tratamento de úlceras varicosas. Essa preparação também é chamada de *botina de zinco-gelatina*, por sua habilidade em formar uma bandagem de compressão.

TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE FORMAS FARMACÊUTICAS LÍQUIDAS

UNIDADE III

CAPÍTULO 1

Soluções

Aspectos gerais

Em termos gerais, as soluções podem ser preparadas por meio da combinação de um dos três estados da matéria: sólido, gasoso e líquido. Um exemplo simples é o processo da dissolução de um soluto em um sólido, líquido ou gás. No setor farmacêutico, o processo de preparo de soluções é limitado pelo fato de desenvolverem com menor frequência soluções de solutos gasosos em solventes líquidos, dando maior ênfase no preparo de soluções de solutos sólidos em líquido (ALLEN, 2013).

Na linguagem farmacêutica, soluções são preparos líquidos que possuem uma ou mais substâncias químicas dissolvidas em um solvente apropriado ou em uma mistura de solventes mutuamente miscíveis. Estas soluções farmacêuticas podem ser classificadas da seguinte maneira:

- » oral;
- »ótica;
- » oftálmica;
- » tópica.

Além desta classificação, dependendo de sua finalidade, as soluções podem ser classificadas como outras formas farmacêuticas, como por exemplo:

- » Soluções que possuem açúcar em sua composição são classificadas como xarope (em alguns casos é possível existir uma pequena porção de álcool na formulação).
- » Os elixires são soluções hidroalcoólicas edulcoradas (combinação de etanol e água).
- » Os espíritos são soluções de solutos aromáticos dissolvidos em álcool.
- » As águas de espíritos são soluções de solutos aromáticos dissolvidos em solvente aquoso.

O preparo de soluções a partir da extração de componentes ativos de plantas é denominado de tinturas ou extratos fluidos, que está relacionado à concentração e do método de preparo. As tinturas também podem ser caracterizadas como soluções de espécies químicas dissolvidas em álcool ou solvente hidroalcoólico.

Algumas soluções elaboradas para serem estéreis e livres de pirogênios, designadas para administração parenteral, são denominadas injetáveis. Apesar da apresentação de outros exemplos sobre o assunto, fica claro que a definição de solução, mesmo sendo um meio distinto de preparação farmacêutica, está além da definição físicoquímica (mistura de soluto em líquido, sólido e gasoso) e que consiste em uma forma mais complexa de preparo.

As soluções orais, xaropes, elixires, espíritos e tinturas são desenvolvidos e aplicados para a aquisição de efeitos específicos dos fármacos que contém. Nestes processos, os fármacos possuem o objetivo de prover efeitos sistêmicos, e pelo fato de serem administrados na forma de soluções, apresenta o seu potencial em solubilizar-se em sistemas aquosos e absorção no trato gastrointestinal, promovendo rapidamente para a circulação sistêmica.

Além da presença da substância ativa, existem outras espécies de solutos presentes em soluções administradas oralmente. Estas espécies são incorporadas com a função de fornecer coloração, sabor, doçura ou estabilidade. O preparo e a manipulação da solução farmacêutica deverão ser realizados a partir da utilização de dados de estabilidade e solubilidade de cada soluto em relação ao solvente ou sistema de solventes.

Possíveis combinações de substâncias ativas ou adjuvantes que apresentem interações químicas ou físicas que interfiram na qualidade terapêutica ou estabilidade do medicamento devem ser evitadas. O profissional responsável deve atentar-se em relação à solubilidade das espécies envolvidas e às características dos solventes farmacêuticos para o preparo de soluções de um único soluto e, principalmente, para soluções que envolvam vários solutos.

Solubilidade

A existência das forças de atração entre átomos permite a formação de moléculas e íons, e a interação entre as moléculas, conhecidas como forças intermoleculares são responsáveis pelo estado físico (sólido, líquido ou gasoso); das substâncias em determinadas condições, como por exemplo, de temperatura e pressão. Em situações normais, grande parte dos compostos orgânicos, conseqüentemente, grande parte dos fármacos apresentam-se como sólidos moleculares. Durante as interações moleculares ocorre a existência de forças de atração e repulsão: forças de atração mantêm a união de moléculas, enquanto as forças de repulsão previnem a interpenetração molecular. Quando as forças de atração e de repulsão são igualadas, a energia potencial entre as duas moléculas passa a ser mínima, tornando o sistema estável (ALLEN, 2013).

As moléculas dipolares possuem a tendência de alinhamento com outras moléculas dipolares, permitindo a formação de um polo negativo em uma extremidade e o polo positivo em outra. Grandes grupos de moléculas podem ser associados por meio dessas atrações fracas, denominadas dipolo-dipolo ou forças de Van der Waals. Existem outras forças atrativas que exercem influência em moléculas polares, não polares e íons, dentre as quais podemos destacar forças íon-dipolo e as ligações de hidrogênio. Esta última é particularmente importante, pois apesar do pequeno tamanho, mas com grande campo eletrostático, o átomo de hidrogênio pode mover-se próximo a um átomo eletronegativo, permitindo a formação de um tipo de associação eletrostática, conhecida como ligação de hidrogênio.

A ligação de hidrogênio abrange átomos de alta eletronegatividade, como por exemplo, o oxigênio, nitrogênio e o flúor. Este tipo de ligação ocorre na água, em algumas moléculas de álcoois, ésteres, ácidos carboxílicos, aldeídos e polipeptídios. No processo de dissolução de um soluto, as forças de atração intermoleculares da substância devem ser ultrapassadas pelas forças de atração entre o soluto e as moléculas de solventes, e para que este fenômeno ocorra, é preciso haver o rompimento das forças soluto-soluto e solvente-solvente para promover a interação solvente-soluto.

A solubilidade de determinada substância em um solvente estabelece a concentração máxima na qual a solução pode ser preparada. A dissolução máxima de um soluto em um solvente, a uma determinada temperatura, é denominada solução saturada.

Para ilustrar a variação na solubilidade entre duas substâncias químicas e, conseqüentemente, as quantidades necessárias de cada uma para a preparação de solução saturada, serão utilizadas duas soluções como exemplos: a solução tópica de hidróxido de cálcio e a solução oral de iodeto de potássio. A primeira solução, preparada pela agitação de um excesso de hidróxido de cálcio em água purificada, contém apenas cerca de 140 mg de soluto dissolvido por 100 mL de solução a 25 °C, ao passo que a solução de iodeto de potássio possui aproximadamente 100 g de soluto por 100 mL de solução, ou seja, 700 vezes mais soluto do que a solução tópica de hidróxido de cálcio. Dessa maneira, a concentração máxima possível na qual um farmacêutico pode preparar uma solução varia muito e depende, em parte, da constituição química do soluto. Um farmacêutico pode, em alguns casos, dissolver quantidades maiores de um soluto do que seria possível por meio de seleção de um agente solubilizante ou de um sal químico diferente do agente medicinal, modificação do pH da solução ou substituição parcial ou total do solvente.

Por exemplo, grânulos de iodo são solúveis em água em uma extensão de apenas 1 g em aproximadamente 3.000 mL. Usando apenas esses dois componentes, a concentração máxima possível seria de aproximadamente 0,03% de iodo. Entretanto, a partir da utilização de uma solução aquosa de iodeto de potássio ou iodeto de sódio como solvente, quantidades maiores de iodo podem ser dissolvidas, devido à formação de um complexo hidrossolúvel com o iodeto. Essa reação é vantajosa, por exemplo, na solução tópica de iodo, preparada com 2% de iodo e 2,4% de iodeto de sódio.

Outro fator importante no preparo de soluções é a temperatura, pois determina a solubilidade de um fármaco. Grande parte das espécies químicas absorve calor quando dissolvida (processo endotérmico), influenciando no aumento da solubilidade por meio do aumento da temperatura. Poucas substâncias químicas possuem calor de dissolução negativo (reação exotérmica) e suas solubilidades diminuem com a elevação da temperatura. Outros fatores influenciam o processo de solubilidade, como por exemplo, propriedades físicas e químicas do solvente e do soluto, pH do meio, pressão, estado de subdivisão do soluto e agitação do meio.

A solubilidade de uma substância química pura em uma temperatura e pressão específica é constante, no entanto, a cinética de dissolução, ou seja, a velocidade de dissolução está relacionada ao tamanho da partícula da substância e da agitação.

Quanto menor for o tamanho da partícula, maior será a área de superfície em contato com o solvente, e logo, mais rápida será o processo de dissolução. De mesma maneira, quanto maior o grau de agitação, maior será a quantidade de solvente não saturado em contato com o fármaco e mais rápido será a formação da solução.

A solubilidade de determinada substância em um solvente pode ser analisada a partir do preparo de uma solução saturada a uma determinada temperatura, seguindo metodologias analíticas.

A quantidade de solvente necessária para dissolver o soluto pode ser determinada por um cálculo simples. A solubilidade pode então ser expressa como gramas do soluto dissolvido em mililitros de solvente; por exemplo, “1 g de cloreto de sódio dissolve-se em 2,8 mL de água”. Quando a solubilidade exata não for estabelecida, expressões gerais de solubilidade relativa podem ser utilizadas. Esses termos são definidos e apresentados a seguir.

Quadro 3. Termos relativos de solubilidade.

Termos descritivos	Partes de solvente necessárias para uma parte de soluto
Muito solúvel	<1
Facilmente solúvel	1-10
Solúvel	10-30
Ligeiramente solúvel	30-100
Pouco solúvel	100-1.000
Muito pouco solúvel	1.000-10.000
Parcialmente insolúvel ou insolúvel	>10.000

Fonte: Allen (2013).

Partes dos fármacos orgânicos mais importantes são ácidos ou bases fracas, e dessa maneira, a solubilidade é dependente do pH do solvente utilizado. Esses fármacos reagem com ácidos e bases fortes para formar sais solúveis em água, por exemplo, as bases fracas que abrangem parte dos alcaloides (atropina, codeína e morfina), antihistamínicos (difenidramina e prometazina), anestésicos locais (cocaína, procaína e tetracaína) e dentre outros fármacos significativos que não possuem alta solubilidade em água, mas tornam-se solúveis em soluções ácidas. Empresas farmacêuticas têm desenvolvido muitos sais de bases orgânicas para viabilizar a preparação de soluções aquosas, no entanto, caso o pH da solução aquosa desses sais seja modificado, a partir da adição de uma álcali, a fração de base livre pode separar-se da solução, a menos que possua uma solubilidade adequada na água. Os fármacos orgânicos, que são ácidos fracos, abrangem os barbituratos e as sulfonamidas, e outros ácidos fracos formam sais

hidrossolúveis em soluções básicas, podendo ser separadas solução por meio da diminuição do pH. O seguinte quadro apresenta um comparativo de ácidos e bases fracas e seus respectivos sais.

Quadro 4. Solubilidades em água e álcool de alguns ácidos e bases fracos e seus sais.

Fármaco	Mililitros de solvente que dissolvem 1 g de fármaco	
	Água	Álcool
Atropina	455,0	2
Sulfato de atropina	0,5	5
Codeína	120,0	2
Sulfato de codeína	30,0	1.280
Fosfato de codeína	2,5	325
Morfina	5.000,0	210
Sulfato de morfina	16,0	565
Fenobarbital	1.000,0	8
Fenobarbital sódico	1,0	10
Procaína	200,0	Solúvel
Cloridrato de procaína	1,0	15
Sulfadiazina	13.000,0	Ligeiramente solúvel
Sulfadiazina sódica	2,0	Pouco solúvel

Fonte: Allen (2013).

Apesar de não existir uma regra de previsão, sem margem de erro, da solubilidade de determinada substância química em um solvente, profissionais experientes do setor farmacêutico podem estimá-la a partir de um composto químico baseando-se em sua estrutura molecular e em grupos funcionais. Informações obtidas de um grupo significativo de compostos químicos levaram à caracterização das solubilidades de grupos de compostos e, ainda que possam existir erros ocasionais em relação a determinado membro do grupo, as generalizações ainda são úteis.

A análise do Quadro 4 demonstra que sais de compostos orgânicos são mais solúveis em água do que as bases orgânicas correspondentes, no entanto, bases orgânicas são mais solúveis em solventes orgânicos, dentre eles o etanol, em comparação aos sais correspondentes. Possivelmente, a recomendação mais difundida para mensurar a solubilidade de um composto químico em um determinado solvente é a de que semelhante dissolve semelhante, ou seja, um solvente que possui estrutura similar à do soluto em questão, terá maior probabilidade de dissolvê-lo. Dessa maneira, derivados

orgânicos são mais solúveis em solventes orgânicos do que em água, no entanto, estes podem ser solúveis em água se possuir grupos polares em sua estrutura, permitindo a formação de ligações de hidrogênio com a água. Quanto maior o número de grupos funcionais polares presentes na estrutura do composto orgânico, maior será a sua solubilidade em água.

Os grupos funcionais polares incluem: OH, CHO, COH, CHOH, CH₂OH, COOH, NO₂, CO, NH₂ e SO₃H. A inserção de um átomo de halogênio na estrutura da molécula tende a diminuir a solubilidade aquosa devido ao aumento no peso molecular do composto sem o aumento proporcional na polaridade. O aumento do peso molecular de um derivado orgânico, sem modificar a polaridade, diminui a solubilidade aquosa. O Quadro 5 apresenta algumas generalizações sobre a solubilidade de derivados orgânicos em meio aquoso.

Quadro 5. Solubilidades de alguns compostos orgânicos em água para demonstração da relação entre a estrutura química e a solubilidade.

Substância	Fórmula	Mililitros de água necessários para dissolver 1 g da substância
Benzeno	C ₆ H ₆	1.430,0
Ácido benzoico	C ₆ H ₅ COOH	275,0
Álcool benzílico	C ₆ H ₅ CH ₂ OH	25,0
Fenol	C ₆ H ₅ O H	15,0
Pirocatecol	C ₆ H ₆ (OH) ₂	2,3
Pirogallol	C ₆ H ₃ (OH) ₃	1,7
Tetracloreto de carbono	CCl ₄	2.000,0
Clorofórmio	CHCl ₃	200,0
Diclorometano	CH ₂ Cl ₂	50,0

Fonte: Allen (2013).

Da mesma maneira que os derivados orgânicos, o profissional farmacêutico deverá estar ciente que alguns padrões gerais de solubilidade podem ser aplicados para derivados inorgânicos. Grande parte dos sais de cátions monovalentes, como por exemplo, sódio, potássio e amônia, são solúveis em água, enquanto cátions divalentes, como cálcio, magnésio e bário, geralmente formam compostos solúveis em água com ânions nitrato, acetato e cloreto, mas não com ânions carbonato, fosfato ou hidróxido. Algumas combinações de ânions e cátions parecem ser semelhantes em sua composição, entretanto, não possuem características de similares de solubilidade,

como por exemplo, o sulfato de magnésio é solúvel, mas o sulfato de cálcio é pouco solúvel, o sulfato de bário é quase insolúvel (1g para 400.000 mL de água) e é aplicado como meio opaco em exames de raio X do trato intestinal. Em muitos casos, as solubilidades dos fármacos e suas diferenciações, em relação a outros fármacos, são essenciais para que o farmacêutico evite erros na manipulação ou desastres terapêuticos.

A capacidade de um solvente para dissolver solutos orgânicos e inorgânicos está relacionado a sua eficácia em superar as forças eletrônicas que mantêm os átomos do soluto unidos e a respectiva falta de capacidade, por parte dos próprios átomos, em resistir à ação do solvente. Durante a dissolução, as moléculas do solvente e do soluto misturam-se uniformemente, e as forças coesivas dos átomos são substituídas por novas forças como resultado da atração dessas moléculas entre si.

Moléculas inorgânicas

- » Nos casos em que, tanto o cátion e o ânion de um composto iônico são monovalentes, as forças de atração soluto-soluto são superadas com facilidade e, dessa maneira, estes compostos são normalmente solúveis em água (ALLEN, 2013).
- » Nos casos em que, apenas um dos dois íons de um composto iônico for monovalente, as interações soluto-soluto também apresentarão as mesmas características, sendo que em muitos casos, superadas com facilidades além de serem solúveis em água.
- » Nos casos em que o cátion e o ânion são multivalentes, a interação soluto-soluto, pode ser superada pela interação soluto-solvente, e o composto poderá apresentar baixa solubilidade aquosa.
- » Os sais comuns de metais alcalinos, em sua grande maioria, são solúveis em água.
- » Sais de amônia e de amônio quaternário são solúveis em água.
- » Nitritos, nitratos, acetatos, cloratos e lactatos, em sua grande maioria, são solúveis em água, exceto o acetato de prata e alumínio.

- » Sulfatos, sulfitos e tiosulfatos são, normalmente, solúveis em água, exceto, sais de cálcio e de bário.
- » Cloretos, brometos e iodetos são solúveis em água, exceto, sais de prata e íons mercuriosos.
- » Sais ácidos, que correspondem a um sal insolúvel, são mais solúveis em água do que o sal original.
- » Hidróxidos e óxidos de compostos diferentes dos cátions de metais alcalinos e do íon de amônio, em sua grande maioria, são solúveis em água.
- » Sulfetos são insolúveis em água, exceto, seus sais de metais alcalinos.
- » Fosfatos, carbonatos, silicatos, boratos e hipocloritos são insolúveis em água, exceto, seus sais de metais alcalinos e sais de amônio.

Moléculas orgânicas

- » Moléculas que possuem cadeias de até cinco carbonos e um grupo funcional polar são, normalmente, solúveis (ALLEN, 2013).
- » Moléculas que possuem ramificação estrutural são mais solúveis em comparação às moléculas lineares correspondentes.
- » O aumento do peso molecular é inversamente proporcional ao grau de solubilidade.
- » O aumento da semelhança estrutural entre o soluto e o solvente é seguido pelo aumento de solubilidade.

A partir do conhecimento das características químicas dos fármacos permite ao farmacêutico a escolha adequada do solvente para determinado soluto. No entanto, além dos fatores de solubilidade, a seleção é estabelecida em características adicionais, como por exemplo:

- » Transparência.
- » Baixa toxicidade.

- » Viscosidade.
- » Compatibilidade com outros agentes da formulação.
- » Inércia química.
- » Palatabilidade.
- » Odor.
- » Coloração.
- » Baixo custo.

No preparo de soluções de uso oral, oftálmico ou injetável, o solvente preferido é a água por apresentar os critérios anteriores. Nos casos em que a água é o solvente principal, é muito comum o emprego de um solvente auxiliar para aumentar a ação da água ou auxiliar na estabilidade química ou física do produto. A glicerina, o propilenoglicol e o etanol, são os solventes mais empregados como solventes auxiliares pelo fato de obterem as características desejadas das soluções farmacêuticas e na manutenção da estabilidade.

Outros tipos de solventes, como acetona, éter etílico e álcool isopropílico, são extremamente tóxicos para elaborações farmacêuticas de emprego interno, mas são úteis como solventes na química orgânica e nos estágios preparatórios do desenvolvimento de medicamentos, como por exemplo, na extração ou retirada de espécies ativas de plantas medicinais. Por conta desta característica, alguns solventes são reconhecidos oficialmente nos compêndios. Muitos óleos fixos, como por exemplo, de milho, algodão, amendoim e girassol são empregados como solventes, em particular no preparo de injeções oleaginosas, sendo reconhecidos nos compêndios oficiais para este tipo de aplicação.

Alguns solventes para preparações líquidas

Álcool, álcool etílico e etanol

Após a água, o álcool é o solvente mais utilizado em farmácia, pois pode atuar como solvente principal para diversos compostos orgânicos. Associado com a água é possível formar uma mistura hidroalcoólica que solubiliza espécies solúveis tanto em álcool como em água, característica importante no processo de extração de princípios ativos

de matérias-primas brutas. A partir da variação da proporção destes dois solventes, os constituintes ativos são dissolvidos e extraídos de maneira seletiva ou podem permanecer no resíduo, conforme suas características de solubilidade do meio (ALLEN, 2013).

O álcool é reconhecido como solvente e excipiente na formulação de produtos farmacêuticos de via oral. Alguns fármacos possuem baixa ou quase nenhuma solubilidade em água, e assim, devem ser dissolvidos em um veículo alternativo. Dessa maneira, o álcool é muito utilizado por conta de sua miscibilidade com a água e sua habilidade em dissolver vários compostos insolúveis em água, dentre os quais podemos destacar: fármacos, flavorizantes e conservantes antimicrobianos. É comum a utilização de glicóis e glicerina visando reduzir a quantidade de etanol e também o emprego de preparos líquidos como conservante antimicrobiano, sozinho ou em associação com parabenos, benzoatos e sorbatos.

No entanto, mesmo com suas vantagens farmacêuticas existe a preocupação em relação aos efeitos farmacológicos indesejáveis e potencialmente tóxicos do álcool, oriundos pela ingestão de produtos farmacêuticos, em especial, aos medicamentos de uso pediátrico. Dessa maneira, a *U.S. Food and Drug Administration* (FDA) propôs que as indústrias de medicamentos de venda livre (*over-the-counter, OTC*) de uso oral restringissem o uso de etanol e incluíssem advertências apropriadas no rótulo dos produtos. Para medicamentos orais de venda livre para crianças com menos de 6 anos, o limite de etanol recomendado é de 0,5%; para medicamentos destinados a crianças de 6 a 12 anos, o limite recomendado é 5%; e para crianças com mais de 12 anos e adultos, o limite recomendado é 10%.

Álcool diluído

O preparo do álcool diluído consiste na mistura de volumes iguais de água purificada e álcool, sendo que o volume da mistura final não é a soma dos volumes individuais dos dois componentes, pois os líquidos sofrem contração neste processo, e assim o volume final é, aproximadamente, 3% menos ao esperado.

Por conta desta característica que a concentração do álcool diluído não é exatamente a metade do álcool mais concentrado, mas algo maior, ou seja, cerca de 49%. O álcool diluído é um solvente hidroalcoólico útil em vários processos e preparações farmacêuticas.

Álcool desnaturado

O álcool desnaturado possui aproximadamente 70% de álcool etílico por volume, sendo o restante, composto por desnaturantes, adicionado ou não de corantes, essências e estabilizantes. Para cada 100 ml não deve conter menos de 355 mg de octacetado de sacarose ou 1,4 mg de benzoato de denatônio, substâncias amargas que desencorajam a ingestão oral acidental ou abusiva.

De acordo com o *Internal Revenue Service, U.S. Treasury Department*, o desnaturante empregado no álcool *rubbing* consiste na fórmula 23-H, a qual, por sua vez, é constituída por 8 partes por volume de acetona, 1,5 partes por volume de metilisobutilcetona e 100 partes por volume de álcool etílico. O uso dessa mistura torna a separação do etanol e dos agentes desnaturantes praticamente impossível com o uso de um equipamento de destilação comum. Isso desencoraja a purificação com o intuito de usar o etanol ilegalmente na produção de bebidas alcoólicas.

O produto é volátil e inflamável e deve ser armazenado em um recipiente hermético longe do fogo. É empregado externamente como rubefaciente e em massagens para pacientes acamados, como germicida para instrumentos cirúrgicos e na desinfecção da pele antes da injeção. Também é utilizado como veículo para preparações tópicas.

Sinônimo: álcool *rubbing* composto.

Glicerina (glicerol)

A glicerina é caracterizada como um líquido viscoso claro e que possui sabor adocicado, sendo miscível em água e álcool. Como solvente, este pode ser comparado ao álcool, no entanto, por conta de sua viscosidade, os solutos são lentamente dissolvidos, exceto nos casos em que a solubilização ocorra sob aquecimento. A glicerina pode atuar como conservante e é utilizada frequentemente como estabilizante e solvente auxiliar com água ou etanol, sendo utilizada em preparos de uso interno.

Álcool isopropílico desnaturado

O álcool isopropílico desnaturado consiste em cerca de 70% de álcool isopropílico; o restante é água com ou sem a adição de corantes, estabilizantes e essências. É usado externamente como rubefaciente e em massagens e como veículo para produtos de uso tópico. Essa preparação e a solução de álcool isopropílico 91%, disponível no comércio

em geral, são utilizadas por pacientes diabéticos durante o preparo de agulhas e seringas para injeções hipodérmicas de insulina e para desinfecção da pele.

Propilenoglicol

O propilenoglicol, um líquido viscoso, é miscível em água e álcool. Atua como solvente em uma ampla gama de aplicações e é com frequência substituída pela glicerina em formulações farmacêuticas modernas.

Água purificada

A água atua como solvente na maioria das substâncias com as quais entra em contato, e dessa maneira, é vista como impura por conter quantidades variadas de sais inorgânicos dissolvidos, normalmente sódio, potássio, cálcio, magnésio e ferro; cloreto, sulfatos, bicarbonatos, além de materiais orgânicos dissolvidos ou não e microrganismos (ALLEN, 2013).

A água potável que atender grande parte das cidades, normalmente, contém menos de 0,1% de sólidos totais, determinado pela evaporação de uma amostra de 100 mL até a secagem e pesagem do resíduo (menos de 100 mg). Além disso, a água deverá ser clara, incolor, inodora e neutra, podendo ser ligeiramente alcalina ou ácida, devido à natureza dos sólidos e gases dissolvidos (o dióxido de carbono que contribui para acidez e a amônia para alcalinidade da água).

A água proveniente da torneira não é aceita para a elaboração da maioria dos produtos farmacêuticos aquosos ou formulações extemporâneas, por conta de possíveis incompatibilidades químicas entre os sólidos dissolvidos e os fármacos adicionados. Os sinais identificados por conta da incompatibilidade são precipitação, descoloração e, em alguns casos, efervescência.

A utilização da água da torneira é aceita no processo de lavagem, extração de princípios ativos de matérias-primas vegetais e preparo de alguns produtos para uso externo e nos casos em que a diferença entre a água da torneira e a água purificada não for relevante para o fim ao que se destina. Obviamente, quando existe a necessidade de utilizar grandes quantidades de água da torneira para limpeza de equipamentos e vidraria ela será empregada, desde que os resíduos sólidos sejam eliminados utilizando água purificada no último enxágue, ou a água seja removida de modo meticuloso com o auxílio de um pano limpo.

A obtenção da água purificada ocorre por meio do processo de destilação deionizada, osmose reversa ou algum outro processo aceitável.

CAPÍTULO 2

Preparo de soluções

Aspectos gerais

Grande parte das soluções farmacêuticas não é saturada com o soluto, dessa maneira, as quantidades de soluto que devem ser dissolvidas, em sua maioria, encontram-se em níveis inferiores de dissolução do volume de solvente empregado. A concentração dos preparos farmacêuticos é apresentada em porcentagem, e nos casos de soluções muito diluídas, é utilizada a expressão de razão de concentração (ALLEN, 2013).

Algumas espécies químicas requerem um tempo maior para a sua completa dissolução em um determinado solvente. Para agilizar o processo de dissolução, o farmacêutico pode utilizar algumas técnicas, como por exemplo, aumentar a temperatura do sistema, reduzir o tamanho de partícula do soluto, utilizar um agente solubilizante ou submeter os componentes à agitação vigorosa. Grande parte das substâncias químicas são mais solúveis em temperatura elevada em relação à temperatura ambiente, pois a reação endotérmica presente na dissolução do soluto no solvente utiliza energia do aquecimento para aumentar a velocidade de dissolução. No entanto, a temperatura de armazenamento não pode ser elevada, e o efeito do calor consiste simplesmente em aumentar a velocidade de dissolução e não a solubilidade.

O aumento da velocidade é suficiente para o farmacêutico, uma vez que grande parte das soluções não são saturadas e não necessitam de concentrações superiores da capacidade normal do solvente em dissolvê-lo à temperatura ambiente. Os profissionais do setor farmacêutico relutam na utilização do aquecimento para facilitar a dissolução e, quando empregam, realizam o processo cuidadosamente para não exceder a temperatura mínima necessária, pois muitos fármacos degradam em temperaturas elevadas, e dessa maneira, a vantagem da dissolução rápida pode ser suprimida pela deterioração do princípio ativo. Nos casos em que solutos voláteis necessitam ser dissolvidos ou se o solvente for volátil, o uso do calor não será viável, por conta da perda desses componentes para o ar atmosférico.

Além do aumento da temperatura do solvente, visando aumentar a dissolução, o farmacêutico pode optar pela redução do tamanho de partícula do soluto, por meio da utilização de uma cominuição, que é uma técnica de moagem de um sólido a um estado mais fino de subdivisão, com um gral e pistilo para preparações em pequena escala ou

micronizador industrial para preparos em grande escala. A redução do tamanho da partícula promove o aumento da área de superfície do soluto. A disposição do pó em recipientes adequados com uma porção de solvente e agitação, a velocidade de dissolução poderá ser aumentada pela renovação contínua do solvente na superfície do fármaco e remoção constante da solução recém-formada, a partir da superfície do sólido. Em escala industrial, o preparo de soluções ocorre em grandes tanques com saídas para agitadores mecânicos, e quando necessário, pode-se utilizar o aquecimento em tanques providos de termostatos.

Soluções orais

Grande parte das soluções utilizadas por via oral possui em sua composição flavorizante e corante para tornar o medicamento atrativo e agradável ao paladar. Sempre que necessário estes podem conter estabilizantes, manutenção da estabilidade química e físicas do fármaco, e conservantes, que previnem a proliferação de microrganismos na solução (ALLEN, 2013).

O profissional responsável pelo desenvolvimento do medicamento deve atentar-se às possíveis interações químicas entre os componentes de uma solução que podem modificar a potência e/ou estabilidade da preparação. Por exemplo, ésteres do ácido de p-hidroxibenzoico, utilizados como conservantes no preparo de soluções orais, apresentam tendência à partição em favor de alguns óleos aromatizantes. O efeito de partição pode reduzir a concentração efetiva dos conservantes em meio aquoso, proporcionando ao produto farmacêutico, neste caso, com nível essencial para a ação conservante inferior ao requerido.

Os medicamentos líquidos de via oral, normalmente, são formulados para que o paciente receba a dose usual do medicamento em volume convenientemente administrado, como 5 mL (uma colher de chá), 10 mL ou 15 mL (uma colher de sopa); algumas soluções possuem doses grandes, por exemplo, a solução oral de citrato de magnésio é administrado em um volume de 200 mL para adultos, No entanto, muitas soluções destinadas para crianças são dadas com o auxílio de um conta-gotas calibrado que é fornecido pelo fabricante do medicamento.

O farmacêutico pode ser requisitado para dispensar soluções orais comercialmente preparadas, diluir soluções para o preparo de medicamentos pediátricos a partir de um produto voltado para adultos, elaborar soluções pela reconstituição de uma mistura de pós ou manipular soluções orais a partir de matérias-primas brutas.

Para cada caso, o farmacêutico deverá possuir a expertise sobre o produto dispensado para aconselhar o paciente sobre o uso correto, dose, modo de administração e armazenamento. O conhecimento sobre as características de solubilidade e estabilidade dos fármacos e solventes empregados nos produtos comerciais é útil ao farmacêutico para orientar ao paciente sobre a possibilidade de misturar a solução com suco, leite ou outra bebida antes da administração. A informação sobre os solventes empregados em cada produto comercial deve estar presente no rótulo do produto e na bula.

Xaropes

Os produtos conhecidos como xarope são preparações aquosas concentradas de açúcar ou um substituto, com ou sem adição de fármacos e flavorizantes. Os xaropes que possuem agentes flavorizantes, mas não possuem substâncias medicinais, são denominados de xaropes não medicamentosos ou veículos flavorizados. Estes produtos são aplicados como veículos de sabor agradável para que substâncias ativas sejam incorporadas durante o processamento do medicamento ou no preparo de uma fórmula-padrão de um xarope medicamentoso, que possui um fármaco em sua composição. Por conta da incapacidade de alguns idosos e crianças para engolir formas farmacêuticas sólidas, é usual a solicitação ao farmacêutico o preparo de uma forma líquida oral de um medicamento disponível apenas na forma de comprimidos ou cápsulas. Nesses casos, a solubilidade e biodisponibilidade do fármaco devem ser avaliadas caso a caso (ALLEN, 2013).

As formas líquidas disponíveis para a manipulação podem ser em solução ou uma suspensão, dependendo das características físicas e químicas do fármaco em particular e da forma farmacêutica sólida. Existem veículos comerciais disponíveis para este fim.

Os xaropes medicamentosos comerciais são elaborados a partir de matérias-primas brutas, ou seja, por meio da combinação de cada um dos componentes individuais da formulação, como por exemplo, flavorizantes, água purificada, sacarose, corante, fármaco e outros componentes. Certamente, os xaropes medicamentosos são empregados pelo valor terapêutico da substância ativa presente em sua composição.

Os xaropes são um meio agradável de administrar, na forma líquida, um fármaco com sabor desagradável, sendo um método de grande eficácia no processo de administração para crianças: por conta do sabor agradável do medicamento a relutância é eliminada no processo de tratamento. Outro fator importante no processo de administração dos

xaropes em crianças é pelo fato deste tipo de medicamento conter pouco ou nenhum etanol em sua composição, tornando-se preferidos pelos pais.

Todo tipo de substância ativa solúvel em água, e estável em meio aquoso, pode ser adicionada a um xarope flavorizado. Entretanto, é preciso ter certeza sobre a compatibilidade entre o fármaco e os demais componentes da formulação. Da mesma forma, alguns xaropes flavorizados são ácidos, enquanto outros podem ser inertes ou levemente alcalinos, sendo necessária uma seleção apropriada para assegurar a estabilidade do fármaco adicionado.

Decerto, os fármacos mais frequentemente utilizados na forma de xaropes sejam os antitussígenos e anti-histamínicos. Isso não quer dizer que outros tipos de fármacos não sejam formulados como xaropes; pois existe uma variedade de substâncias medicinais encontradas na forma de xaropes e muitos são produtos comerciais.

Elixires

Os elixires são caracterizados como soluções hidroalcoólicas, transparentes e edulcoradas orientada para o uso oral e, geralmente, flavorizadas para melhorar a palatabilidade. Os elixires não medicamentosos são aplicados como veículos, e os medicamentosos são utilizados pelo efeito terapêutico dos fármacos que contêm. Em comparação aos xaropes, os elixires são menos doces e menos viscosos por conta do menor teor de açúcar, conseqüentemente, são menos eficazes para mascarar o sabor dos fármacos. Entretanto, por conta do seu caráter hidroalcoólico, os elixires são mais indicados para manter em solução os componentes solúveis em álcool e água. Assim, por conta de sua estabilidade e a facilidade de preparo, do ponto de vista da manipulação, os elixires são preferíveis em relação aos xaropes (ALLEN, 2013).

Os componentes individuais dos elixires, normalmente, apresentam características distintas em relação à solubilidade em água e etanol, e dessa maneira, a proporção de etanol utilizada varia amplamente. Cada elixir necessita de uma mistura específica de etanol e água para manter todos os componentes em solução. Seguramente, os elixires que possuem substâncias com baixa solubilidade em água, a proporção de etanol requerida é maior do que para aqueles preparados com componentes que aparentam boa solubilidade aquosa. Outras substâncias, como por exemplo, glicerina e propilenoglicol, são empregadas como solventes auxiliares, além do etanol e água.

Apesar da existência de muitos elixires edulcorados com sacarose ou xarope, alguns possuem sorbitol, glicerina e/ou edulcorantes artificiais. Elixires que possuem alto teor

alcoólico, normalmente, utilizam a adição de adoçantes artificiais, como por exemplo, a sacarina, que são necessários em pequenas quantidades, ao contrário da sacarose, que, além de apresentar baixa solubilidade em etanol, necessita de maiores quantidades para proporcionar o mesmo poder adoçante.

Todos os elixires possuem flavorizantes para melhorar a palatabilidade, e a grande maioria, possui corantes para melhorar a aparência. De modo geral, elixires que possuem mais de 10 a 12% de etanol se autoconservam e não requerem a adição de conservantes.

Os elixires medicamentosos são desenvolvidos de maneira que o paciente receba a dose do fármaco usual para adultos em um volume conveniente à administração. Grande parte dos elixires é ministrada entre uma a duas colheres de chá (5 a 10 mL), atendendo a dose recomendada do fármaco para adultos.

A vantagem da utilização dos elixires em relação às formas sólidas está na flexibilidade e facilidade de administração em pacientes que apresentam dificuldades de engolir, no entanto, a desvantagem deste produto é a presença do etanol em sua composição tornando-o inadequado para crianças e adultos que devem evitar a ingestão de álcool.

Por conta ao conteúdo usual de óleos voláteis e etanol, os elixires devem ser armazenados e recipientes herméticos, resistentes à luz e protegidos do calor excessivo.

Tinturas

Tinturas são caracterizadas como soluções alcoólicas ou hidroalcoólicas preparadas a partir de matérias-primas vegetais ou substâncias químicas. O método de preparo deste produto pode variar de método, concentração do componente ativo, teor alcoólico e uso medicinal. As tinturas que partem de substâncias químicas, como por exemplo, iodo ou tómersal, elas são preparadas por dissolução simples do composto no solvente (ALLEN, 2013).

Conforme o preparo da tintura, a porcentagem de etanol pode variar de 15 a 80%; a importância do etanol na composição está na preservação do produto em relação à proliferação de microrganismos, além da manutenção dos extrativos pouco solúveis em água em solução.

Outros solventes podem ser empregados no preparo de tinturas, como por exemplo, a glicerina. A mistura de cada tintura é importante para manter a integridade do produto.

As tinturas não podem ser misturadas com líquidos com características muito diferentes (solventes), pois pode provocar a precipitação do soluto. Por exemplo, a tintura de benjoim, elaborada em etanol como veículo principal, possui princípios ativos solúveis em etanol que precipitam imediatamente com a adição de água.

Por conta de seu teor alcoólico, as tinturas devem ser conservadas em frascos bem fechados e não devem ser expostas a temperaturas excessivas. Da mesma forma, visto que muitos dos componentes encontrados nas tinturas sofrem alterações fotoquímicas, elas devem ser armazenadas em recipientes resistentes à luz e protegidas da luz solar.

Entre as tinturas medicamentosas administradas por via oral encontra-se o Elixir Paregórico, ou tintura canforada de ópio. Normalmente, os pacientes que necessitam de medicamento oral preferem utilizar um comprimido, cápsula, um elixir ou xarope de sabor agradável. As tinturas apresentam alto teor alcoólico, e alguns médicos e pacientes preferem outras formas farmacêuticas. A Tintura de Ópio, ou láudano, é muito mais potente do que o elixir paregórico, e os dois não devem ser confundidos. As prescrições para qualquer um deles devem ser muito bem avaliadas, e a dose deve ser verificada e confirmada.

Soluções tópicas e tinturas

Soluções tópicas, em geral empregam um veículo aquoso, enquanto as tinturas empregam o veículo alcoólico. Em alguns casos, são empregados solventes e adjuvantes para melhorar a solubilidade de estabilidade do soluto empregado na formulação. No entanto, algumas soluções são desenvolvidas por meio de reações químicas (ALLEN, 2013).

As tinturas de uso tópico, a tintura de benjoim é preparada por meio da maceração dos componentes naturais no solvente, enquanto outras tinturas deste tipo são preparadas por dissolução simples.

Por conta da natureza da substância ativa ou dos solventes, muitas soluções e tinturas tópicas se autoconservam, e dessa maneira, o uso de conservantes no preparo pode ser dispensado.

O condicionamento de tinturas tópicas deve ser em recipientes que facilitem seu uso. Elas são utilizadas em volumes pequenos, como por exemplo, os recipientes de agentes anti-infecciosos, e por este motivo, são acondicionados em frascos de plástico ou vidro com um aplicador ou conta-gotas. Muitas dessas soluções e tinturas anti-infecciosas apresentam um corante para delimitar a área de aplicação na pele. Diferentemente das soluções aquosas, quando uma tintura alcoólica é aplicada sobre a pele irritada ou machucada, ela produz ardência.

Sprays

Os *sprays* consistem em soluções aquosas ou oleaginosas que se apresentam na forma de gotículas grosseiras ou como partículas sólidas finamente divididas para aplicação tópica, sendo em sua grande maioria, aplicada no trato nasofaríngeo ou na pele (ALLEN, 2013).

Muitos *sprays* são usados em vias nasais para aliviar quadros de congestão, inflamações e inflamações; em geral, os *sprays* possuem compostos anti-histamínicos, simpatomiméticos e antibióticos. Por conta de sua natureza não invasiva e a rapidez com que o medicamento é liberado, no futuro, muitos fármacos, que atualmente são administrados por outras vias, poderão ser administrados pela via nasal. Especialmente, a insulina e o glucagon serão administrados por esta maneira. Algumas pesquisas apresentaram resultados positivos na administração do glucagon na forma de *spray* nasal, aliviando os sintomas da hipoglicemia em sete minutos, apresentando vantagens em relação à aplicação convencional de glicose.

Outros *sprays* voltados para aplicação de queimaduras do sol e/ou fogo possuem em sua composição anestésicos locais, antissépticos, protetores e antipruriginosos. Os *sprays* para garganta contendo antissépticos, desodorantes e flavorizantes são empregados para melhorar as condições de halitose, dor de garganta e laringite. Existem *sprays* que tratam pé de atleta e outras infecções fúngicas. Vários outros tipos de *sprays* de uso medicinal e cosmético encontram-se disponíveis nas farmácias.

Para a transformação de uma solução em pequenas partículas de forma que ela possa ser aspergida ou para facilitar a pulverização de pós, são empregados vários dispositivos mecânicos.

O frasco de plástico, que é pressionado para emitir um *spray*, é o mais conhecido, sendo utilizado também na administração de descongestionantes nasais e também de produtos cosméticos, como por exemplo, desodorantes. Recentemente, *sprays*

dosificadores de uma única dose foram desenvolvidos para liberar o medicamento do nariz.

A vantagem da utilização de *sprays* frente aos produtos convencionais é que seu design previne a contaminação do frasco com fluidos nasais após a administração: esta característica é vantajosa nos casos de virose associada ao resfriado. Os farmacêuticos estão familiarizados com atomizadores que emitem o medicamento na forma de pequenas gotículas.

Suspensões

Suspensões são caracterizadas como preparações que possuem partículas de fármaco divididas finamente (fase interna), distribuídas de maneira uniforme em um veículo em que o fármaco apresente alguma solubilidade (ALLEN, 2013).

Algumas suspensões encontram-se prontas para uso, ou seja, as partículas já se encontram dispersas apropriadamente em um veículo líquido, contendo ou não, estabilizantes e outros adjuvantes farmacêuticos. Existe também outras preparações na forma de pós destinados à suspensão em veículos líquidos, que são misturas de pós contendo o fármaco e agentes suspensores, que devem ser diluídos e agitados em quantidades específicas do veículo, que normalmente é a água purificada.

Fármacos instáveis, como por exemplo, os antibióticos, apresentam-se em muitos casos, como pó para reconstituição por meio de um veículo aquoso, no instante da aplicação. Preparações desta natureza são designadas na *United States Pharmacopeia* (USP) como “para suspensão oral”. Suspensões que não requerem reconstituição no momento da administração são simplesmente designadas como “suspensão oral”.

Razões para o uso de suspensões

Existem vários motivos para elaboração de suspensões, sendo que uma delas está no fato de que determinadas substâncias são quimicamente instáveis em solução, mas estáveis em suspensão. Dessa maneira, a suspensão proporciona estabilidade química, enquanto permite a administração de uma forma farmacêutica líquida.

Muitos pacientes dão preferência à forma líquida no lugar da forma sólida devido a maior facilidade de deglutição e flexibilidade da administração de diferentes doses. Isso é particularmente vantajoso para lactentes, crianças e idosos. Outro ponto importante que pode ser destacado é a desvantagem em relação ao sabor desagradável

de fármacos em solução que pode ser contornada quando eles são administrados na forma de partículas não dissolvidas de uma suspensão oral. Verdadeiramente, alguns fármacos que apresentam sabor desagradável têm sofrido modificações químicas para proporcionar formas insolúveis no veículo desejado com o único propósito de preparar um líquido com paladar mais agradável. Por exemplo, o estolato de eritromicina, éster de eritromicina insolúvel em água, foi desenvolvido com o intuito de preparar uma forma farmacêutica líquida palatável desse fármaco, resultando na suspensão oral de estolato de eritromicina.

A utilização de formas insolúveis de fármacos em suspensões reduz significativamente a dificuldade de mascarar sabores no desenvolvimento farmacotécnico, e a escolha dos flavorizantes a serem usados em determinada suspensão pode ser baseada nas preferências de sabor, e não em sua capacidade de mascarar sabores desagradáveis. Em muitos casos, as suspensões orais são aquosas e o veículo é flavorizado e edulcorado, buscando satisfazer as preferências de sabor do paciente.

TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE FORMAS FARMACÊUTICAS ESTÉREIS

UNIDADE IV

CAPÍTULO 1

Injetáveis

Aspectos gerais

Os produtos injetáveis são preparações estéreis, livres de pirogênicos, ou seja, não apresentam em sua composição unidades de endotoxina bacteriana. A expressão parenteral está relacionada às vias de administração injetáveis, derivada das palavras gregas *para* (fora) e *enteron* (intestino) que remete vias de administração diferente da oral. *Pirogênios* ou endotoxinas bacterianas são produtos metabólitos orgânicos de origem de bactérias Gram-positivas, que podem provocar febre e hipotensão em pacientes que recebem quantidades superiores nas preparações intravenosas (ALLEN, 2013).

Normalmente, as vias parenterais são aplicadas quando existe a necessidade da rápida ação do medicamento, como nos casos de emergência, nos casos em que o paciente não colabora com o tratamento, quando o paciente está inconsciente, impossibilitado de aceitar ou tolerar medicamentos por via oral ou nos casos em que o medicamento não apresenta eficácia por outras vias. Com exceção à insulina, que são autoadministrados por pacientes diabéticos, grande parte dos injetáveis é administrada por profissionais experientes, como médicos, assistentes ou enfermeiros. Dessa maneira, as injeções são aplicadas, principalmente, em hospitais, unidades de saúde, clínicas e, em alguns casos, em casa. Possivelmente, o primeiro medicamento injetável oficialmente reconhecido foi a solução hipodérmica de morfina, em 1874 no adendo da *British Pharmacopeia* (BP).

Vias de administração

Os medicamentos injetáveis podem ser administrados em quase todos os órgãos ou áreas do corpo (ALLEN, 2013):

- » Articulações (intra-articular).
- » Zonas que possuem líquidos nas articulações (intrassinovial).
- » A coluna vertebral (intraespinal).
- » Fluido espinal (intratecal).
- » Artérias (intra-arterial).
- » Em casos especiais, no coração (intracardíaca).

No entanto, grande parte das injeções é aplicada nas veias (intravenosa, IV), nos músculos (intramuscular, IM), na pele (intradérmica, ID, intracutânea) ou sob a pele (subcutânea, SC, sub-Q, SQ, hipodérmica).

Via intravenosa

O surgimento científico deste tipo de medicamento ocorreu em 1656, nos trabalhos de Sir Christopher Wren, que era o arquiteto da Catedral de St. Paul e fisiologista amador. Em seus estudos, Sir Christopher utilizou uma bexiga e uma caneta de pena como seringa e agulha, injetou vinho, cerveja, ópio e outras substâncias nas veias de cachorros e estudou seus efeitos. A utilização de IVs em humanos ocorreu em 1662, por Johann Daniel Major, de Kiel, mas foi abandonado por um período por conta de casos de trombose e embolia em pacientes que receberam este tipo de tratamento. Com a invenção da seringa hipodérmica, no século XIX, o interesse pela técnica de IVs foi renovado tornando comum a administração de soluções de cloreto de sódio e glicose algo comum.

Nos dias de hoje, a administração de IV de medicamentos é algo rotineiro nos hospitais, apensar do reconhecimento dos perigos associados a essa prática. Os quadros de trombo e êmbolos podem ser induzidos por cateteres e agulhas de IVs e por conta da presença de material particulado nas soluções parenterais torna-se motivo de preocupação.

Os medicamentos IVs possuem rápida resposta em comparação às outras vias de administração, e pelo fato da rápida absorção do fármaco não ser um problema, concentrações sanguíneas ótimas podem ser obtidas com exatidão e imediatismo

impossíveis de se obter por outras vias. Um ponto negativo deste tipo de medicamento é que, uma vez que o medicamento é administrado pela IV, este não poderá ser recuperado, e nos casos de reações adversas, não será possível realizar a remoção do medicamento facilmente da circulação. Dessa maneira, a utilização de medicamentos IV deve ser com cautela para prevenir a superdosagem e subdosagem. A classe dos betabloqueadores, como o metoprolol, é um exemplo perfeito da grande diferença existente entre a dose IV (três injeções em *bolus* de 5 mg a cada dois minutos) e a dose oral (100 mg/dia).

Apesar da maioria das veias superficiais serem aptas para a venipunção, as veias basílicas e cefálicas do dorso da mão e do dorso do antebraço são as preferidas para aplicação de injeção de IV. A veia antecubital não é a mais utilizada para injeções IV, pelo fato de ser um ponto de grande inflexão com elevado risco de extravasamento. Grande parte dos médicos insere a agulha com o bisei voltado para cima, com ângulo o mais agudo possível em relação à veia, para garantir que o líquido injetável possua o mesmo sentido do fluxo sanguíneo.

O processo de assepsia deve ser extremamente rígido para evitar o risco de infecção, e esta atenção vale não somente para soluções injetáveis que devem ser estéreis, mas as seringas e as agulhas utilizadas também devem ser estéreis. O ponto de entrada do medicamento também deve ser desinfetado para reduzir as possibilidades de transporte de bactérias da pele para o sangue pela agulha. Antes da injeção, o profissional deve puxar o êmbolo da seringa ou pressionar um bulbo especial encontrado em muitos conjuntos IVs para ter certeza que a agulha está bem inserida. O refluxo sanguíneo indica a colocação correta no interior da veia.

As soluções de grande e pequeno volume podem ser administradas por via IV, sendo comum em hospitais a utilização de recipientes de 1.000 mL de soluções para infusão de IV. Essas soluções apresentam em sua composição substâncias como nutrientes, expansores do volume plasmático, eletrólitos, aminoácidos e outros agentes terapêuticos que são administrados por meio de agulhas ou cateteres, por infusão contínua. O principal risco da infusão de IV é a ocorrência de trombos induzidas pelo toque da agulha (ou do cateter) na parede da veia. O aparecimento de trombos é mais provável nos casos em que a solução de infusão é irritante para os tecidos biológicos. O trombo caracteriza-se por ser um coágulo sanguíneo originado no interior do vaso (ou do coração) a partir da redução da circulação, alteração do sangue ou parede do vaso. Quando o coágulo passa a circular, transforma-se em um êmbolo, sendo conduzido pelo fluxo sanguíneo até se acomodar em um vaso sanguíneo, obstruindo-o e gerando

a oclusão, conhecida como embolia. Este tipo de obstrução representa um grande risco ao paciente, dependendo do local e da gravidade da obstrução.

Medicamentos de via IV apresentam, geralmente, na forma de soluções aquosas que deverão se misturar com a circulação sanguínea e não deverão sofrer o processo de precipitação, pois caso ocorra este processo, poderá ocorrer a oclusão dos microcapilares pulmonares e o bloqueio do fluxo sanguíneo. Algumas soluções lipídicas IVs têm sido aceitas para o uso como fonte de calorias e ácidos graxos essenciais para pacientes que necessitam de nutrição parenteral por longos períodos (acima de cinco dias). Estes produtos contêm até 30% de óleo de soja emulsificado com fosfolípídeos da gema do ovo, em veículo de glicerina em água para injeção.

Certamente, a via IV é utilizada nos processos de transfusão sanguínea e também para a retirada de sangue de pacientes para análise de diagnóstico e doação.

Nos meados dos anos 1990, tornaram-se comercialmente disponíveis os sistemas automatizados de liberação IV para autoadministração intermitente de analgésicos. Do inglês, *Patient-controlled Analgesia* (PCA), a analgesia controlada pelo paciente, tem sido empregada para controlar a dor associada a vários procedimentos cirúrgicos, trabalho de parto, anemia falciforme e câncer; os pacientes que possuem dores malignas crônicas, a PCA permite maior grau de ambulação e independência.

Um típico PCA é composto por uma seringa ou câmara que possui o analgésico e uma unidade eletromecânica programável, sendo possível, compactá-lo para ser usado em um cinto ou carregado no bolso e o controle da liberação do medicamento ocorre pelo avanço e um pistão que pode ser acionado quando o paciente pressiona um botão. O medicamento é disposto por um profissional da saúde ou disponibilizado na forma de cartucho pré-carregado pelo fabricante. Os dispositivos liberam injeções IVs em *bolus* para produzir analgesia rápida, em adição à infusão mais lenta, que liberar concentrações constantes para o controle sustentado da dor.

As vantagens de utilizar a PCA são:

- » proporciona analgesia constante e uniformemente;
- » previne possíveis diferenças farmacocinéticas e farmacodinâmicas entre pacientes;
- » possibilita ao paciente a automedicação para alívio de dor;

- » minimiza efeitos colaterais, diminuindo as variações entre o alívio da dor subótima e o uso excessivo de opioides;
- » Podem ser usados na administração de IV, SC ou peridural.

Independente da natureza do dispositivo, o médico ou enfermeiro estabelece a dose de carga, a velocidade de infusão, a dose por demanda, o intervalo de bloqueio e a dosagem máxima ao longo de um intervalo específico.

Via intramuscular

As injeções IMs de medicamentos promovem efeitos mais rápidos e mais duradouros em relação aos medicamentos por administração IV. As soluções aquosas, oleosas ou suspensões de substâncias ativas podem ser administradas pela via IM, e conforme o tipo de preparo, a velocidade de absorção pode variar. Os fármacos que se encontram em solução são de rápida absorção em comparação aos que se encontra em suspensão ou são de preparo oleoso.

As IMs são aplicadas nos músculos esqueléticos, sendo importante que o ponto da injeção se encontre o mais distante possível dos principais nervos e vasos sanguíneos, pois os danos provenientes por injeção IM estão relacionados com o ponto no qual a agulha entrou e onde o medicamento foi depositado. As lesões podem ser: paralisia resultante de lesão neurológica, abscessos, cistos, embolia, hematoma, necrose da pele e formação de cicatriz.

Em adultos, o quadrante externo superior do músculo glúteo máximo é o local mais usado para injeção IMs e, em bebês, como a área glútea é pequena e composta por, principalmente, por gordura e não por músculo, o que pode danificar o nervo isquiático, a injeção IM é aplicada, preferencialmente, no músculo deltoide do braço e nos músculos mediais da coxa. A aplicação da injeção no músculo deltoide, tanto na parte superior ou inferior, estará distante do nervo radial. O deltoide pode ser usado em adultos, no entanto, a dor é mais evidente do que na área glútea. O terapeuta deverá aspirar ligeiramente a seringa, após a inserção da agulha para observar se há entrada de sangue, garantindo que nenhum vaso sanguíneo foi atingindo. O volume de medicamento ministrado pela via de IM é no máximo de 5 mL na região glútea e de 2 mL no músculo deltoide do braço.

A aplicação de injeções com a técnica da trajetória em Z é indicada para medicamentos que mancham o tecido superficial, como por exemplo, a ferrodextrana, ou que podem irritar os tecidos, como o diazepam, limitando esses medicamentos ao músculo

inferior. Por conta desta característica, a ferrodextrana deve ser administrada, somente, na massa muscular do quadrante superior externo na nádega. A pele é movida lateralmente antes da injeção, a agulha é inserida, a seringa é aspirada, e a injeção é aplicada lenta e suavemente. A agulha é então retirada, e a pele, solta. Isso cria um padrão em Z que bloqueia a infiltração do medicamento no tecido subcutâneo.

A injeção deve ser feita a uma profundidade de 5 a 7,5 cm, com agulhas de calibre 20 a 22. Para evitar qualquer mancha do tecido superficial, a agulha utilizada para retirar a ferrodextrana da ampola é substituída por outra para aplicar a injeção.

Via subcutânea

Injeções pela via SC são mais utilizadas pra injeções de pequenas quantidades de medicamento, sendo aplicada na superfície da pele (tecidos intersticiais frouxos) da parte superior do braço, da coxa anterior ou no abdômen inferior. O local da injeção deverá ser variado nos casos em que paciente necessite de aplicação diária, como é o caso de dependentes de injeções diárias de insulina.

O local da aplicação deverá ser previamente limpo para evitar qualquer tipo de contaminação, a quantidade de medicamento (volume máximo) é de 1,3 mL, pois volumes superiores de 2 mL produzem pressão dolorosa ao paciente. As seringas com capacidade de até 3 mL e agulhas com calibre de 24 a 26 e com cânulas que variam de 0,95 a 2,5 cm de comprimentos são utilizadas para injeções SC. Normalmente, as agulhas de administração de insulina possuem calibre de 25 a 30 e comprimento de 0,8 a 1,5 cm. Nos casos em que, após a inserção, aparecer sangue na seringa, é preciso selecionar outra região para aplicação. Os medicamentos irritantes ou em forma de suspensão espessa podem produzir endurecimento, necrose ou abscesso e causar dor no paciente. Tais preparações não devem ser utilizadas para injeção SC.

Via intradérmica

Muitas substâncias podem ser injetadas no cório, a camada mais vascularizada da pele, situada logo abaixo da epiderme, incluindo agentes para diagnóstico, dessensibilização ou imunização. O local habitual para injeção intradérmica é a face anterior do antebraço, com o emprego de uma agulha curta (0,95 cm) e de calibre fino (23 a 26). A agulha é inserida horizontalmente na pele com o bisei voltado para cima. A injeção é feita quando o bisel desaparece no cório. Em geral, somente 0,1 mL pode ser administrado dessa maneira.

Acesso especializado

Nos casos em que existe a necessidade de administrar repetidas injeções ao longo do tempo, é importante empregar um dispositivo que permita acesso contínuo e reduza a dor associada à administração.

Vários tipos de cateteres venosos centrais são empregados em instituições e em pacientes externos para uma ampla variedade de medicamentos parenterais (ex.: quimioterapia do câncer, antibioticoterapia de longa duração, soluções de nutrição parenteral). Os cateteres venosos centrais podem permanecer no local durante alguns dias até vários meses. Quando não estão em uso, necessitam de heparinização para manter desobstruído o lúmen do cateter.

O emprego de cateteres ou sondas plásticos diminui a necessidade de múltiplas punções durante a terapia IV. Este material é composto por cloreto de polivinila (PVC), teflon e polietileno, devem ser radiopacos para garantir que sejam visíveis em radiografias. Normalmente, os cateteres devem ser retirados dentro de 48 horas após a inserção. A escolha do cateter depende de vários fatores, incluindo extensão do tempo de infusão, propósito, condição e disponibilidade das veias. Existem três tipos de cateteres:

- » cateter simples plástico;
- » cateter sobre a agulha;
- » fora da agulha e cateter dentro da agulha.

As portas de injeção dos cateteres venosos centrais do tipo Broviac e Hickman não são implantadas subdermicamente; elas são empregadas externamente na altura do abdome após o cateter ter sido inserido sob o abdome e o peito para atingir a veia cava superior. Apresenta risco de morbidade, incluindo quebra do cateter, infecção no local de entrada e sepse. Produzidas para controlar as complicações associadas ao uso de cateteres, são voltadas a prover acesso repetido ao local de infusão. O cateter pode ser colocado em veia, cavidade, artéria ou no Sistema Nervoso Central (SNC). A agulha Huber é usada para injetar através da pele, para dentro de um septo de borracha que faz parte de dispositivo de acesso à veia central e deve ser totalmente implantado.

Tipos oficiais de injetáveis

Segundo a *United States Pharmacopeia* (USP), a classe dos injetáveis pode ser dividida em cinco tipos gerais, podendo conter tampões, conservantes ou outros adjuvantes (ALLEN, 2013):

- » Injeções: preparos líquidos constituídos por soluções do fármaco.
- » Para injeção: pós que são adicionados a veículos adequados originam soluções que se encontram em conformidade com as exigências referentes aos injetáveis.
- » Emulsão injetável: preparação líquida do fármaco dissolvido ou dispersado em um sistema emulsionado adequado.
- » Suspensão injetável: preparação líquida de sólidos suspensos em um líquido adequado.
- » Para suspensão injetável: pós que são adicionados a veículos adequados produzem suspensões que estão em conformidade com as exigências referentes às suspensões injetáveis.

O preparo do medicamento, de uso parenteral, depende diretamente da natureza do fármaco, em relação às suas características físicas e químicas, e também de considerações terapêuticas. Normalmente, se o fármaco for instável em solução, pode ser preparado como um pó seco destinado à reconstituição com o solvente propício no momento da administração, ou na forma de suspensão. Caso o fármaco seja instável em água, o solvente poderá ser substituído em parcialmente ou totalmente por outro, no qual o fármaco seja insolúvel; se for insolúvel em água, poderá ser preparado em suspensão aquosa ou de solução em um solvente não aquoso, como por exemplo, óleo vegetal.

Sempre que necessário preparar uma solução aquosa, um sal do fármaco solúvel em água será frequentemente obtido. As soluções aquosas ou miscíveis com o sangue podem ser injetadas diretamente na corrente sanguínea; já os líquidos não miscíveis em sangue, como por exemplo, as injeções oleaginosas e suspensões podem provocar a interrupção do fluxo sanguíneo normal podendo restringir outras vias de administração que não a IV.

O início da ação do fármaco e sua duração pode ser controlada por sua forma química, estado químico, estado físico da preparação e pelo tipo de veículo empregado. Fármacos com baixa ou nenhuma solubilidade em líquidos corporais normalmente

apresentam absorção e início de ação mais rápida em relação às suspensões oleosas, por conta da maior miscibilidade da preparação e ao contato mais rápido das partículas com os fluidos biológicos após a administração. Em muitos casos, a ação prolongada é necessária para diminuir a frequência das injeções, sendo conhecido como preparações depósito ou *depot*.

As soluções e as suspensões de fármacos para injeções são preparadas da mesma maneira que as soluções e dispersões, mas diferindo nos seguintes pontos:

- » Solventes ou veículos devem apresentar os padrões especiais de pureza e outros que garantam sua segurança após a injeção.
- » Os adjuvantes, como tampões, estabilizantes e conservantes, devem atender às recomendações específicas de uso e são restritos a alguns produtos parenterais. O uso de corantes é estritamente proibido.
- » Produtos parenterais são sempre esterilizados, devem apresentar os padrões de esterilidade e não possuir pirogênios.
- » Soluções parenterais devem atender às exigências farmacopeias referentes aos materiais particulados.
- » Produtos parenterais são preparados em áreas ambientalmente controladas, sob padrões sanitários rígidos e por pessoal treinado e paramentado de forma a manter esses padrões.
- » Produtos parenterais devem ser acondicionados em recipientes herméticos especiais de alta qualidade e características específicas. Procedimentos especiais de controle de qualidade são utilizados para assegurar vedação hermética e esterilidade.
- » Cada recipiente é preenchido com um volume ligeiramente superior daquele indicado no rótulo. Esse excesso permite a fácil retirada e a administração do volume indicado no rótulo.
- » O volume de injeção permitido em recipientes de múltiplas doses é restrito, assim como o tipo de recipiente (dose unitária ou doses múltiplas) que podem ser utilizados para certas injeções.
- » Regulamentos específicos referentes aos rótulos e bulas das preparações injetáveis devem ser aplicados.

- » Pós estéreis destinados à preparação de soluções ou suspensões imediatamente antes da aplicação são frequentemente acondicionados como pós liofilizados para facilitar seu preparo pela adição de um solvente ou veículo.

CAPÍTULO 2

Solventes e veículos para os injetáveis

Veículos aquosos

O solvente com maior aplicação no preparo de injetáveis, em grande escala, é a água para injeção. Essa água passa por um processo de purificação por destilação ou por osmose reversa, devendo satisfazer os mesmos padrões quanto à presença de sólidos totais da água purificada USP: não mais do que 1 mg/ 100 mL de água para injeção. Apesar da água para injeção não ser, necessariamente, estéril ela deve ser isenta de pirogênios (posteriormente, a água para este fim será esterilizada). O acondicionamento da água para injeção deve ser em recipientes hermeticamente vedados e armazenados em temperaturas abaixo ou acima da faixa em que ocorre a proliferação microbiana (ALLEN, 2013).

A água para injeção deve ser utilizada até 24 horas após a sua coleta, que deverá ser acondicionada em recipientes estéreis e livres de pirogênios, constituídos de vidro ou vitrificados, de única dose com máximo de volume de 1 L. Da mesma maneira, que a água para injeção, ela deve ser isenta de pirogênios, podendo apresentar um nível permitido de endotoxinas de até 0,25 unidades USP por mililitro; também não deve apresentar substâncias antimicrobianas ou outros adjuvantes. Esta água pode conter total um pouco maior do que a água para injeção devido à lixiviação dos sólidos nos tanques revestidos com vidro durante a etapa de esterilização. O solvente, veículo ou diluente esterilizado e devidamente acondicionado é utilizado no preparo dos medicamentos. O conteúdo de frascos de 1L não poderá ser administrado por via IV, pois não possui caráter de isotônico e assim, são utilizados na reconstituição de muitos antibióticos.

A água bacteriostática para injeção é a água estéril para injeção que apresenta um ou mais agentes microbianos, sendo acondicionada em seringas ou frascos com máximo de 30 mL. O rótulo deve apresentar o nome e a proporção dos agentes antimicrobianos. Este tipo de água é destinado no preparo de injetáveis de pequeno volume, e teoricamente, por conta da presença do agente bacteriostático permite a utilização de frascos de múltiplas doses e de pequeno volume. A sua aplicação em grandes volumes é restrita pela presença excessiva e, talvez, toxicidade dessas substâncias. De modo geral, nos casos em que seja necessário volume superior a 5 mL de solvente, a água bacteriostática dará lugar à água estéril, pois para empregar a água bacteriostática para injeção, é preciso considerar a compatibilidade dos agentes bacteriostáticos com o fármaco presente. É importante ressaltar que no rótulo deverá apresentar a declaração NÃO USAR EM NEONATOS, pois

foram relatados problemas com recém-nascidos e à toxicidade do agente bacteriostático, em decorrência do ácido benzílico. Este tipo de problema não foi relatado em crianças maiores e em adultos.

A injeção de cloreto de sódio é uma solução isotônica estéril de cloreto de sódio em água para injeção isenta de agentes antimicrobianos, mas possuindo em sua composição íons de sódio e cloreto na concentração aproximada de 154 mEq por litro. Esta solução pode ser aplicada como veículo estéril no preparo de soluções ou suspensões de fármacos para administração parenteral. Em geral, esta solução também é utilizada na lavagem de cateteres ou linhas de IVs para mantê-los desobstruídos.

A injeção de cloreto de sódio bacteriostática caracteriza-se por ser uma solução isotônica estéril de cloreto de sódio em água para injeção. Possui um ou mais agentes antimicrobianos adequados que devem ser especificados no rótulo. O cloreto de sódio a 0,9% a torna isotônica, e por conta das razões especificadas anteriormente, essa solução não pode se acondicionada em recipientes com capacidade superior a 30 mL. Para o emprego desta solução, é preciso atentar-se em relação à compatibilidade do fármaco com o conservante, assim como o cloreto de sódio.

A injeção de cloreto de sódio bacteriostática é empregada na limpeza de cateteres ou linhas de IVs, e quando utilizada em pequenos volumes para manter as linhas desobstruídas ou para reconstituir medicamentosa quantidade de álcool benzílico é desprezível e segura. Entretanto, para pacientes neonatos, principalmente crianças prematuras com baixo peso, o acúmulo de ácido benzoico e álcool benzoico não metabolizado por ocorrer por conta da imaturidade hepática e assim, para este tipo de solução é necessário apresentar a advertência NÃO UTILIZAR EM NEONATOS no rótulo.

A *Injeção de Ringer* é uma solução estéril que apresenta em sua composição cloreto de sódio, cloreto de potássio e cloreto de cálcio em água para injeção. As três substâncias estão presentes em concentrações semelhantes aos fluidos fisiológicos. A solução de *Ringer* é empregada como veículo para outros medicamentos, ou, isolada, como repositória de eletrólitos e expansora do volume plasmático.

A *Solução de Ringer Lactato* apresenta quantidades diferentes dos três sais da injeção de *Ringer*, apresentando, ainda, lactato de sódio. É utilizada na reposição de fluido e eletrólitos e como alcalinizante sistêmico.

UNIDADE IV TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE FORMAS FARMACÊUTICAS ESTÉREIS

Veículos não aquosos

Quando alguns fatores, como por exemplo, físicos ou químicos limitam o uso de um veículo aquoso, o farmacêutico deve utilizar um ou mais veículos não aquosos. A seleção deste veículo deve levar em consideração questões como possíveis irritabilidades, sensibilidade e toxicidades nas quantidades administradas. Assim como a água, o solvente não aquoso não deverá apresentar atividade farmacológica própria, nem afetar adversamente a atividade do fármaco, ademais, as propriedades físicas e químicas do veículo ou solvente devem ser consideradas, avaliadas e determinadas em relação a sua aceitabilidade (ALLEN, 2013):

Os aspectos que devem ser considerados na utilização deste tipo de veículo são:

- » estabilidade física e química em diferentes faixas de pH;
- » viscosidade;
- » fluidez;
- » ponto de ebulição;
- » miscibilidade;
- » baixa pressão de vapor;
- » pureza;
- » facilidade para purificação;
- » padronização.

Todo tipo de solvente pode apresentar algum tipo de limitação, assim, a avaliação e a comparação das vantagens e desvantagens de cada um dos solventes permite definir qual tipo é o mais adequado para determinada preparação. Da classe dos solventes não aquosos empregados em produtos parenterais são: óleos vegetais fixos, glicerina, polietilenoglicóis, propilenoglicol, etanol e os menos empregados, como, oleato de etila, miristato de isopropila e demetilacetamida.

A USP apresenta restrições em relação aos óleos vegetais fixos que podem ser empregados em produtos parenterais. Primeiramente, eles devem permanecer límpidos quando resfriados a 10 °C garantindo a estabilidade e a limpidez do produto injetável armazenado sob refrigeração. Esses óleos não devem apresentar em sua composição óleo mineral ou parafina, pois não são absorvidos pelos tecidos corporais.

A fluidez de um óleo vegetal está relacionada à proporção entre ácidos graxos insaturados, como o ácido oleico, e ácidos saturados, como o ácido esteárico.

Os óleos empregados na produção de injetáveis devem atender às exigências oficialmente estabelecidas em relação aos índices de iodo e saponificação, apesar da toxicidade dos óleos vegetais serem relativamente baixa. Dessa maneira, ao empregar óleos em produtos parenterais, o rótulo deve apresentar o nome de qual óleo foi usado. Os óleos vegetais fixos mais usados em injetáveis são o de milho, semente de algodão, amendoim e gergelim; os óleos de rícino e oliva também são utilizados em alguns casos. Por meio do emprego seletivo de um solvente ou veículo, o farmacêutico pode preparar soluções ou suspensões injetáveis de um fármaco em veículos aquosos ou não aquosos. De modo geral, as injeções oleosas são administradas por via IM e não devem ser administradas por via IV, por conta da possibilidade de obstrução da microcirculação pulmonar.

Adição de adjuvantes

Segundo a USP, é permitido realizar a adição de substâncias às preparações oficiais para injeção para aumentar a estabilidade ou adequabilidade, desde que seja garantida a sua legalidade pelas monografias individuais, sejam inofensivas nas quantidades administradas e não influenciem na eficácia terapêutica da preparação ou em análises e testes específicos. Além disso, a USP exige a adição de uma ou mais substâncias adequadas aos produtos parenterais, que devem ser acondicionados em recipientes de múltiplas doses visando impedir a proliferação de microrganismos, independentemente do método de esterilização empregado (ALLEN, 2013).

Os adjuvantes são empregados em concentrações que impedem o crescimento ou que matem os possíveis microrganismos presentes na preparação. Devido à toxicidade dos conservantes habituais, quando administrados em grandes quantidades, ou provocarem quadros de irritabilidade, quando fornecidos por via parenteral, a seleção destes deve ser criteriosa. Os limites indicados devem ser seguidos nos produtos parenterais, para os seguintes conservantes, exceto em orientações contrárias: substâncias que contêm mercúrio e compostos tensoativos catiônicos, 0,01 %; substâncias como clorobutanol, cresol e fenol, 0,5%; dióxido de enxofre como antioxidante ou para uma quantidade equivalente de sulfito, bissulfito ou metabissulfito de potássio ou sódio, 0,2%.

Além do efeito estabilizante dos aditivos, o ar no interior de um produto injetável é substituído por um gás inerte, como o nitrogênio, para aumentar sua estabilidade, impedindo a reação química entre o oxigênio e o fármaco.

Métodos de esterilização

A esterilização, neste processo, tem como objetivo destruir todos os organismos vivos e seus esporos ou sua remoção total da preparação. Existem cinco tipos de métodos de esterilização voltados para produtos farmacêuticos (ALLEN, 2013):

- » esterilização por vapor;
- » esterilização por calor seco;
- » esterilização por filtração;
- » esterilização por gás;
- » esterilização por radiação ionizante.

O método é selecionado, normalmente, pela natureza da preparação e de seus ingredientes, no entanto, independentemente do método usado, o produto resultante deve passar por uma avaliação de esterilidade, para comprovar da eficácia do processo de esterilização, desempenho do equipamento e do pessoal.

Outros produtos injetáveis: pellets ou implantes

Tradicionalmente, os *pellets* ou implantes eram objetos sólidos estéreis, pequenos, em geral de forma cilíndrica, com cerca de 3,2 mm de diâmetro e 8 mm de comprimento, desenvolvidos por compressão e voltados para atuar como implantes por via SC, por meio da liberação contínua do fármaco por um período prolongado (ALLEN, 2013).

Os implantes, que são inseridos sob a pele (na coxa ou no abdome) com um injetor especial ou por meio de incisão cirúrgica, são empregados na administração de hormônios potentes. Os implantes caracterizam-se como um meio econômico de obter efeitos prolongados suprimindo a necessidade de terapia hormonal oral ou parenteral frequente.

O implante, que pode conter até cem vezes a quantidade de fármaco, administrado por outras vias, libera o medicamento lentamente na circulação sistêmica. Os implantes são formulados sem aglutinantes, diluentes ou excipientes, para permitir a total dissolução e absorção a partir do local da implantação.

CAPÍTULO 1

Avaliação estatística

Aspectos gerais

A validação analítica tem como finalidade proporcionar evidências documentais em relação à adequabilidade do método para o uso pretendido. Assim, é necessário realizar testes de alguns parâmetros do método analítico, conforme as normas estabelecidas na Resolução (RDC nº 166/2017) (ANVISA, 2017).

Após os testes dos parâmetros, com seus respectivos resultados, é de extrema importância realizar uma avaliação rigorosa para obter uma conclusão correta a partir dos resultados obtidos. Dependendo do tipo de parâmetro, esta avaliação exige uma análise estatística.

Os modelos estatísticos derivam de pressupostos que devem ser investigados antes de sua utilização, caso esta investigação não seja executada ou não completa, os resultados obtidos pelos modelos estatísticos podem não ser confiáveis.

Avaliação estatística na linearidade

Considerações iniciais

A partir da definição no art. 23 da Resolução nº 166/2017, linearidade é caracterizada como um método que proporciona respostas analíticas diretamente proporcionais à concentração do analito. A resposta é dependente do método empregado, podendo ser, como por exemplo, área do pico, absorbância, volume utilizado de agente titulante, e

dentre outros. Vale salientar que, caso uma dada resposta analítica não varie conforme a concentração do analito, ela não é adequada (ANVISA, 2017).

É previsto que os modelos estatísticos empregados para o tratamento dos dados de validação serão realizados em indivíduos independentes. Dessa maneira, é necessário que as amostras sejam produzidas de modo independente, ou seja, a partir de diferentes pesagens da Substância Química de Referência (SQR). Na conjuntura da linearidade, quando não for viável o preparo de amostras independentes, desde o início do procedimento, é possível realizar o preparo de soluções diluídas, separadamente, partindo de uma mesma solução estoque, a partir da pesagem da SQR.

Para analisar a proporcionalidade da concentração do analito na resposta analítica, é necessário realizar a plotagem dos dados de concentração e de resposta analítica em cada plano cartesiano, com a concentração (variável independente) no eixo das abscissas (x) e a resposta analítica (variável dependente) no eixo das ordenadas (y). Dessa maneira, será gerado um ponto no plano a partir da junção de cada resultado da concentração com a concentração analítica. Esses pontos são representados como (x_1, y_1) , $(x_2, y_2) \dots (x_n, y_n)$, onde n representa o número total de pontos.

O método apresentado nesta unidade, para definição do modelo, depende da definição do centroide. O centroide é definido como a posição $(\bar{x}, \bar{y})$, onde $\bar{x}$ é a média aritmética dos valores de x e $\bar{y}$ é a média aritmética dos valores de y.

Análise visual

Antes de realizar qualquer tipo de avaliação estatística propriamente dita, é necessário realizar uma análise visual para observar se os pontos, quando dispostos no gráfico, possuem uma linearidade aparente. Apesar deste tipo de análise visual não ser comprobatória, é recomendável que ela preceda o uso de qualquer modelo estatístico, pois nenhum modelo poderá ser usado se a relação for visualmente não linear, podendo demonstrar que a resposta analítica não é adequada ou que exija alguma transformação matemática.

Do modelo

O “modelo” apresentado nesta seção é uma equação que permite prever os resultados de y a partir de qualquer valor de x. Dessa maneira, considerando que a resposta analítica é proporcional à concentração, esse modelo será uma equação de primeiro grau:

$$y = a + bx + \xi \text{ (Equação 1)}$$

Em que a é definido como o coeficiente linear ou intercepto e b é o coeficiente angular ou inclinação da reta e ξ o erro do modelo.

Recomenda-se para a estimativa da equação o método dos Mínimos Quadrados (MMQ). Este tipo de método pode possuir um fator de ponderação, conhecido como Método dos Mínimos Quadrados Ponderados (MMQP) ou pode ser aplicado diretamente, na ausência do fator de ponderação, denominado Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MMQO). O MMQO pode ser compreendido como um caso particular do MMQP, em que o fator de ponderação é igual a 1.

Com a definição do modelo, obtém-se a equação da reta que será utilizada para doar valores esperados da regressão, que serão necessários para a ANOVA (análise de variância).

Decisão entre MMQO ou MMQP

Para a escolha do método, deve-se considerar a variância dos resultados de y para cada valor de x , caso a variância de y seja constante (homocedasticidade), é possível utilizar o MMQ; se forem observadas as alterações de variância de y (heterocedasticidade) recomenda-se a utilização do MMQP, pois o MMQO poderá proporcionar resultados tendenciosos.

A variância dos valores de y para cada concentração é calculada da seguinte maneira:

$$s_{yi}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \text{ (Equação 2)}$$

Em que: j representa o j -ésimo resultado para o conjunto de réplicas i ; m representa o número de medidas (réplicas) para a resposta analítica y em cada ponto.

Para analisar se os dados são homocedásticos ou não, recomenda aplicar o teste de Cochran:

$$H_0: \sigma^2_{y1} = \sigma^2_{y2} = \dots = \sigma^2_{yn}$$

$$H_1: \text{pelo menos um dos } \sigma^2_{yn} \text{'s diferente; } i=1,2,\dots,n$$

Em que s_{yi}^2 representa a variância dos valores de y para um determinado nível de concentração

A hipótese nula (H_0) é que as variâncias sejam todas iguais e a hipótese alternativa (H_1) é que pelo menos uma das variâncias seja diferente das outras.

A estatística a ser avaliada é:

$$C = \frac{s_{y_{\max}}^2}{\sum_i s_{y_i}^2} = \frac{\text{maior variância em } y}{\text{soma de todas as variâncias em } y} \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo o valor de C a razão entre a maior variância observada para os conjuntos de dados de y e a soma das variâncias de y observadas para todos os níveis de concentração.

O valor de C calculado deve ser verificado ao valor crítico ao nível de significância de 5%. A conclusão do teste será:

» Se $C < C_{\text{crítico}}$, aceita-se a hipótese nula (dados homocedásticos)

» Se $C \geq C_{\text{crítico}}$, rejeita-se a hipótese nula (dados heterocedásticos)

Utilização do MMQO

Se os dados forem homocedásticos, poderá ser utilizado o MMQO. Neste caso, os coeficientes são calculados conforme segue:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Equação 4})$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (\text{Equação 5})$$

Sendo b representante da inclinação da reta e a representa o intercepto.

É importante salientar que cada um dos pontos está sujeito a erro experimental, assim, dos referidos erros, assume-se que estes estão na resposta analítica (y). O erro experimental também estará presente nos coeficientes.

A reta de regressão linear deve sempre passar pelo centroide.

Utilização do MMQP

Ao empregar o MMQP, os coeficientes da reta de regressão devem ser estimados utilizando-se um fator de ponderação calculado a partir do inverso da variância de y , considerando média harmônica de todas as variâncias de y .

Se os pontos individuais são assinalados por $(x_1, y_1), (x_2, y_2) \dots (x_n, y_n)$, os desvios padrão correspondentes são $s_1, s_2, s_3 \dots s_i \dots s_n$. Assim, é possível definir os pesos individuais, $w_1, w_2, w_3 \dots w_i \dots w_n$, como sendo:

$$w_i = \frac{s_i^{-2}}{\sum_{i=1}^n s_i^{-2}} \quad (\text{Equação 6})$$

A partir dos pesos individuais, tem-se:

$$b_w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i x_i^2} - \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i \sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i x_i^2} \quad (\text{Equação 7})$$

$$a_w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i} - b_w \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (\text{Equação 8})$$

Em que: b_w representa a inclinação ponderada da reta e $\bar{x}$ e $\bar{y}$ representam as coordenadas do centroide ponderado e a_w representa o intercepto ponderado.

A linha de regressão ponderada deve passar através do centroide ponderado, cujas coordenadas são dadas por:

$$\bar{x}_w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (\text{Equação 9})$$

$$\bar{y}_w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (\text{Equação 10})$$

Avaliação dos coeficientes

Segundo o inciso V do art. 26 da Resolução nº 166/2017, a comprovação da significância do coeficiente angular é fundamental para demonstração da linearidade do método, sendo a avaliação realizada por meio do teste F da ANOVA.

A análise do coeficiente linear permite obter informações importantes, dependendo do método que está sendo validado. Recomenda-se que seja avaliado, por meio de teste t, se o coeficiente linear é ou não estatisticamente diferente de zero. Espera-se que o coeficiente linear não seja estatisticamente diferente de zero. Em caso de afirmativo, é importante fazer uma avaliação do impacto deste resultado na linearidade do método. Recomenda-se examinar, entre outros fatores, o valor do coeficiente linear em relação às concentrações testadas e a possível interferência do diluente ou de outras substâncias no sinal analítico que está sendo avaliado.

Normalmente, a linearidade do método deverá ser reavaliada nos casos em que o valor do coeficiente linear for estatisticamente diferente de zero e apresentar magnitude significativa para o sinal analítico na concentração de trabalho. Ademais, caso seja encontrado intercepto estatisticamente diferente de zero e com magnitude significativa frente às respostas analíticas, é recomendável que se utilize uma curva de calibração no lugar de um ponto único para padronização na rotina de análise.

Avaliação da correlação linear

Após a utilização de um determinado modelo, o coeficiente de correlação de Pearson pode ser calculado. Caso este seja um MMQO, o r é calculado como:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Onde o r representa o coeficiente de correlação de Pearson. Caso seja utilizado um MMQP, o r é calculado da seguinte maneira:

$$r_w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n w_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n w_i (y_i - \bar{y})^2}}$$

Onde r_w representa o coeficiente de correlação de Pearson ponderado.

Quanto maior o valor de r , mais forte é a correlação entre as duas variáveis e mais realista é o modelo. O valor mínimo aceito para r é igual 0,990, de acordo com o § 3º do art. 27 da Resolução nº 166/2017.

Análise de resíduo

O resíduo pode ser entendido como o valor encontrado de y e o valor estimado pela equação em um determinado ponto, sendo este capaz de quantificar a distância entre o valor real e o valor estimado.

Quando um erro do modelo ocorre devido às variações comuns na análise, espera-se que os resíduos sejam independentes e sigam a distribuição normal.

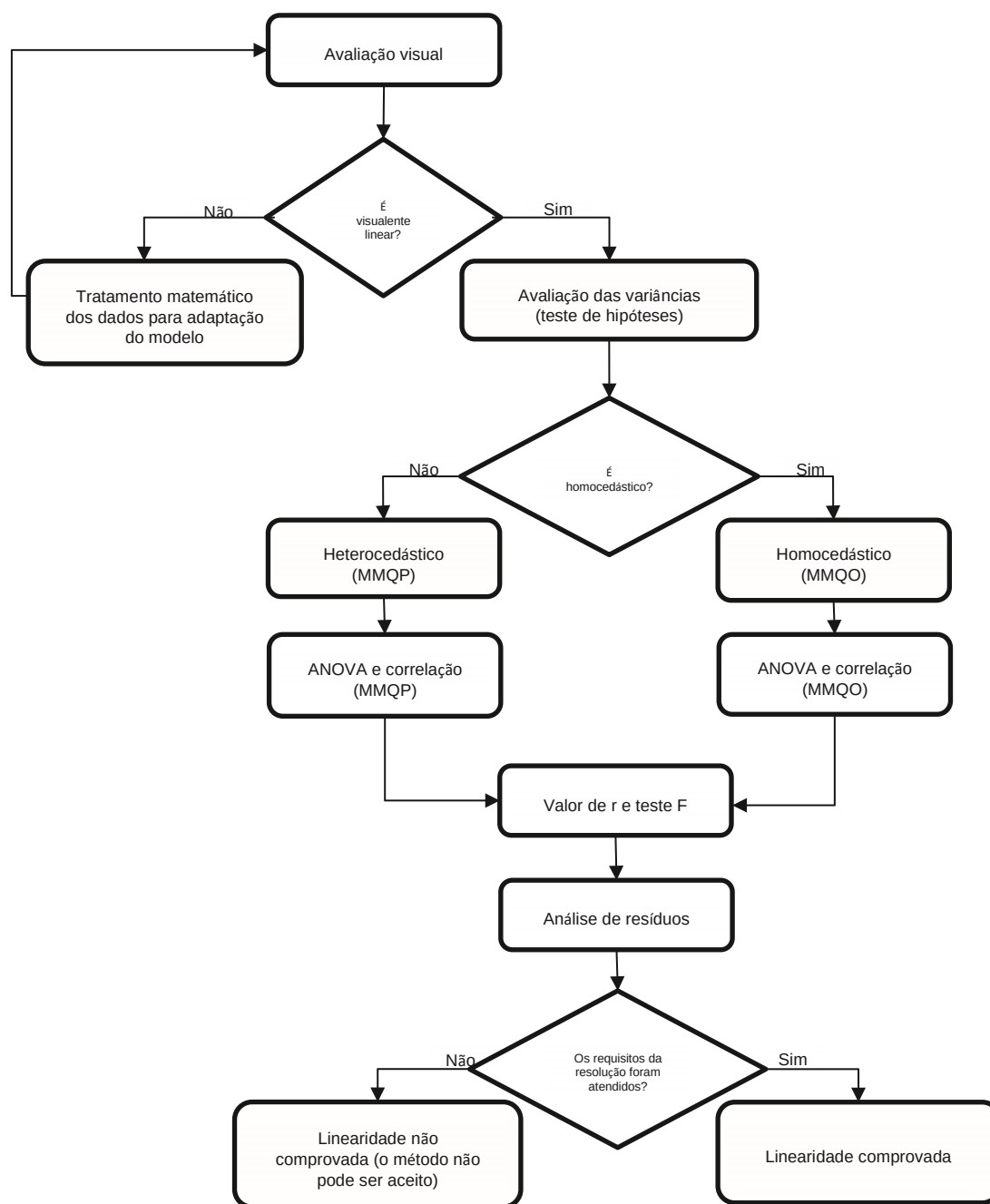
Para a avaliação da normalidade do resíduo é recomendado que:

- » Seja realizado a avaliação visual do gráfico.
- » Realize-se testes estatísticos de normalidade, como os de Shapiro Wilk, Lillefors, gráficos de probabilidade ou histograma.

Os gráficos para a avaliação visual devem incluir a distribuição de todos os resíduos em função da concentração e da resposta. Para se estimar os valores esperados utilizase os testes de Grubbs, D de Cook entre outros.

O fluxograma a seguir resume a análise estatística dos dados referentes aos parâmetros de linearidade.

Figura 1. Resumo da análise estatística dos dados referentes aos parâmetros de linearidade.



Fonte: Anvisa (2017).

PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS EM PRODUTOS FARMACÊUTICO

UNIDADE VI

CAPÍTULO 1

Aspectos gerais dos processos biotecnológicos

Introdução

O conceito de biotecnologia pode ser entendido como qualquer tecnologia que se utiliza de sistemas biológicos, organismos vivos, ou seus derivados, para fabricar ou modificar processos para alguma utilização específica (ONU, 1992).

De forma geral, a biotecnologia compreende a manipulação de microrganismos, plantas e animais como o objetivo de produção e obtenção de produtos e a melhora de processos.

Historicamente, a humanidade utiliza os processos biotecnológicos há muito tempo. Há cerca de cinco mil anos, havia indícios de utilização da fermentação para a produção de alimentos e bebidas, como o pão e o vinho (MMA, 2019).

Com aplicação biomédica, os processos biotecnológicos foram introduzidos há cerca de 90 anos, com a descoberta da penicilina por Alexander Fleming. A partir desse ponto, os processos biotecnológicos começaram a ser utilizados para a obtenção de antibióticos e outros produtos farmacêuticos.

No Quadro 6 está sumarizado os principais avanços biotecnológicos realizados até os dias atuais.

Quadro 6. Principais avanços biotecnológicos.

	Avanço biotecnológico
	Primeiros relatos da produção de produtos alcoólicos e alimentares pelos Babilônios (utilização de leveduras para a produção de cerveja)
	Egípcios e Gregos, utilizam o fermento para a produção de pão. A fermentação é utilizada para a produção de vinho e vinagre

700	A teoria da geração espontânea e a explicação para o aparecimento dos organismos vivos a partir da matéria não viva
0	Aparecimento do microscópio por Janssen
0	Utilização do microscópio por Antom Van Leeuwenhock para a observação de microrganismos
3	Robert Hooke utiliza pela primeira vez o termo “célula”
0	Antom Van Leeuwenhock consegue observar bactérias e protozoários
5	Lineu estabelece o sistema taxonômico para a classificação e sistematização dos seres vivos
9	Darwin e Wallece divulgam a teoria da evolução
4	Louis Pasteur prova a existência de microrganismos, não existindo a geração espontânea
5	Gregor Mendel estabelece as leis da hereditariedade
9	Johann Miesher descobre a composição química do ácido nucleico – DNA
5	Louis Pasteur estabelece uma relação Óbvia entre os microrganismos e os processos fermentativos
7	Aparecimento de produtos fermentados por processos industriais
0	Produção industrial de ácido láctico, etanol e vinagre
7	Herman J. Muller demonstra que os raios X provocam mutações e modificações no DNA
3	Alexander Fleming descobre o primeiro antibiótico, a penicilina
950	Apogeu da produção dos antibióticos (necessidade pela II Guerra Mundial)
3	Francis Crick e James Watson descobrem a estrutura de dupla hélice do DNA
9	Severo Ochoa e Arthur Komberg descobrem a DNA polimerase I e a RNA transferase
0	Descrição das funções das enzimas de restrição por Hamilton Smith, abrindo as portas para clonagem de genes
3	Paul Berg, Herbert Boyer, Standley Cohen, Janet Mertz e Ronald Davis desvendam técnicas de engenharia genética como a técnica de DNA recombinante e hibridoma
5	Produção do primeiro anticorpo monoclonal
3	Clonagem do gene da insulina humana
2	Comercialização por autorização da FDA de insulina obtida por processos biotecnológicos
6	Primeira vacina recombinante contra a Hepatite B e em simultâneo o primeiro anticorpo monoclonal contra a rejeição do transplante de fígado
0	Criação do Projeto Genoma Humano tendo como finalidade o mapeamento do genoma humano
6	Ian Wilmut e a sua equipe do Instituto Roslin clonam a ovelha Dolly Sequenciamento do genoma da levedura <i>Sacharomyces cerevisiae</i>
7	Sequenciamento do genoma da bactéria <i>Escherichia coli</i>
3	Sequenciamento e mapeamento do genoma humano com uma precisão próxima dos 100%

Fonte: Almeida (2009).

UNIDADE VI | PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS EM PRODUTOS FARMACÊUTICO

Principais técnicas e produtos biotecnológicos

As técnicas e produtos biotecnológicos podem ser aplicados em diversas áreas, sendo as principais aquelas ligadas ao meio ambiente, indústrias, agropecuária, pesquisa científica e na área da saúde.

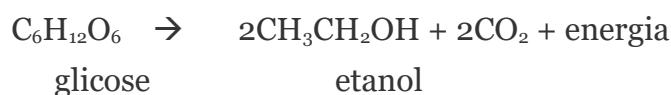
Área industrial

Na área industrial, utiliza-se principalmente os processos fermentativos. Os principais microrganismos utilizados são as bactérias *Bacillus* sp., *Zymomonas* sp., *Acetobacter* sp., entre outras, os fungos *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Trochoderma* sp., entre outros e levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

Dentre os processos fermentativos os mais utilizados são a fermentação alcoólica, fermentação láctica e fermentação acética.

Fermentação alcoólica

A fermentação alcoólica ocorre quando determinadas bactérias fermentam açúcares, produzindo duas moléculas de ácido pirúvico que são convertidas em álcool etílico, ocorrendo a liberação de gás carbônico e a formação de duas moléculas de ATP, conforme reação simplificada a seguir:



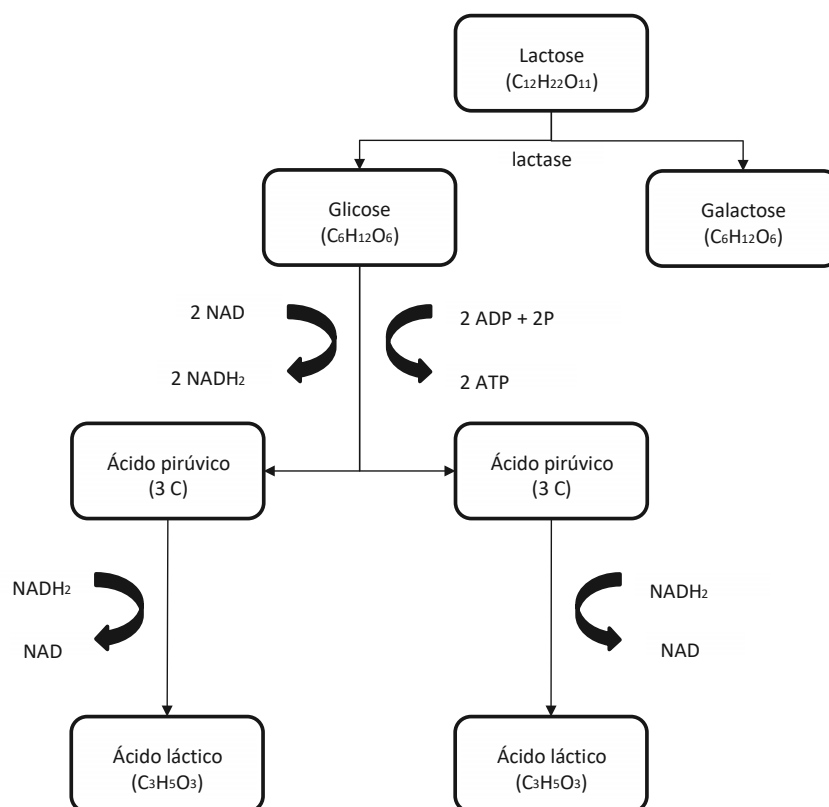
Fermentação láctica

O produto final da fermentação láctica é o ácido láctico. As bactérias conhecidas como lactobacilos utilizam a lactose para realizar este tipo de reação.

Além dos lactobacilos, outros gêneros de bactérias Gram-positivas realizam esse tipo de reação. São elas: *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Lactosphaera*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* e *Weissella*.

Na figura a seguir está representado o esquema de produção do ácido láctico a partir da lactose.

Figura 2. Representação esquemática da fermentação láctica.



Fonte: Imagem de autoria própria.

Fermentação acética

A reação de fermentação acética ocorre a partir do etanol formando ácido acético.

Os grandes representantes das bactérias produtoras de ácido acético pertencem à família *Acetobacteraceae*: *Gluconacetobacter*, *Asaia*, *Acidomonas*, *Kozakia*, *Swaminathania*, *Saccharibacter*, *Neoasaia*, *Granulibacter*, *Tanticharoenia* e *Ameyamaea*. Estas são Gram-negativas ou Gram-variáveis, aeróbias, não formadoras de esporos. O pH ótimo para seu crescimento fica em torno de 5 a 6,5, podendo crescer em valores de pH entre 3 e 4 (ZIOILLI, 2011).

A reação de fermentação acética consiste em oxidação parcial do álcool etílico formando ácido acético e consumindo oxigênio. Pela necessidade do oxigênio na reação, ela é considerada uma fermentação aeróbia (realizada por microrganismos dependentes de oxigênio).

A reação pode ser representada pela equação:

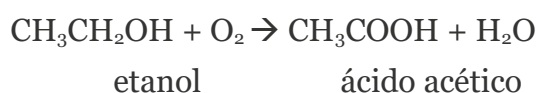
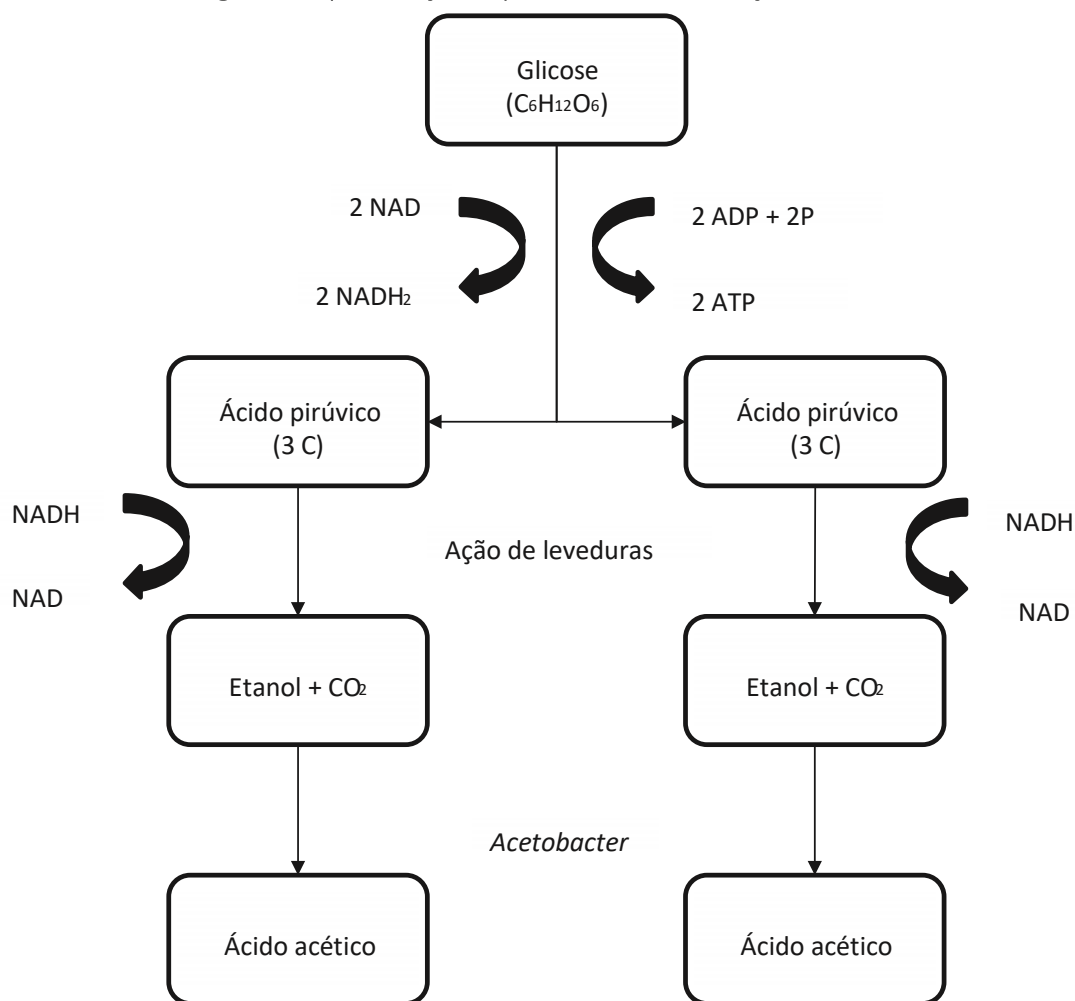


Figura 3. Representação esquemática da fermentação acética.



Fonte: Imagem de autoria própria.

Área ambiental

A aplicação da biotecnologia na área de meio ambiente está ligada à chamada **biodegradação** de poluentes. Este processo é aplicado na degradação de substâncias químicas tanto de origem orgânica como inorgânica.

Um dos processos ligados à biodegradação é chamado de biorremediação, que consiste na utilização de microrganismos para a recuperação de áreas contaminadas. Tais microrganismos são capazes de decompor os poluentes em substâncias menos tóxicas ou atóxicas, recuperando de forma eficaz grandes extensões.

Além dos processos de biorremediação, uma outra aplicação da biotecnologia está ligada ao uso de plantas transgênicas. Estas são capazes de aumentar a produção agrícola, diminuindo a necessidade de agrotóxicos.

Área da saúde

Dentro da área da saúde, os processos biotecnológicos foram importantes na cura e tratamento de diversas doenças. Dentre os avanços que podem ser citados, sem dúvida um dos mais significantes foi a obtenção da penicilina pelo fungo *Penicillium*. Por meio da molécula-base da penicilina foram obtidos diversos antibióticos capazes de tratar infecções bacterianas até então resistentes.

Ainda, podem ser citados a produção de vacinas, a inserção de genes codificantes em células animais capazes de produzir peptídeos humanos (por exemplo a insulina) e outros fármacos.

CAPÍTULO 2

Legislação de biossegurança no Brasil

Introdução

O uso de biotecnologia no Brasil foi aprovado no ano de 1995 por meio da Lei nº 8.974 de 5/1/1995, conhecida como a Lei de Biossegurança. Tal Lei tinha por objetivo regular o uso de Organismos Geneticamente Modificados (OGM) nos seus diversos aspectos: experimentação, cultivo, manipulação, transporte, comercialização, consumo, armazenamento, descarte no meio ambiente e outros.

A Lei de 1995 foi substituída em 2005 atualizando os termos da regulação de OGM no Brasil, incluindo pesquisa em contenção, experimentação em campo, transporte, importação, produção, armazenamento e comercialização.

Histórico da legislação de biossegurança no Brasil

As leis e decretos a seguir estão interligados à legislação de biossegurança no Brasil, definindo regulamentações nas áreas específicas onde a biotecnologia pode ser aplicada.

Medida provisória

- » Medida Provisória nº 2.186/2016 (23/8/2001): Regulamenta o inciso II do § 1º e o § 4º do art. 225 da Constituição, os arts. 1º, 8º, alínea “j”, 10, alínea “c”, 15 e 16, alíneas 3 e 4 da Convenção sobre Diversidade Biológica, dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado, a repartição de benefícios e o acesso à tecnologia e a transferência de tecnologia para sua conservação e utilização, e dá outras providências (FIESP, 2019).

Leis

- » Lei nº 6.938 (31/8/1981): Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

- » Lei nº 8.078 (11/9/1990): Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências;
- » Lei nº 9.279 (14/5/1996): Regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial.
- » Lei nº 9.456 (25/4/1997): Institui a Lei de Proteção de Cultivares, e dá outras providências.
- » Lei nº 9.610 (19/2/1998): Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.
- » Lei nº 9.782 (26/1/1999): Define o Sistema Nacional de Vigilância Sanitária, cria a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, e dá outras providências.
- » Lei nº 10.196 (14/2/2001): altera e acresce dispositivos à Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996, que regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial, e dá outras providências.
- » Lei nº 10.603 (17/12/2002): dispõe sobre a proteção de informação não divulgada submetida para aprovação da comercialização de produtos e dá outras providências.
- » Lei nº 11.105 (24/3/2005): Lei de Biossegurança (FIESP, 2019).

Decretos

- » Decreto nº 75.572 (8/4/1975): promulga a Convenção de Paris para a Proteção da Propriedade industrial revisão de Estocolmo, 1967.
- » Decreto nº 635 (21/08/1992): promulga a Convenção de Paris para a Proteção da Propriedade Industrial, revista em Estocolmo a 14 de julho de 1967.
- » Decreto Legislativo nº 2 (03/02/1994): aprova o texto da Convenção sobre Diversidade Biológica, assinada durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada na cidade do Rio de Janeiro, no período de 5 a 14 de junho de 1992.
- » Decreto nº 2.366 (5/11/1997): regulamenta a Lei nº 9.456, de 25 de abril de 1997, que institui a Proteção de Cultivares, dispõe sobre o Serviço Nacional de Proteção de Cultivares – SNPC, e dá outras providências.

- » Decreto nº 2.519 (16/3/1998): promulga a Convenção sobre Diversidade Biológica, assinada no Rio de Janeiro, em 05 de junho de 1992.
- » Decreto nº 4.074 (4/1/2002): regulamenta a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências.
- » Decreto nº 4.339 (22/8/2002): institui princípios e diretrizes para a implementação da Política Nacional da Biodiversidade.
- » Decreto nº 4.680 (24/4/2003): regulamenta o direito à informação, assegurado pela Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990, quanto aos alimentos e ingredientes alimentares destinados ao consumo humano ou animal que contenham ou sejam produzidos a partir de organismos geneticamente modificados, sem prejuízo do cumprimento das demais normas aplicáveis.
- » Decreto nº 5.591 (22/11/2005): regulamenta dispositivos da Lei nº 11.105, de 24 de março de 2005, que regulamenta os incisos II, IV e V do § 1º do art. 225 da Constituição, e dá outras providências.
- » Decreto nº 5.950 (31/10/2006): regulamenta o art. 57-A da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, para estabelecer os limites para o plantio de organismos geneticamente modificados nas áreas que circundam as unidades de conservação.
- » Decreto nº 6.041 (8/2/2007): Institui a Política de Desenvolvimento da Biotecnologia, cria o Comitê Nacional de Biotecnologia e dá outras providências (FIESP, 2019).

Resoluções

- » Resolução CNS nº 196 (10/10/1996): aprova as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos.
- » Resolução CTNBio nº 1 (30/10/1996): aprova o Regimento Interno da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio.

- » Resolução CNS nº 251 (7/8/1997): aprova normas de pesquisa envolvendo seres humanos para a área temática de pesquisa com novos fármacos, medicamentos, vacinas e testes diagnósticos.
- » Resolução CNS nº 292 (8/7/1999): norma complementar à Resolução CNS nº 196/1996, referente à área específica sobre pesquisas em seres humanos, coordenadas do exterior ou com participação estrangeira e pesquisas que envolvam remessa de material biológico para o exterior (FIESP, 2019).

Normas

- » Ato Normativo nº 127 (5/3/1997): dispõe sobre a aplicação da Lei de Propriedade Industrial em relação às patentes e certificados de adição de invenção (FIESP, 2019).

Tratados e convenções internacionais

- » Convenção da União de Paris para a Proteção da Propriedade Intelectual (20/3/1883): com alterações, dispõe sobre critérios internacionais para a concessão e a vigência de patentes industriais.
- » Tratado de Cooperação em Patentes (PCT) (19/6/1970): com alterações, estabelece o princípio de um único pedido de patente válido para todos os países que aderirem ao PCT.
- » Tratado de Budapeste (28/4/1977): Dispõe sobre o reconhecimento internacional do depósito de microrganismos para efeitos do procedimento em matéria de patentes (FIESP, 2019).

Lei de biossegurança

A seguir, são apresentados os principais pontos da Lei de Biossegurança nº 11.105/2005.

No capítulo I são apresentadas as disposições preliminares e gerais:

Artigo 1: Estabelece as normas de segurança e mecanismos de fiscalização sobre a construção, o cultivo, a produção, a manipulação, o transporte, a transferência, a

importação, a exportação, o armazenamento, a pesquisa, a comercialização, o consumo, a liberação no meio ambiente e o descarte de organismos geneticamente modificados – OGM e seus derivados, tendo como diretrizes o estímulo ao avanço científico na área de biossegurança e biotecnologia, a proteção à vida e à saúde humana, animal e vegetal, e a observância do princípio da precaução para a proteção do meio ambiente.

- » Inciso 1: Considera as atividades de pesquisa com OGM, englobando a experimentação, o armazenamento, a entrada do OGM no meio ambiente e o descarte deste e seus derivados.
- » Inciso 2: Enquadra o uso comercial do OGM, excetuando as atividades de pesquisa.

Artigo 2: As atividades e projetos que envolvam OGM e seus derivados, relacionados ao ensino com manipulação de organismos vivos, à pesquisa científica, ao desenvolvimento tecnológico e à produção industrial ficam restritos ao âmbito de entidades de direito público ou privado, que serão responsáveis pela obediência aos preceitos da Lei e de sua regulamentação, bem como pelas eventuais consequências ou efeitos advindos de seu descumprimento.

- » Inciso 1: as atividades administrativa, técnica ou científica e projetos são de responsabilidade da entidade que conduz tais eventos.
- » Inciso 2: as atividades e projetos de que se utilizam de OGM são vedados a pessoas físicas em atuação autônoma e independente.
- » Inciso 3: as entidades que possuem interesse em realizar atividades ligadas à biotecnologia deverão requerer autorização à Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio.
- » Inciso 4: as organizações públicas e privadas, nacionais, estrangeiras ou internacionais, financiadoras ou patrocinadoras de atividades ou de projetos devem exigir a apresentação de Certificado de Qualidade em Biossegurança, emitido pela CTNBio, sob pena de se tornarem corresponsáveis pelos eventuais efeitos decorrentes do descumprimento desta Lei ou de sua regulamentação.

Artigo 3: Definição de termos:

- I.** organismo: toda entidade biológica capaz de reproduzir ou transferir material genético, inclusive vírus e outras classes que venham a ser conhecidas.
- II.** ácido desoxirribonucleico – ADN, ácido ribonucleico – ARN: material genético que contém informações determinantes dos caracteres hereditários transmissíveis à descendência.
- III.** moléculas de ADN/ARN recombinante: as moléculas manipuladas fora das células vivas mediante a modificação de segmentos de ADN/ARN natural ou sintético e que possam multiplicar-se em uma célula viva, ou ainda as moléculas de ADN/ARN resultantes dessa multiplicação; consideram-se também os segmentos de ADN/ARN sintéticos equivalentes aos de ADN/ARN natural.
- IV.** engenharia genética: atividade de produção e manipulação de moléculas de ADN/ARN recombinante.
- V.** organismo geneticamente modificado – OGM: organismo cujo material genético – ADN/ARN tenha sido modificado por qualquer técnica de engenharia genética.
- VI.** derivado de OGM: produto obtido de OGM e que não possua capacidade autônoma de replicação ou que não contenha forma viável de OGM.
- VII.** célula germinal humana: célula-mãe responsável pela formação de gametas presentes nas glândulas sexuais femininas e masculinas e suas descendentes diretas em qualquer grau de ploidia;
- VIII.** clonagem: processo de reprodução assexuada, produzida artificialmente, baseada em um único patrimônio genético, com ou sem utilização de técnicas de engenharia genética;
- IX.** clonagem para fins reprodutivos: clonagem com a finalidade de obtenção de um indivíduo;
- X.** clonagem terapêutica: clonagem com a finalidade de produção de células--tronco embrionárias para utilização terapêutica;
- XI.** células-tronco embrionárias: células de embrião que apresentam a capacidade de se transformar em células de qualquer tecido de um organismo.

- › Inciso 1: Não se inclui na categoria de OGM o resultante de técnicas que impliquem a introdução direta, num organismo, de material hereditário, desde que não envolvam a utilização de moléculas de ADN/ARN recombinante ou OGM;
- › Inciso 2: Não se inclui na categoria de derivado de OGM a substância pura, quimicamente definida, obtida por meio de processos biológicos e que não contenha OGM, proteína heteróloga ou ADN recombinante.

Artigo 4: A lei de biossegurança não se aplica quando a modificação genética for obtida por meio das seguintes técnicas, desde que não impliquem a utilização de OGM como receptor ou doador: **I.** mutagênese;

II. formação e utilização de células somáticas de hibridoma animal; **III.** fusão celular, inclusive a de protoplasma, de células vegetais, que possa ser produzida mediante métodos tradicionais de cultivo;

IV. auto clonagem de organismos não-patogênicos que se processe de maneira natural.

Artigo 5: É permitida, para fins de pesquisa e terapia, a utilização de células-tronco embrionárias obtidas de embriões humanos produzidos por fertilização *in vitro* e não utilizados no respectivo procedimento, atendidas as seguintes condições: **I.** sejam embriões inviáveis; ou

II. sejam embriões congelados há 3 (três) anos ou mais, na data da publicação da Lei.

Artigo 6: Estabelece:

- I.** a necessidade de manutenção de registro individual quando se implementa um projeto relativo a OGM;
- II.** a proibição da engenharia genética em organismo vivo ou o manejo *in vitro* de ADN/ARN natural ou recombinante, realizado em desacordo com as normas previstas na Lei;

- III. a proibição engenharia genética em célula germinal humana, zigoto humano e embrião humano;
- IV. a proibição clonagem humana;
- V. a proibição destruição ou descarte no meio ambiente de OGM e seus derivados em desacordo com as normas estabelecidas pela CTNBio;
- VI. a proibição da liberação no meio ambiente de OGM ou seus derivados, no âmbito de atividades de pesquisa, sem a decisão técnica favorável da CTNBio;
- VII. a proibição da utilização, da comercialização, do registro, do patenteamento e do licenciamento de tecnologias genéticas de restrição do uso.

Artigo 7: Estabelece a obrigatoriedade:

- I. da investigação de acidentes ocorridos no curso de pesquisas e projetos na área de engenharia genética e o envio de relatório respectivo à autoridade competente no prazo máximo de 5 (cinco) dias a contar da data do evento;
- II. da notificação imediata à CTNBio e às autoridades da saúde pública, da defesa agropecuária e do meio ambiente sobre acidente que possa provocar a disseminação de OGM e seus derivados;
- III. disponibilizar à CTNBio e às autoridades da saúde pública, do meio ambiente, da defesa agropecuária meios de realizar procedimentos em casos de acidentes com OGM.

O capítulo 2 estabelece o Conselho Nacional de Biossegurança – CNBS.

Artigo 8: Criação do Conselho Nacional de Biossegurança (CNBS):

» Inciso 1: Competências da CNBS:

- I. fixar princípios e diretrizes para a ação administrativa dos órgãos e entidades federais;
- II. analisar, a pedido da CTNBio, quanto aos aspectos da conveniência e oportunidade socioeconômicas e do interesse nacional, os pedidos de liberação para uso comercial de OGM e seus derivados;

III. decidir, sobre os processos relativos a atividades que envolvam o uso comercial de OGM e seus derivados

» Inciso 3: Encaminhar aos órgãos federais deliberações favoráveis à realização de atividades com uso de OGM;

» Inciso 4: As deliberações desfavoráveis devem ser encaminhadas à CTNBio.

Artigo 9: Composição do CNBS:

I. Ministro de Estado Chefe da Casa Civil da Presidência da República, que o presidirá;

II. Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia;

III. Ministro de Estado do Desenvolvimento Agrário;

IV. Ministro de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; **V.** Ministro de Estado da Justiça;

VI. Ministro de Estado da Saúde;

VII. Ministro de Estado do Meio Ambiente;

VIII. Ministro de Estado do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior;

IX. Ministro de Estado das Relações Exteriores; **X.** Ministro de Estado da Defesa;

XI. Secretário Especial de Aquicultura e Pesca da Presidência da República.

O capítulo III estabelece a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio

Artigo 10: A CTNBio, presta apoio técnico e de assessoramento ao Governo Federal na formulação, atualização e implementação da PNB de OGM e seus derivados, bem como no estabelece normas técnicas de segurança e de pareceres técnicos referentes à autorização para atividades que envolvam pesquisa e uso comercial de OGM e seus derivados.

Artigo 11: Constituição técnica da CTNBio:

- I.** 12 (doze) especialistas de notório saber científico e técnico, em efetivo exercício profissional, sendo:
 - a.** 3 (três) da área de saúde humana;
 - b.** 3 (três) da área animal;
 - c.** 3 (três) da área vegetal;
 - d.** 3 (três) da área de meio ambiente;
- II.** um representante de cada um dos seguintes órgãos, indicados pelos respectivos titulares:
 - a.** Ministério da Ciência e Tecnologia;
 - b.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento;
 - c.** Ministério da Saúde;
 - d.** Ministério do Meio Ambiente;
 - e.** Ministério do Desenvolvimento Agrário;
 - f.** Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior;
 - g.** Ministério da Defesa;
 - h.** Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca da Presidência da República;
 - i.** Ministério das Relações Exteriores;
- III.** um especialista em defesa do consumidor, indicado pelo Ministro da Justiça;
- IV.** um especialista na área de saúde, indicado pelo Ministro da Saúde; **V.** um especialista em meio ambiente, indicado pelo Ministro do Meio Ambiente;

VI. um especialista em biotecnologia, indicado pelo Ministro da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; **VII.** um especialista em agricultura familiar, indicado pelo Ministro do Desenvolvimento Agrário;

VIII. um especialista em saúde do trabalhador, indicado pelo Ministro do Trabalho e Emprego.

Artigo 12: O funcionamento da CTNBio:

Inciso 1: A CTNBio conta com uma Secretaria-Executiva e cabe ao Ministério da

Ciência e Tecnologia prestar-lhe o apoio técnico e administrativo.

Artigo 13: Cabe a CTNBio constituir subcomissões setoriais permanentes na área de saúde humana, na área animal, na área vegetal e na área ambiental, e poderá constituir subcomissões extraordinárias, para análise prévia dos temas a serem submetidos ao plenário da Comissão.

Artigo 14: Competências da CTNBio:

- I.** estabelecer normas para as pesquisas com OGM e derivados de OGM;
- II.** estabelecer normas relativamente às atividades e aos projetos relacionados a OGM e seus derivados;
- III.** estabelecer critérios de avaliação e monitoramento de risco de OGM e seus derivados;
- IV.** proceder à análise da avaliação de risco relativo a atividades e projetos que envolvam OGM e seus derivados;
- V.** estabelecer os mecanismos de funcionamento das Comissões Internas de Biossegurança – CIBio;
- VI.** estabelecer requisitos relativos à biossegurança para autorização de funcionamento de laboratório, instituição ou empresa que desenvolverá atividades relacionadas a OGM e seus derivados;
- VII.** relacionar-se com instituições voltadas para a biossegurança de OGM e seus derivados, em âmbito nacional e internacional;

- VIII. autorizar, cadastrar e acompanhar as atividades de pesquisa com OGM ou derivado de OGM, nos termos da legislação em vigor;
- IX. autorizar a importação de OGM e seus derivados para atividade de pesquisa;
- X. prestar apoio técnico consultivo e de assessoramento ao CNBS na formulação da PNB de OGM e seus derivados;
- XI. emitir Certificado de Qualidade em Biossegurança – CQB para o desenvolvimento de atividades com OGM e seus derivados em laboratório, instituição ou empresa;
- XII. emitir decisão técnica sobre a biossegurança de OGM e seus derivados no âmbito das atividades de pesquisa e de uso comercial de OGM e seus derivados, inclusive a classificação quanto ao grau de risco e nível de biossegurança exigido, bem como medidas de segurança exigidas e restrições ao uso;
- XIII. definir o nível de biossegurança a ser aplicado ao OGM e seus usos, e os respectivos procedimentos e medidas de segurança quanto ao seu uso, conforme as normas estabelecidas;
- XIV. classificar os OGM segundo a classe de risco, observados os critérios estabelecidos;
- XV. acompanhar o desenvolvimento e o progresso técnico-científico na biossegurança de OGM e seus derivados;
- XVI. emitir resoluções, de natureza normativa, sobre as matérias de sua competência;
- XVII. apoiar tecnicamente os órgãos competentes no processo de prevenção e investigação de acidentes e de enfermidades, verificados no curso dos projetos e das atividades com técnicas de ADN/ARN recombinante;
- XVIII. apoiar tecnicamente os órgãos e entidades de registro e fiscalização; XIX. divulgar no Diário Oficial da União, previamente à análise, os extratos dos pleitos e, posteriormente, dos pareceres dos processos que lhe forem submetidos, bem como dar ampla publicidade no Sistema de Informações em Biossegurança – SIB a sua agenda, processos em trâmite, relatórios anuais,

atas das reuniões e demais informações sobre suas atividades, excluídas as informações sigilosas, de interesse comercial, apontadas pelo proponente e assim consideradas pela CTNBio;

- XX.** identificar atividades e produtos decorrentes do uso de OGM e seus derivados potencialmente causadores de degradação do meio ambiente ou que possam causar riscos à saúde humana;
- XXI.** reavaliar suas decisões técnicas por solicitação de seus membros ou por recurso dos órgãos e entidades de registro e fiscalização, fundamentado em fatos ou conhecimentos científicos novos, que sejam relevantes quanto à biossegurança do OGM ou derivado;
- XXII.** propor a realização de pesquisas e estudos científicos no campo da biossegurança de OGM e seus derivados;
- XXIII.** apresentar proposta de regimento interno ao Ministro da Ciência e Tecnologia.

Artigo 15: A CTNBio poderá realizar audiências públicas, garantida participação da sociedade civil, na forma do regulamento.

O capítulo IV trata dos órgãos e entidades de registro e fiscalização dos OGM:

Artigo 16: Cabe aos órgãos e entidades de registro e fiscalização:

- I.** fiscalizar as atividades de pesquisa de OGM e seus derivados;
- II.** registrar e fiscalizar a liberação comercial de OGM e seus derivados; **III.** emitir autorização para a importação de OGM e seus derivados para uso comercial;
- IV.** manter atualizado no SIB o cadastro das instituições e responsáveis técnicos que realizam atividades e projetos relacionados a OGM e seus derivados;
- V.** tornar públicos, inclusive no SIB, os registros e autorizações concedidas; **VI.** aplicar as penalidades de que trata a Lei; **VII.** subsidiar a CTNBio na definição de quesitos de avaliação de biossegurança de OGM e seus derivados.

O capítulo V trata da Comissão Interna de Biossegurança – CIBio:

Artigo 17: Obrigatoriedade da criação de uma comissão interna em toda instituição que utilizar técnicas e métodos de engenharia genética ou realizar pesquisas com OGM.

Artigo 18: Trata da competência da CIBio:

- I. manter informados os trabalhadores e demais membros da coletividade, quando suscetíveis de serem afetados pela atividade, sobre as questões relacionadas com a saúde e a segurança, bem como sobre os procedimentos em caso de acidentes;
- II. estabelecer programas preventivos e de inspeção para garantir o funcionamento das instalações;
- III. encaminhar à CTNBio documentos para efeito de análise, registro ou autorização do órgão competente;
- IV. manter registro do acompanhamento individual de cada atividade ou projeto em desenvolvimento que envolvam OGM ou seus derivados; V. notificar à CTNBio, aos órgãos e entidades de registro e fiscalização e às entidades de trabalhadores o resultado de avaliações de risco a que estão submetidas as pessoas expostas, bem como qualquer acidente ou incidente que possa provocar a disseminação de agente biológico;
- VI. investigar a ocorrência de acidentes e as enfermidades possivelmente relacionados a OGM e seus derivados e notificar suas conclusões e providências à CTNBio.

O capítulo VI trata do sistema de Informação de Biossegurança – SIB:

Artigo 19: Fica criado, no âmbito do Ministério da Ciência e Tecnologia, o Sistema de Informações em Biossegurança – SIB, destinado à gestão das informações decorrentes das atividades de análise, autorização, registro, monitoramento e acompanhamento das atividades que envolvam OGM e seus derivados.

O capítulo VII trata da responsabilidade civil e administrativa:

Artigo 20: Os responsáveis pelos danos ao meio ambiente e a terceiros responderão, por sua indenização ou reparação integral, independentemente da existência de culpa.

Artigo 21: Considera-se infração administrativa toda ação ou omissão que viole as normas previstas nesta Lei e demais disposições legais pertinentes.

Artigo 22: Compete aos órgãos e entidades de registro e fiscalização, referidos no artigo 16 desta Lei, definir critérios, valores e aplicar multas de R\$ 2.000,00 (dois mil reais) a R\$ 1.500.000,00 (um milhão e quinhentos mil reais), proporcionalmente à gravidade da infração.

Artigo 23: As multas previstas nesta Lei serão aplicadas pelos órgãos e entidades de registro e fiscalização dos Ministérios da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, da Saúde, do Meio Ambiente e da Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca da Presidência da República, referidos no art. 16 desta Lei, de acordo com suas respectivas competências.

O capítulo VIII trata dos crimes e das penas aplicáveis:

Artigo 24: Utilizar embrião humano em desacordo com o que dispõe o art. 5º desta Lei:

» Pena – detenção, de 1 (um) a 3 (três) anos, e multa.

Artigo 25: Praticar engenharia genética em célula germinal humana, zigoto humano ou embrião humano: Pena – reclusão, de 1 (um) a 4 (quatro) anos, e multa.

Art. 26. Realizar clonagem humana:

» Pena – reclusão, de 2 (dois) a 5 (cinco) anos, e multa.

Artigo 27: Liberar ou descartar OGM no meio ambiente, em desacordo com as normas estabelecidas pela CTNBio e pelos órgãos e entidades de registro e fiscalização:

Pena – reclusão, de 1 (um) a 4 (quatro) anos, e multa.

Artigo 28: Utilizar, comercializar, registrar, patentear e licenciar tecnologias genéticas de restrição do uso: Pena – reclusão, de 2 (dois) a 5 (cinco) anos, e multa.

Artigo 29: Produzir, armazenar, transportar, comercializar, importar ou exportar OGM ou seus derivados, sem autorização ou em desacordo com as normas estabelecidas pela CTNBio e pelos órgãos e entidades de registro e fiscalização: Pena – reclusão, de 1 (um) a 2 (dois) anos, e multa.

O capítulo IX trata das disposições finais e transitórias:

Artigo 30: Os OGM que tenham obtido decisão técnica da CTNBio favorável a sua liberação comercial até a entrada em vigor desta Lei poderão ser registrados e

comercializados, salvo manifestação contrária do CNBS, no prazo de 60 (sessenta) dias, a contar da data da publicação desta Lei.

Artigo 31: A CTNBio e os órgãos e entidades de registro e fiscalização deverão rever suas deliberações de caráter normativo, no prazo de 120 (cento e vinte) dias.

Artigo. 32: Permanecem em vigor os Certificados de Qualidade em Biossegurança, comunicados e decisões técnicas já emitidos pela CTNBio.

Artigo 33: As instituições que desenvolverem atividades reguladas por esta Lei na data de sua publicação deverão adequar-se as suas disposições no prazo de 120 (cento e vinte) dias.

Artigo 34: Convalida e torna permanente os registros provisórios concedidos sob a égide da Lei nº 10.814, de 15 de dezembro de 2003.

Artigo 35: Autorização da produção e a comercialização de sementes de cultivares de soja geneticamente modificadas tolerantes a glifosato registradas no Registro Nacional de Cultivares – RNC do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Artigo 36: Autorização do plantio de grãos de soja geneticamente modificada tolerante a glifosato, reservados pelos produtores rurais para uso próprio, na safra 2004/2005, sendo vedada a comercialização da produção como semente.⁵

Artigo 39: Não se aplica aos OGM e seus derivados o disposto na Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, e suas alterações, exceto para os casos em que eles sejam desenvolvidos para servir de matéria-prima para a produção de agrotóxicos.

Artigo 40: Os alimentos e ingredientes alimentares destinados ao consumo humano ou animal que contenham ou sejam produzidos a partir de OGM ou derivados deverão conter informação nesse sentido em seus rótulos, conforme regulamento.

Fonte: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11105.htm. Acesso em 19 ago. 2019. Com adaptações.

CAPÍTULO 3

Biotecnologia farmacêutica

Introdução

A biotecnologia pode ser amplamente utilizada na obtenção de insumos farmacêuticos e cosméticos. Dentre os processos mais utilizados temos a fermentação que se utiliza tanto de bactérias como fungos.

Atualmente, a tecnologia de produção de biofármacos conta com outros processos biotecnológicos que foram amplamente estudados para a melhora do seu processo, aumentando rendimento de produção e consequente diminuição dos custos de produção.

Dentre os fármacos que podem ser obtidos por biotecnologia podem ser citados: antibióticos, fatores sanguíneos, hormônios, fatores de crescimento hematopoiético, interferons, citocinas, enzimas, vacinas e anticorpos monoclonais.

A seguir serão apresentados os principais processos biotecnológicos utilizados para a obtenção de fármacos.

Biorreatores

Biorreatores podem ser definidos como reatores nos quais ocorrem uma série de reações químicas catalisadas por biocatalisadores. Os biocatalisadores podem ser tanto enzimas como células vivas (bactérias, fungos e células vegetais) (BIORREADORES, 2019).

Os biorreatores podem ser divididos em descontínuo alimentado (“fed batch”), sem contínuo e contínuo.

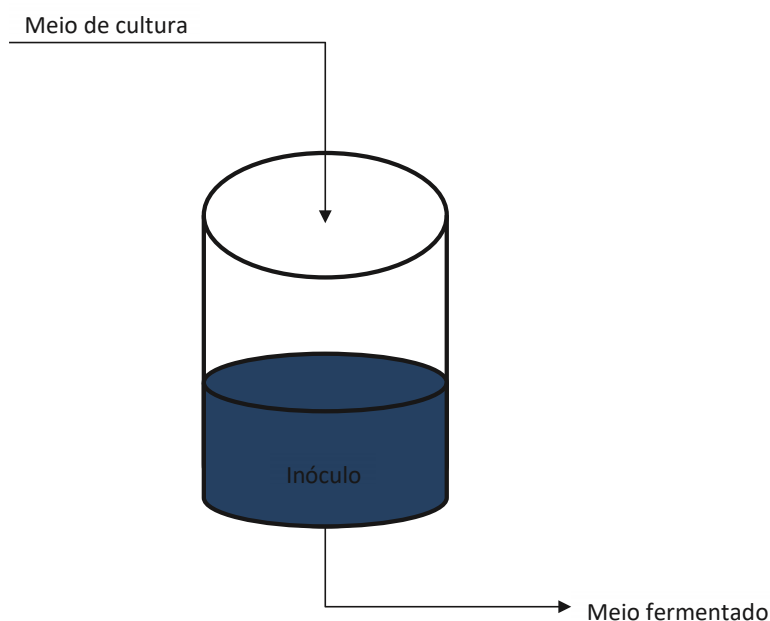
Biorreator descontínuo alimentado

No biorreator descontínuo, o meio de cultura é adicionado continuamente ou periodicamente, sendo os produtos de fermentação retirados parcialmente ou em sua totalidade, permitindo dessa maneira, o controle de crescimento microbiano.

O biorreator descontínuo segue os seguintes passos (Figura 4):

1. O inóculo é introduzido no biorreator ocupando um volume entre 10 a 20%, sendo alimentado com meio de cultura, a uma vazão adequada, nesta etapa, o líquido processado não é retirado.
2. A alimentação por meio de cultura ocorre até o preenchimento total do volume útil do reator.
3. Após o enchimento completo, o caldo processado é retirado para se recuperar o produto de interesse formado.
4. Após a retirada do caldo processado, pode ocorrer ou não uma nova inserção de inóculo e alimentação, para que ocorra um novo período de processamento.

Figura 4. Biorreator descontínuo alimentado.



Fonte: Imagem de autoria própria.

Deve-se ressaltar que no processo descontínuo alimentado, a alimentação do meio de cultura pode ser constante ou intermitente.

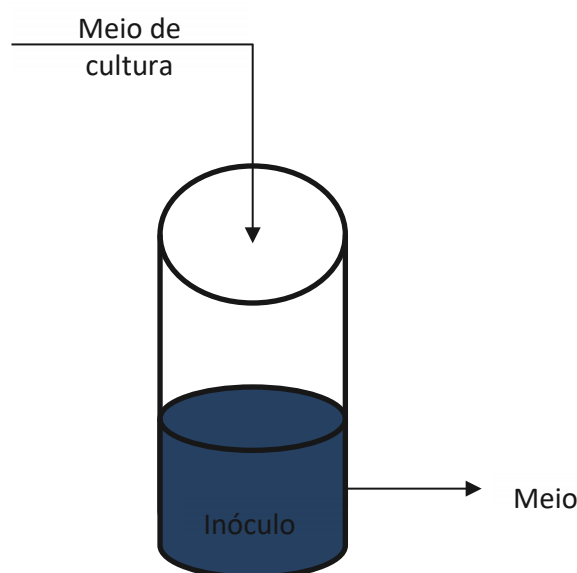
Biorreator sem contínuo

O biorreator sem contínuo se diferencia do descontínuo alimentado no fato de que o caldo produzido é completamente retirado e substituído imediatamente, a uma alta vazão, pelo meio de cultura.

O biorreator sem contínuo sege os seguintes passos (Figura 5):

1. Ao final do primeiro ciclo de fermentação (que ocorre de forma similar ao processo descontínuo alimentado), realiza-se a retirada de cerca de 30 a 60% da fração do caldo e o volume do reator é instantaneamente completado.
2. Neste tipo de reator ocorre a operação por choques de carga de substrato.

Figura 5. Biorreator sem contínuo.



Fonte: Imagem de autoria própria.

Biorreator contínuo

No biorreator contínuo ocorre o fluxo contínuo de líquido através do reator ou de reatores em série.

Este tipo de processo possui diversas vantagens, como:

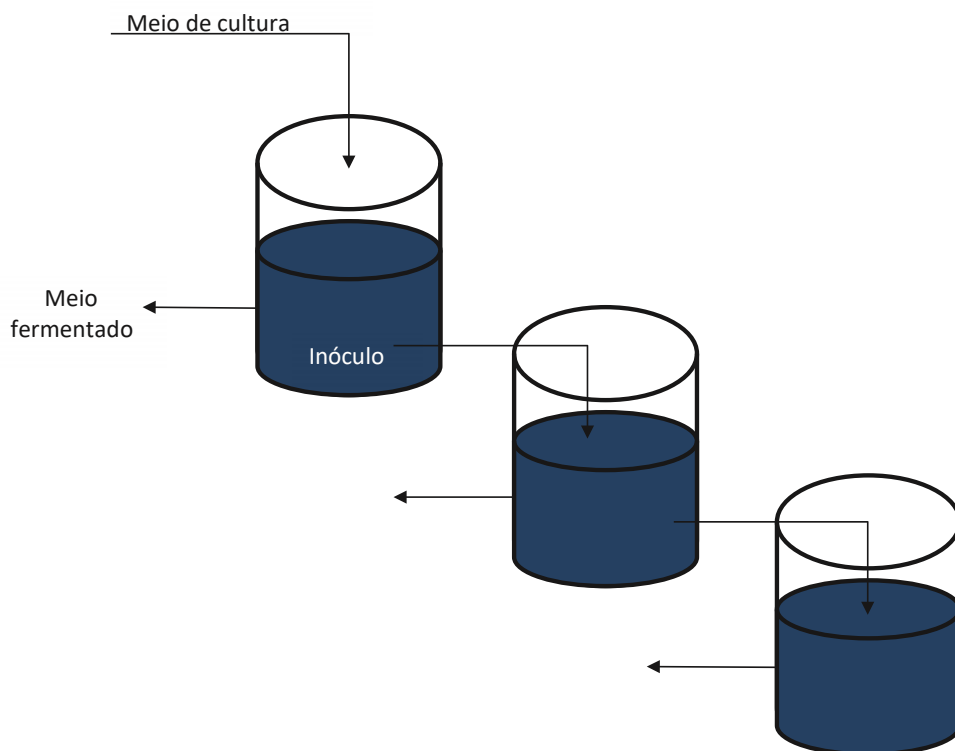
- » As células podem ser mantidas em constante crescimento.
- » A taxa de diluição no inóculo pode ser ajustada de acordo com a vazão de alimentação.

- » Permite que o cultivo seja acoplado com outros equipamentos da planta de produção.
- » Os reatores e equipamentos associados são menores, gerando menor custo de produção e aumentando a lucratividade.

O biorreator contínuo sege os seguintes passos (Figura 6):

1. O inóculo é introduzido no biorreator, sendo alimentado continuamente com meio de cultura.
3. Neste tipo de operação, na qual os biorreatores encontram-se em série, o efluente do reator anterior irá alimentar o reator subsequente;
4. O caldo obtido de um dos biorreatores pode ser submetido a um sistema de separação de microrganismos, sendo estes levados novamente ao volume de reação e o caldo enviado para a recuperação do bioproduto.

Figura 6. Biorreator contínuo.



Fonte: Imagem de autoria própria.

Alterações em cromossomo bacteriano

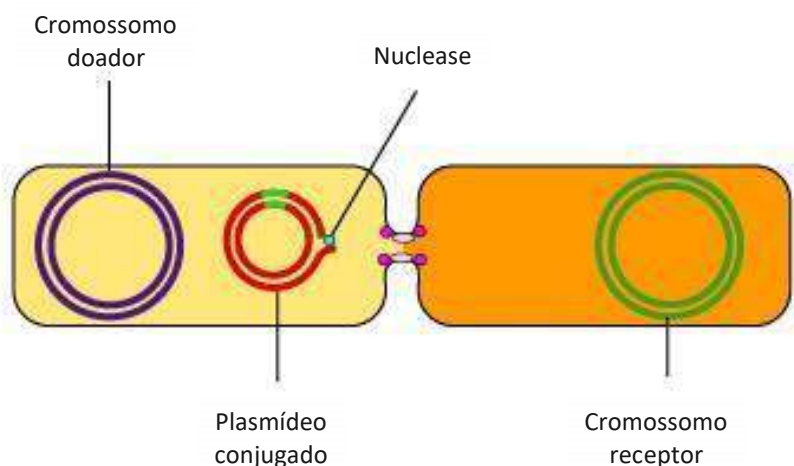
Diversas são as técnicas que podem ser utilizadas para a alteração do cromossomo bacteriano com o objetivo de se produzir determinadas moléculas de interesse.

Dentre essas técnicas podemos citar a conjugação, a transdução, a recombinação e a fusão de protoplastos (FERREIRA *et al.*, 1998).

Conjugação

A conjugação é uma técnica a qual ocorre a transferência unidirecional de informação genética de uma célula bacteriana para a outra. Na técnica de conjugação ocorre o contato direto entre duas células através de um tubo de conjugação onde o plasmídeo da célula-mãe será passado para a célula-filha.

Figura 7. Transferência do plasmídeo conjugado.



Fonte: <http://faculty.ccbcmd.edu/courses/bio141/lecguide/unit2/HGT/u4fg25c.html> Acesso em: 13 mar. 2019.

Nesta técnica, é possível a inserção de uma sequência de DNA específica, inclusive de outra espécie. O mecanismo genético envolvido é chamado de transformação.

Transdução

A transdução é uma técnica em que ocorre a transferência de informação genética pela incorporação por recombinação utilizando um vetor viral bacteriófago.

Nesta técnica poderá ocorrer rearranjos de DNA por mudança de local de um gene dentro do genoma.

Fusão de protoplastos

Na técnica de fusão de protoplastos ocorre a transferência de informação genética entre células, em que primeiramente ocorre a remoção da parede celular e a subsequente fusão entre células. Dessa maneira, uma célula vegetal poderá incorporar informação genética de uma célula animal, expressando proteínas específicas.

Técnica de DNA recombinante

A técnica de DNA recombinante consiste na criação sintética de novos organismos vivos com características diferentes daqueles indivíduos encontrados normalmente na natureza.

Uma das grandes vantagens dessa técnica é a possibilidade da alteração do patrimônio genético de microrganismos, possibilitando dessa forma que estes produzam moléculas de interesse farmacológico.

Um dos grandes exemplos da utilização da técnica de DNA recombinante é a produção de insulina humana por microrganismos.

Etapas da técnica de DNA recombinante

1. A primeira fase consiste na identificação do gene responsável pela expressão do bioproduto de interesse.
2. Este gene deverá ser isolado e caracterizado a partir de uma célula humana e amplificado por técnica de *Polymerase chain reaction* (PCR).
3. Posteriormente, o gene de interesse é inserido em um determinado vetor que possa se replicar de forma autônoma (comumente um plasmídeo).
4. Nesta etapa são utilizadas enzimas de restrição que cortam e abrem a cadeia do plasmídeo para a inserção do gene específico através de DNA ligases.
5. Posterior à obtenção do plasmídeo modificado, procede a inserção deste em uma determinada célula (geralmente bacteriana).
6. Esta célula será cultivada e selecionada em clones que expressam mais eficazmente o produto de interesse.

7. Posterior ao isolamento, estas células serão cultivadas em reatores (com maior escala de produção) para a obtenção do bioproduto.

Técnica de hibridoma

A técnica de hibridoma conhecida também como fusão celular baseia-se na manipulação genética de organismos vivos, na qual uma ou mais células são fundidas para formar novos organismos.

O objetivo principal do hibridoma é desenvolver linhagens celulares capazes de produzir um determinado anticorpo em grandes quantidades.

Etapas da técnica de hibridoma

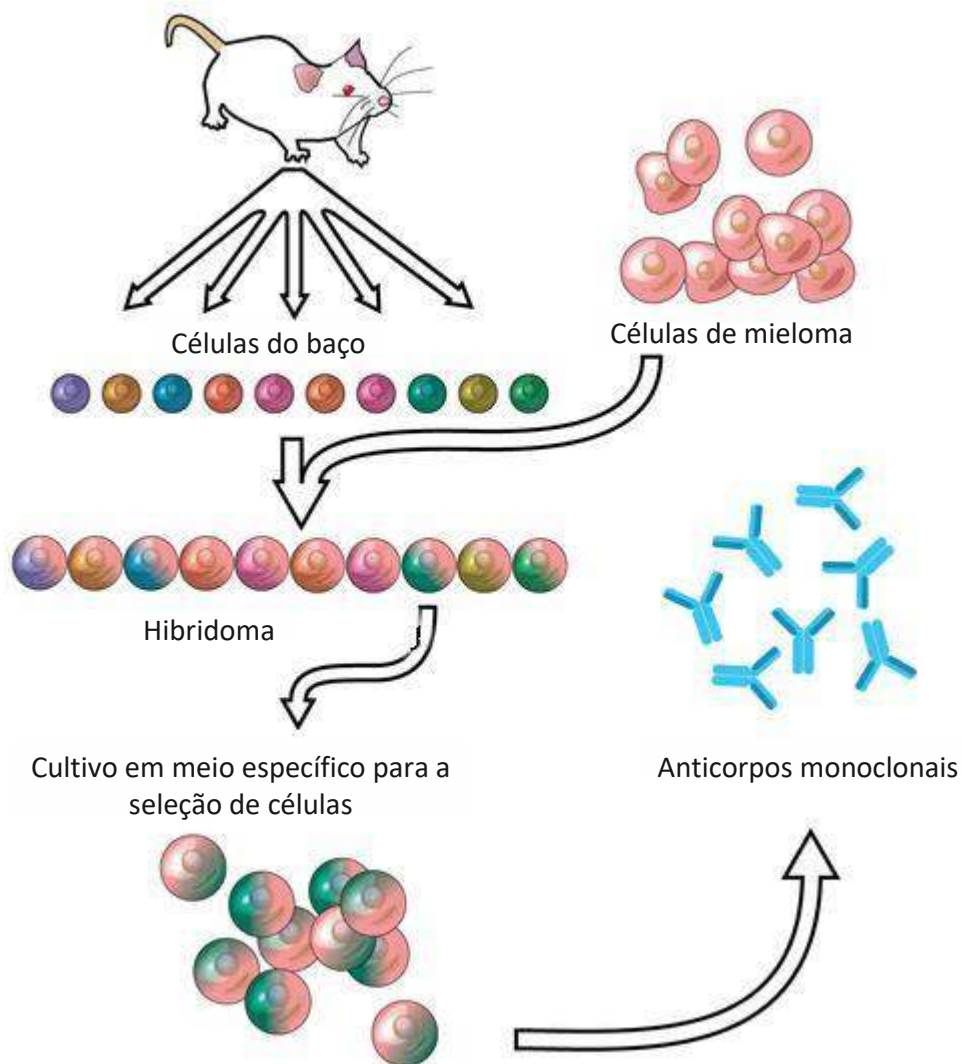
Para explicar as etapas da técnica de hibridoma, tomamos como exemplo a produção de um anticorpo monoclonal (anticorpos produzidos por um único clone de um linfócito B parenteral que é clonado e imortalizado, produzindo dessa maneira, os mesmos anticorpos) (Figura 8).

1. Inocula-se um animal (camundongo, burro, cabra entre outros) com o antígeno do anticorpo que se quer obter.
2. Após determinado tempo, os linfócitos B são removidos do baço ou da medula óssea do animal e fundidos como células de mieloma (tumores de linfócitos B).
3. Este procedimento é realizado com o objetivo de imortalizar os linfócitos B, ou seja, permitir a sua divisão indefinidamente, produzindo assim grandes quantidades de anticorpos.
4. A etapa de fusão ocorre da seguinte forma: os linfócitos do animal são cultivados juntamente com os mielomas em meio de cultura específicos. Através da inserção de polietilenoglicol, um agente químico promotor de fusão celular, ambas as células se fundem formando um híbrido. Aquelas células que não sofreram fusão acabam morrendo por apoptose entre duas a três semanas posteriores à adição do polietilenoglicol.
5. Posteriormente à formação dos hibridomas, esses serão cultivados em meios de cultura específicos para a obtenção dos anticorpos de interesse.

Tais anticorpos serão removidos do meio de cultura e purificados antes de serem utilizados na mais diversas terapias.

Figura 8. Etapas de obtenção de um anticorpo monoclonal por meio da técnica de hibridoma.

Camundongo inoculado com o antígeno



Fonte: https://gl.wikipedia.org/wiki/Anticorpo_monoclonal#/media/File:Monoclonals-gl.png Acesso: 13 mar. 2019.

Fármacos obtidos por biotecnologia

Alguns medicamentos obtidos por biotecnologia estão disponíveis no mercado. O quadro a seguir resume os principais fármacos de acordo com o nome comercial, princípio ativo e função terapêutica.

Quadro 7. Principais fármacos biotecnológicos.

Nome comercial	Princípio ativo, função terapêutica
Procrit®	Eritropoietina, fator de crescimento hematopoiético
Epogen®	Eritropoietina, fator de crescimento hematopoiético
Intron-A®	Interferon α , tratamento de leucemia, melanoma maligno, Sarcoma de Kaposi e hepatite C
Neupogen®	Filgrastim, fator de estimulação de colônias de granulócitos G-CSF
Avonex®	Interferon β , tratamento de esclerose múltipla
Humulin®	Insulina humana recombinante, antidiabético
Novolin®	Insulina humana recombinante, antidiabético
ReoPro®	Abciximab, antitrombótico
Rituxan®	Rituximab, tratamento de artrite reumatoide e linfoma folicular de não-Hodgkin's células B

Fonte: Almeida (2009).

A seguir serão apresentadas as principais categorias de fármacos obtidos por biotecnologia e seu método de obtenção.

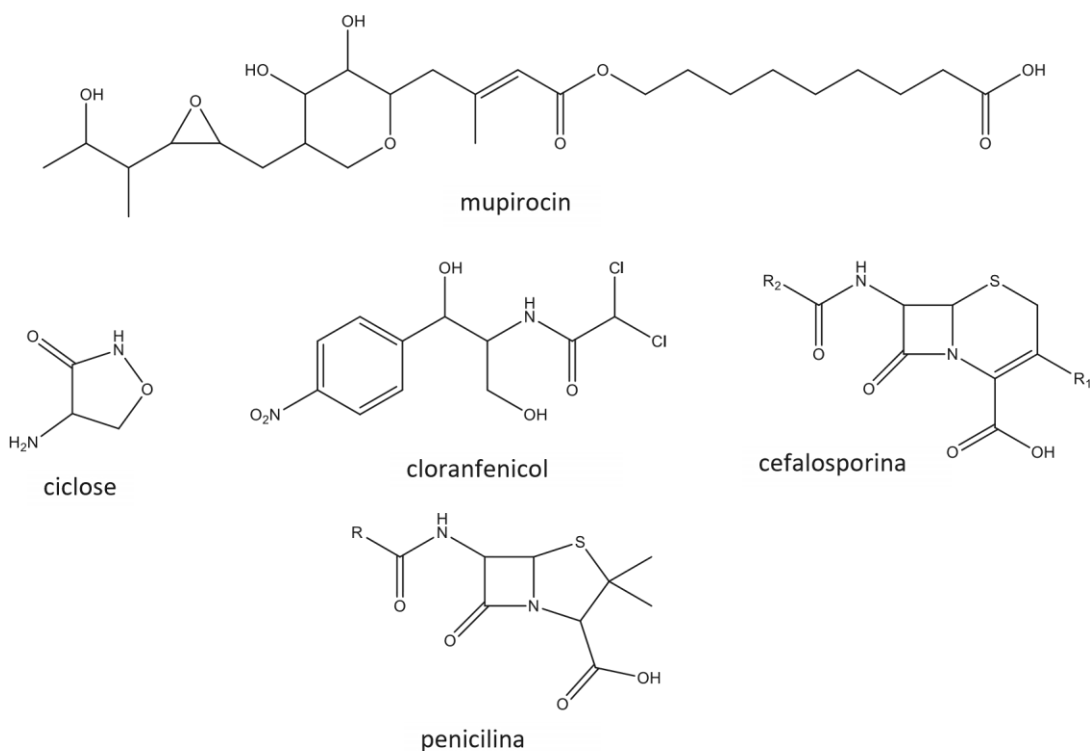
Antibióticos

Os antibióticos constituem uma das classes farmacêuticas de maior interesse comercial. Uma grande parte destes produtos são obtidos pelo processo de fermentação ou por isolamento em cultura.

Dentre as moléculas de antibióticos obtidos por biotecnologia temos a **penicilina**, produzida pelo fungo *Penicilium notatum*, **cefalosporina**, obtido por *semissíntese* a partir de fungos do gênero *Streptomyces*, **cloranfenicol**, a partir do *Streptomyces venezuelae*, **estreptomicina**, a partir do *Streptomyces griseus*, **cicloserina**, a partir do *Streptomyces orchidaceus*, **clindamicina**, a partir do *Streptomyces lincolnensis*, **vancomicina** isolada de culturas de *Streptomyces orientalis*, **teicoplanina** a partir do *Actinomoplanes teichomyceticus* e **mupirocina** a partir da *Pseudomonas fluoresce* (OSSWALD, 2001).

Na Figura 9 estão representados exemplos de estrutura de antibióticos obtidos por biotecnologia.

Figura 9. Estrutura dos principais antibióticos obtidos por biotecnologia.



Fonte: Imagem de própria autoria.

O processo produtivo para a obtenção da penicilina e cefalosporina, por exemplo, ocorre em biorreatores por meio de duas etapas. A primeira etapa ocorre em biorreatores de batelada com o propósito de multiplicar as células e a segunda etapa em biorreatores de processo descontínuo alimentado.

Os processos biotecnológicos podem ser divididos em duas categorias: reações que se utilizam de crescimento microbiano (reações microbiológicas) e reações catalisadas por enzimas (reações de biotecnológicas).

Fatores sanguíneos

No tratamento da hemofilia são utilizados dois fatores (fator VIII ou fator antihemofílico A e fator IX ou fator anti-hemofílico B) como principais formas terapêuticas.

Tanto o fator VIII como o fator IX são produzidos por técnicas recombinantes. Ambos os fatores são produzidos por células CHO (*chinese hamster ovary*), sendo o fator VIII possuidor de 1438 aminoácidos e o fator IX, 415 aminoácidos.

Além da produção em célula de mamífero, é possível obter ambos os fatores a partir da técnica de DNA recombinante utilizando a bactéria *Escherichia coli*.

Hormônios

O primeiro medicamento obtido por biotecnologia aprovado pelo *Food and Drug Administration* (FDA) foi a insulina humana, utilizando-se a tecnologia de DNA recombinante com a bactéria *Escherichia coli* (THOMPSON, 2003).

Um outro hormônio, o GH (hormônio de crescimento humano), também passou a ser obtido por meio do DNA recombinante com *E. coli*. Anteriormente à aplicação dessa tecnologia, este hormônio era obtido por extração da hipófise de cadáveres humanos (ALMEIDA, 2009).

Fatores de crescimento hematopoiético

Os fatores de crescimento são uma classe de moléculas que podem ser divididas em dois grupos: as citocinas e as interleucinas. As citocinas são moléculas que modulam a proliferação e a maturação de células hematopoiéticas e as interleucinas são aquelas que transmitem sinais de comunicação entre diferentes tipos celulares.

A eritropoietina é uma citocina, responsável pela regulação da produção de glóbulos vermelhos, fenômeno conhecido como hematopoiese. Esta molécula é atualmente produzida por meio da tecnologia recombinante, sendo obtidas as formas alfa (produzidas em células CHO), beta (produzida em CHO) e gama (produzida em células *baby hamster kidney* ou BHK).

Interferons

Os interferons são uma classe de citocinas que atuam contra vírus e células de cânceres. Estes podem apresentar a forma alfa, beta e gama e são obtidos também por tecnologia recombinante. As três isoformas são produzidas pelas bactérias *E. coli*.

Citocinas

As citocinas, moléculas capazes de ativar o sistema imune, regulam o crescimento e divisão celular. Tais moléculas podem ser utilizadas, por exemplo, no tratamento de cânceres como o carcinoma colorretal.

Estas moléculas podem ser produzidas por tecnologia recombinante utilizando-se as bactérias *E. coli*.

Enzimas

Um exemplo de enzima utilizada na terapêutica é a alteplase, um ativador plasminogênico. Este medicamento é utilizado para dissolver coágulos sanguíneos formados no sistema circulatório.

Um outro exemplo é o medicamento conhecido como dornase alfa recombinante. Esta é uma enzima utilizada para o tratamento de pacientes com fibrose cística.

Ambos os produtos são obtidos por meio da tecnologia recombinante.

Vacinas

As vacinas são um dos exemplos clássicos da utilização de biotecnologia para a obtenção de fármacos.

Tradicionalmente, as vacinas são produzidas em condições estéreis onde um microrganismo não patogênico ou patogênico inativado é cultivado e deste preparado o medicamento.

A vacina recombinante é obtida por meio de hospedeiros não patogênicos. Bactérias e fungos são “programados” para expressar os antígenos específicos, gerando dessa maneira, subunidades específicas que podem ser apresentadas para o organismo desenvolver a imunidade.

Anticorpos monoclonais

Anticorpos monoclonais são obtidos através de hibridomas, sendo utilizados principalmente no tratamento de cânceres. Um exemplo é o medicamento Trastuzumab, utilizado no tratamento de câncer de mama.

Ainda, os anticorpos monoclonais podem ser utilizados na prevenção da rejeição de órgãos (Daclizumab), na doença de Crohn (Infliximab) e linfoma de Hodgkin (Brentuximab vedotin).

CONTROLE MICROBIOLÓGICO NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

UNIDADE VII

CAPÍTULO 1

Princípios de microbiologia

Características das células procarióticas e eucarióticas

Para entendermos como funciona o controle microbiológico na indústria farmacêutica, alguns conceitos importantes de microbiologia devem ser abordados e compreendidos.

Os microrganismos são seres formados por uma única célula, cobertos por uma membrana que separa o conteúdo intracelular do meio ambiente. No entanto, esta célula pode possuir uma membrana que separa o conteúdo do material nuclear do restante dos componentes celulares ou possuírem seu material genético espalhado pelo citoplasma.

- » A célula que possui o material genético separado por um **núcleo** é chamada de célula **eucariótica**.
- » A célula que possui seu material genético **espalhado pelo citoplasma** é chamada de célula **procariótica**.

As células procariótica e eucariótica possuem organelas que desempenham as funções primordiais para o funcionamento e manutenção da vida e da sua reprodução. Cada organela possui uma função celular específica, sendo elas explicadas a seguir:

Célula eucariótica

- » Núcleo: armazenamento do material genético envolto pela membrana nuclear.

- » Nucléolo: organização do ribossomo.
- » Mitocôndria: organela composta por membrana dupla. Sua principal função é a respiração celular, produzindo energia através do ciclo de Krebs e da fosforilação oxidativa.
- » Ribossomo: responsável pela síntese de proteínas.
- » Retículo endoplasmático liso: produção de lipídeos que irão compor a membrana celular.
- » Retículo endoplasmático rugoso: **síntese proteica.**
- » Membrana plasmática: função de permeabilidade seletiva, proteção e revestimento.
- » Aparelho de Golgi: função de modificar, armazenar e transportar as proteínas.
- » Lisossomos: possui a função de digestão de moléculas orgânicas.
- » Peroxissomos: sua principal função é realizar a oxidação de ácidos graxos.

Célula procariótica

A célula procariótica não possui todas as organelas que estão presentes nas células eucarióticas. Por esta célula ser considerada mais simples, apenas organelas de extrema necessidade funcional aparecem nessa estrutura.

- » Nucleoide: região onde se concentra o material genético, porém esta não é envolta por uma membrana nuclear.
- » Cápsula: estrutura com função de proteção.
- » Flagelo: função locomotora.
- » Parede celular: confere resistência e proteção à célula.
- » Membrana plasmática: função de permeabilidade seletiva, proteção e revestimento.
- » Ribossomo: responsável pela síntese de proteínas.

As células eucarióticas tendem a ser menores que as células procarióticas, com diâmetro entre 0,3 a 2,0 μm , sendo esta classificação abrangente para todas as bactérias. Já os organismos eucariotos são maiores com diâmetro possuindo entre 2 a 20 μm e incluem as algas, fungos e protozoários.

O principal objetivo tanto de uma célula procariótica quanto eucariótica é manter-se viva e se reproduzir. Para que estas células se multipliquem é necessário que nelas contenham material genético que assegure que todas as partes das células possam ser sintetizadas. Para isso, necessariamente, estas devem obter alimentos do ambiente circundante e gerar energia suficiente para que todos os processos sintéticos e de degradação possam ser realizados. Todos os processos de síntese e degradação são, portanto, controlados pelo material genético de cada tipo celular.

Material genético das células procarióticas e eucarióticas

Os processos necessários para o funcionamento e reprodução celular são controlados pelo conjunto de genes conhecidos como **genoma**. Um **gene** pode ser entendido como uma sequência de ácido desoxirribonucleico (DNA) que codifica proteínas ou moléculas de ácido ribonucleico (RNA). Toda a informação responsável pela vida e sua manutenção, como características específicas, atividades de reprodução e morte entre outros, são controlados pelo genoma.

Sabe-se que os genomas de procariotos e eucariotos estão organizados de formas diferentes, tendo os procariotos o material genético espalhado pelo citoplasma e os eucariotos, o material genético envolto por uma membrana, dando origem ao chamado **núcleo**.

Nos eucariotos, o DNA ocorre na sua forma linear e fica localizado dentro do núcleo celular. Os procariotos, por sua vez, possuem DNA circular fechado que se agrega formando o nucleíode.

A maioria dos procariotos possui um único cromossomo circular, porém, algumas espécies podem apresentar pequenos círculos de DNA diferentes do DNA cromossômico, chamado de **plasmídeos**.

Os plasmídeos contêm alguns genes específicos que conferem às células procariotas características especiais como metabolismo diferenciado ou resistência a antimicrobianos. O material genético desses plasmídeos não exerce as funções

primordiais das células, porém, pode conferir características que favoreçam o crescimento e proliferação desses organismos.

Bactérias

As bactérias, juntamente com os fungos são os principais agentes contaminantes industriais. As bactérias são seres unicelulares procariotos, possuindo diversas morfologias. Basicamente são cinco formas específicas com algumas variações. Elas podem ser:

- » Cocco: forma esférica.
- » Diplococo: duas unidades de cocos dispostas lado a lado.
- » Estreptococos: quatro ou mais unidades dispostas lado a lado.
- » Estafilococos: diversas unidades de cocos dispostas desordenadamente formando um aglomerado bacteriano.
- » Bacilo: forma de bastonete.
- » Espirilo: forma de “vírgula”.
- » Espiroqueta: forma espiralada.

Além da morfologia, as bactérias podem ser classificadas como Gram-positivas e Gram-negativas. Esta classificação está ligada à presença ou não de **parede celular** e a capacidade desta de ser corada pelo reagente de **coloração de Gram**.

A parede celular bacteriana é uma estrutura resistente, porém flexível composta basicamente por peptídeoglicano. Esta estrutura confere suporte e proteção à célula bacteriana. Ainda, a parede celular pode atuar como um “filtro” semipermeável, selecionando a entrada e saída de componentes da estrutura bacteriana.

Bactérias Gram-positivas são aquelas que assumem a coloração roxa após passar pelo processo de coloração. Este fato indica que ela possui parede celular.

As bactérias Gram-negativas, assumem coloração rosa após o processo, pois não são capazes de reter o cristal violeta (agente fornecedor da coloração roxa e que possui alta afinidade pela parede celular), indicando dessa maneira não serem possuidores de parede celular.

Crescimento bacteriano

O crescimento bacteriano pode ser considerado como um processo metabólico progressivo que irá culminar à divisão de uma célula bacteriana levando à formação de duas. O processo de divisão bacteriano é chamado de **fissão binária**, onde a partir de uma célula-filha irão se formar duas células-filhas.

Cabe ressaltar que quando o crescimento microbiano ocorre em um organismo vivo, ele é denominado especificamente por **infecção**.

Termos relacionado ao crescimento microbiano

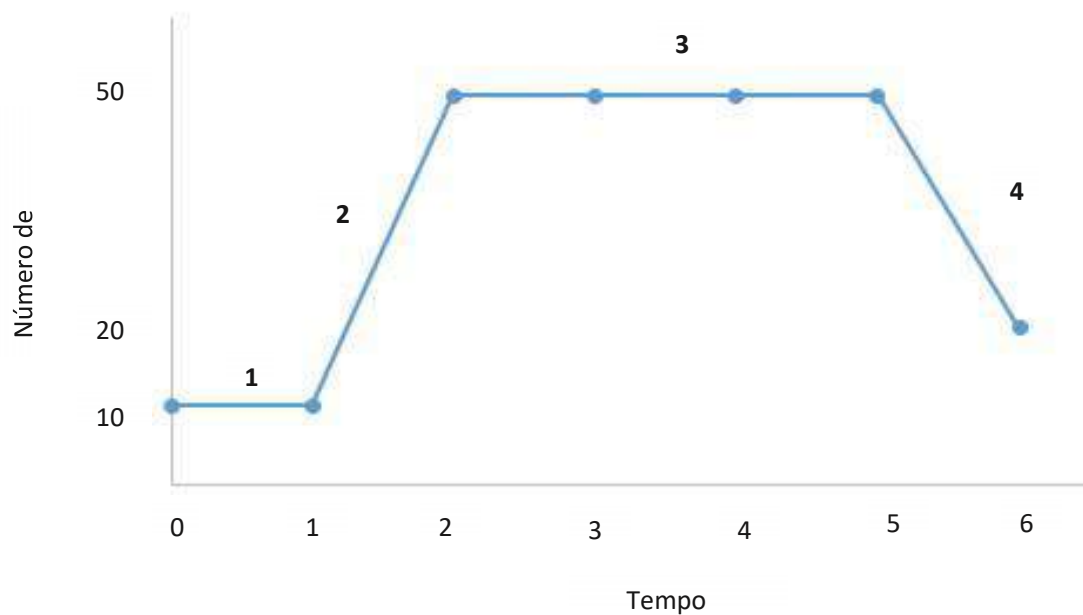
Quando falamos de crescimento bacteriano, alguns termos relacionados tornam-se importantes:

- » Taxa de crescimento: conhecido também como velocidade específica de crescimento, é a variação no número ou massa de microrganismos por unidade de tempo (SILVA, 2019).
- » Tempo de geração: é o intervalo de tempo para que uma célula bacteriana passe pela fissão binária dando origem a duas células-filhas:
 - › O tempo de geração é variável para diferentes organismos.
 - › Pode ter duração entre 10 a 20 minutos ou dias.
 - › O tempo de geração não é absoluto. Pode variar com as características genéticas e nutricionais do microrganismo.

Curva de crescimento bacteriano

O crescimento bacteriano *in vitro* pode ser descrito por uma curva chamada de curva de crescimento bacteriano. A curva de crescimento segue as mesmas características para as diversas espécies de bactérias. Na Figura 10 está representada a curva de crescimento genérica que é aplicável à grande maioria das espécies de bactérias.

Figura 10. Curva de crescimento bacteriano: 1 – Fase LAG; 2 – Fase LOG; 3 – Fase estacionária; 4 – Fase de morte.



Fonte: Imagem de autoria própria.

- » **Fase LAG ou latente:** na fase LAG o número de bactérias permanece constante. Estas ainda estão se “acostumando” com o meio ambiente na qual foram inseridas.
- » **Fase LOG ou de crescimento exponencial:** nesta fase ocorre o aumento expressivo da quantidade de bactérias. Estas estão como metabolismo em plena capacidade devido à abundância de nutrientes.
- » **Fase estacionária:** na fase estacionária, o número de indivíduos torna-se constante. É onde se obtém o número máximo de bactérias possíveis. A causa da parada do crescimento pode estar relacionada com a diminuição da disponibilidade de alimentos, aumento de metabólitos tóxicos ou esgotamento de O_2 .
- » **Fase de morte:** na fase de morte, a quantidade de bactérias vai diminuindo, tornando-se maior que a quantidade de indivíduos que surgem.

Fungos

Os fungos são organismos eucariotos unicelulares ou pluricelulares. Estes possuem parede celular constituída por polissacarídeos celulosídicos ou quitínicos, dependendo da espécie. Semelhante às bactérias, a função da parede celular é proteção e

sustentação. No geral, os fungos podem se reproduzir tanto de forma assexuada como sexuada.

Os fungos são identificados de acordo com suas características morfológicas sendo eles:

» leveduras;

» bolores;

» cogumelos.

As leveduras e bolores são fungos microscópicos. Os bolores formam colônias filamentosas (semelhante às fibras de algodão). Já as leveduras, apresentam-se em colônias pastosas, possuindo as mais diversas colorações.

As leveduras são estruturas unicelulares, possuindo morfologia arredondada, ovoide ou alongada. Os bolores, por sua vez, são organismos multicelulares, sendo sua unidade estrutural chamada de hifa.

Em nosso estudo, os cogumelos possuem menor importância, pois são seres macroscópicos de baixa contaminação industrial.

CAPÍTULO 2

Princípios básicos de esterilização

Introdução

A **esterilização** é um processo tanto químico quanto físico, que tem por objetivo eliminar microrganismos viáveis de uma determinada superfície. Tais superfícies podem ser:

- » alimentos;
- » componentes gerais como instrumentos cirúrgicos, instrumentos para coletas ginecológicas, entre outros;
- » produtos manufaturados, como medicamentos e meios de cultura.

Por convenção, um artigo é considerado estéril quando a probabilidade de sobrevivência dos microrganismos é de menos que 1:1.000.000 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2001). Ou seja, qualquer vida microbiana (vírus, bactérias, esporos, fungos, protozoários e helmintos) tem a probabilidade de 1 indivíduo para 1 milhão de permanecer viável, ou seja, ter sua capacidade reprodutiva e de sobrevivência mantidas.

Um outro conceito que é muito empregado dentro da indústria é o termo **desinfecção**. Diferentemente da esterilização, a desinfecção reduz o número de microrganismos a níveis seguros. Na desinfecção, geralmente são empregados agentes químicos como os sanitizantes e desinfetantes, tendo uma grande variedade no número de organismos que podem sobreviver a esse tratamento.

Métodos de esterilização

Dentro da indústria farmacêutica, a fabricação de um medicamento possui diversas etapas que são passíveis de contaminação. Tais etapas estão ligadas diretamente com a segurança e eficácia terapêutica do produto acabado.

Basicamente as operações na indústria farmacêutica podem ser divididas em dois grupos: operações físicas e operações mecânicas.

- » Operações físicas: as operações físicas são aquelas que produzirão alguma alteração no estado físico do fármaco ou droga.
- » Operações mecânicas: as operações mecânicas irão produzir efeitos apenas no aspecto interior do medicamento, não levam a alterações físicas ou químicas dos componentes da formulação.

Em cada tipo de operação pode ocorrer uma fonte de contaminação microbiana. Para que tenha segurança quanto à contaminação de produtos acabados, existem diversos tipos de métodos de esterilização a serem empregados. A seguir, tais métodos serão abordados de forma mais profunda.

Calor seco

O método por calor seco ocorre a partir de reações de oxidação, necessitando de altas temperaturas e períodos prolongados de exposição. Este tipo de esterilização é realizado em estufas onde a distribuição e calor seja homogênea.

Quadro 8. Valores de temperatura e tempo de exposição para a esterilização pelo método de calor seco.

Temperatura (°C)	Tempo de exposição (horas)
170	1
160	2
150	2,5
140	3
121	12

Fonte: Anvisa (2010).

A eficácia da esterilização por calor seco é dependente da quantidade de calor disponível e sua homogeneidade de distribuição, sendo sua principal desvantagem a demora na esterilização de materiais. Este método deve ser aplicado em materiais que são sensíveis ao calor úmido como por exemplo na esterilização de óleos e pós. Outra aplicação deste método é na esterilização de embalagens de vidros que contenham agentes parenterais.

Calor úmido

O método por calor úmido é amplamente utilizado, sendo considerado um dos métodos mais baratos de esterilização e ainda um dos mais seguros por não deixar resíduos nos materiais esterilizados.

O processo de esterilização por calor úmido ocorre em equipamentos chamados de **autoclaves** e tem por princípio a saturação do ar por vapor de água que irá coagular as proteínas presentes nos microrganismos.

A principal utilização do calor úmido é na esterilização de soluções que não contenham agentes degradáveis por temperatura. No quadro a seguir, estão descritos os valores de tempo de permanência e temperatura da autoclave necessários para a esterilização.

Quadro 9. Temperatura e tempo de permanência em autoclave necessário para a esterilização de materiais.

Temperatura (°C)	Tempo de permanência (minutos)
121	15
126	10
134	3

Fonte: Anvisa (2010).

Filtração

O método de filtração é um método físico onde não há a destruição do microrganismo. Este tipo de esterilização tem como princípio a remoção das partículas contaminantes pela utilização de barreiras físicas denominadas **membranas filtrantes**.

O método de filtração é principalmente empregado quando se quer esterilizar produtos líquidos que sofrem degradação quando em contato com calor. Dentre esses produtos, temos como exemplo soluções parenterais e soluções oftalmológicas.

As membranas utilizadas na filtração podem ser de diversos materiais, entre eles:

- » nitrato de celulose;
- » acetato de celulose;
- » fluorcarbonato;
- » cloreto de vinila;
- » nylon;
- » polímeros.

Cada membrana possui uma determinada aplicação devido suas características químicas. Por exemplo, a membrana de nitrato de celulose pode ser aplicada apenas em soluções aquosas, pois se em contato com solventes orgânicos, perde sua capacidade filtrante. Já a membrana de nylon, esta pode ser aplicada na purificação de solventes orgânicos, sendo inclusive utilizada em equipamentos de cromatografia.

Normalmente, os poros das membranas filtrantes possuem diâmetro de 0,2 μm , suficientemente pequeno para a retenção de bactérias e fungos. Para a retenção de vírus, este método não é adequado, pois a média de tamanho de uma partícula viral fica em torno de 20-300 nm, passando este facilmente pelos poros das membranas filtrantes.

Radiação ionizante

O método de esterilização por radiação ionizante ocorre através da irradiação de materiais por raios de alta energia como os raios ultravioleta, raios X e raios gama.

O princípio desta técnica consiste na alteração das moléculas de DNA e biomoléculas dos microrganismos por meio da formação de radicais livres.

Dentro da indústria farmacêutica, a radiação ionizante apresenta uma boa aplicabilidade, pois é capaz de esterilizar os produtos dentro de sua embalagem final. Esta vantagem diminui os custos de produção e elimina riscos de recontaminações. É aplicado principalmente para géis, líquidos e materiais compatíveis como plásticos e vidros.

Esterilização química

A esterilização química pode ser dividida em métodos químicos líquidos e métodos químicos gasosos.

Os métodos químicos líquidos são utilizados principalmente na limpeza de equipamentos e materiais, sendo considerados agentes sanitizantes. Dentre eles, podem ser citados o glutaraldeído, formaldeído, peróxido de hidrogênio e ácido peracético.

- » Glutaraldeído: geralmente é utilizado na concentração de 2%, sendo aplicado por um período de 30 minutos. Este agente promove alquilação no DNA e RNA do microrganismo, alterando a síntese proteica.
- » Formaldeído: o formaldeído promove a morte dos microrganismos através da alquilação de radicais amino e carboxil de proteínas, DNA e RNA

impedindo o funcionamento básico dessas células. Esta forma de esterilização química é pouco utilizada, pois é extremamente tóxica para

o operador e seu processo de desinfecção é demorado, levando cerca de 18 horas para eliminar completamente qualquer microrganismo.

- » **Peróxido de hidrogênio:** os mecanismos de ação da esterilização por peróxido de hidrogênio ocorrem pela desnaturação de proteínas e rupturas na membrana celular. O peróxido é capaz de transferir um oxigênio para os lipídeos presentes nas biomembranas, ocorrendo assim a peroxidação lipídica.
- » **Ácido peracético:** este ácido é composto por uma mistura de água, ácido acético e peróxido de hidrogênio, atuando como agente oxidante na parede celular dos microrganismos. A principal vantagem dessa solução é ser capaz de eliminar esporas a baixas temperaturas.

O principal método químico gasoso aplicado na indústria farmacêutica é a esterilização por **gás etileno (ETO)**. A grande vantagem da utilização do ETO é poder ser aplicado em grandes áreas devido à difusibilidade do gás, porém este método possui alto custo e deixa resíduos.

CAPÍTULO 3

Tópicos em controle microbiológico na indústria farmacêutica

Introdução

A indústria farmacêutica necessita seguir regras muito específicas quanto a garantia da qualidade de seus produtos. Esta deve garantir a qualidade tanto físico-química quanto microbiológica, a fim de promover a qualidade, segurança e eficácia dos medicamentos produzidos.

Dentro do controle microbiológico, existem metodologias específicas a serem seguidas para promover a qualidade de produtos estéreis e não estéreis. A seguir serão abordados os principais aspectos relacionados ao controle de qualidade microbiológico e os parâmetros relacionados.

Meios de cultura

Para se realizar os ensaios microbiológicos é necessário conhecer quais os meios de cultura adequados para a pesquisa de fungos e bactérias.

Por definição, os meios de culturas são sistemas artificiais destinados a criar um ambiente adequado ao crescimento de microrganismos em laboratório. Estes podem ser clinicamente definidos, como por exemplo os meios simples, compostos de sais, como o meio Sabourad, ou não definidos como os meios compostos por extrato de leveduras e hidrolisados proteicos como o TSB.

Meios gerais: são aqueles que proporcionam um ambiente adequado para um grande número de microrganismos. Exemplo: meio TBS.

Meios diferenciais: são meios que possuem uma ou mais substâncias que ajudam a visualizar características dos microrganismos. Exemplo: meio ágar sangue, permite verificar se o microrganismo que crescer neste tipo de meio tem capacidade hemolítica.

Meios seletivos: são meios cuja composição limita o crescimento a certas classes de microrganismos. Exemplo: ágar cetrímida, que possui um agente antimicrobiano (cetrímida), que seleciona apenas o crescimento de bactérias.

Nos controles microbiológicos são utilizados tanto meios sólidos, adicionados de ágar, quando meios líquidos.

Fatores que podem influenciar o crescimento microbiano

Influência do pH

Bactérias: o pH ótimo de crescimento de bactérias varia entre 6,8 a 7,4.

Fungos: possuem capacidade de crescimento em uma ampla faixa de pH, inclusive em pH muito ácidos.

Influência da temperatura

Os microrganismos podem ser classificados quanto sua temperatura de crescimento. Eles podem ser classificados como:

- » Termófilas: preferem temperaturas mais altas ($t > 40^{\circ}\text{C}$).
- » Mesófilas: preferem temperaturas médias ($t \sim 35^{\circ}\text{C}$).
- » Psicrófilas: preferem temperaturas mais baixas ($t < 30^{\circ}\text{C}$).

As bactérias pesquisadas no controle microbiológico da indústria farmacêutica possuem uma temperatura ótima de crescimento de 33°C e ficam incubadas durante 48h. Já os fungos, crescem à temperatura de 25°C e ficam incubados durante 5 dias.

Influência do oxigênio

Quanto à influência do pH, os microrganismos podem ser classificados como:

- » Aeróbias: crescem na presença de oxigênio.
- » Anaeróbias: crescem na ausência total de oxigênio.
- » Anaeróbias facultativas: podem crescer na presença ou ausência de oxigênio.
- » Microaerófilas: crescem à uma atmosfera contendo 20% de oxigênio.

Controle de qualidade da água potável

Na indústria farmacêutica, fundamentalmente, são utilizados três tipos de água. São elas: água potável, água purificada e água para injetáveis.

Água potável

A água potável é aquela obtida das companhias de abastecimento como a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), entre outras. Ela é caracterizada por possuir sólidos dissolvidos (íons), cloro e sólidos em suspensão. Seu uso é amplo e inclui lavagem de equipamentos.

Em termos microbiológicos, a legislação estipula (ANVISA, 2010):

- » Máximo de 500 UFC (Unidades Formadoras de Colônias) por mililitro de água para microrganismos aeróbios totais.
- » Ausência de coliformes totais e fecais em 100mL de água.

Água purificada (PW)

É um tipo de água obtida a partir da água potável, por deionização, destilação ou osmose reversa.

Possui baixos índices de sais dissolvidos, sólidos em suspensão e microrganismos.

Os limites estipulados pela legislação são:

- » Máximo de 100 UFC/mL para aeróbios totais.
- » Ausência em 10mL de:
 - › *Escherichia coli*.
 - › *Staphylococcus aureus*.
 - › *Pseudomonas aeruginosa*.

Água para injetáveis (WFI)

É um nível de água ainda mais rigoroso. Obtido por meio de destilação ou osmose da água purificada sendo os limites microbiológicos de:

- » Máximo de 10 UFC/mL para aeróbios totais.
- » Máximo de 0,25 unidades de endotoxinas/mL.

Controle de qualidade microbiológico da água

Para a água purificada e a água para injetáveis, o controle de qualidade utiliza o método de pesquisa de patogênicos e contagem por filtração. Para a água potável, são utilizadas duas técnicas: contagem por filtração ou número mais provável e determinação de coliformes totais e fecais.

Contagem por filtração

A amostra, com volume de 10 mL, é filtrada por uma membrana estéril, com porosidade de 0,45 μm , em geral com 47 mm de diâmetro. Em seguida, a membrana é incubada sobre um meio sólido que pode ser o TSA ou PCA.

Como as bactérias, de forma geral, possuem um tamanho de 2 μm estas ficam retidas na membrana.

O laudo com o resultado da análise deve ser liberado por um técnico responsável e as unidades formadoras devem ser expressas em UFC/mL.

Para análises em que não ocorre nenhuma formação de colônia, o resultado deve ser expresso como <1 UFC/mL.

Número mais provável de microrganismos

Este método é baseado em probabilidade ou estimativas. Indica um valor dentro de uma faixa, que reflete o número de microrganismos presentes.

Porém, é um método impreciso, aplicado apenas para a análise de água. Possui como vantagem uma melhor revitalização dos microrganismos em relação ao meio sólido.

Especificidade da metodologia:

- » Utiliza-se meios líquidos.

- » Realiza-se diluição seriada da amostra.
- » Trabalha-se com triplicatas ou quintuplicatas.
- » Utiliza-se uma Quadroestatística específica que fornece a combinação de resultados e com o número mais provável de microrganismos por g/mL, assim como os limites inferiores e superiores.

Controle de produtos não estéreis

O controle de qualidade microbiológico de produtos não estéreis é composto de dois testes que são realizados paralelamente:

- » contagem;
- » pesquisa de patogênicos.

Contagem

Atualmente, ainda não são estabelecidos uma quantidade máxima de microrganismos em produtos farmacêuticos.

Sabe-se que para produtos cosméticos, a legislação brasileira estabelece:

- » **Produtos tipo I:** aqueles para uso infantil ou que terão contato com mucosas. O limite de microrganismos é de 10^2 UFC/g para aeróbios totais.
- » **Produtos tipo II:** os demais, com limite de 10^3 UFC/g para aeróbios totais.

A contagem pode ser realizada por várias técnicas, como:

- » número mais provável; » diluição seriada e plaqueamento; » filtração.

Técnica de diluição seriada e plaqueamento

É a técnica mais utilizada para o controle de matéria-prima e produtos acabados. Consiste em uma série de diluições decimais da amostra que são plaqueadas em meio sólido.

Parâmetros:

- » Em placas com 9 cm de diâmetro: contagem máxima de 300 colônias, sendo o recomendado é > 30 colônias.

Semeadura em superfície e semeadura em profundidade

Semeadura em superfície: é uma técnica utilizada quando existe a necessidade de se verificar a morfologia da colônia. Esta consiste na transferência de um pequeno volume de amostra (tipicamente 100 μL) sobre a superfície de um meio sólido.

Semeadura em profundidade: é uma técnica utilizada para contagem de colônias, pois admite maiores volumes de amostra (1mL), o que aumenta a exatidão dos resultados. Consiste na mistura de uma amostra com o meio de cultura fundido à temperatura de 45°C. as colônias se distribuem pela profundidade do meio de cultura.

Contagem de patógenos

A contagem de microrganismos patogênicos é composta de três etapas:

- » Enriquecimento: recupera os microrganismos “estressados” e aumenta o seu número para facilitar a detecção.
- » Diferenciação: com o uso de meios seletivos/diferenciais busca a presença de um patógeno específico.
- » Confirmação: com o uso de testes bioquímicos, tem por objetivo confirmar se o microrganismo encontrado é, de fato, um organismo patogênico.

Principais organismos patogênicos:

- » *Escherichia coli*.
- » *Staphylococcus aureus*.

» *Pseudomonas aeruginosa*.

» *Salmonella sp.*

Principais meios de cultura para contagem de patógenos:

» Ágar cetrimida.

» Ágar Vogel Johnson.

» Ágar Baird Parker.

» Ágar endo.

Controle de qualidade de produtos estéreis

A avaliação da esterilidade de um produto é um processo complexo, visto que apenas o exame destrutivo de todas as unidades pode garantir, com 100% de certeza, a eficiência do processo de esterilização.

Atualmente é consenso que, qualquer que seja o teste de esterilidade, sua validade é restrita para:

- » lotes produzidos sob as boas práticas de fabricação;
- » processo de esterilização validado;
- » observação do conceito de lote, do ponto de vista microbiológico.

Teste de esterilidade

A esterilidade de uma amostra é verificada pela sua inoculação em meio de cultura estéril, caso não ocorra crescimento, a amostra é considerada estéril.

Uma amostra pode estar contaminada por:

- » bactérias;
- » fungos;
- » vírus.

O teste de esterilidade deve ser capaz de promover o crescimento de qualquer um dos microrganismos citados para garantir que a amostra esteja estéril. Para isso são utilizados dois meios de cultura:

- » Caldo caseína-soja: meio com pH neutro, rico em nutrientes.
- » Caldo tioglicolato fluído: meio rico em nutrientes, com viscosidade aumentada para reduzir a difusão de oxigênio e contendo indicador de anerbiose (resazurina).

Teste de esterilidade pelo método direto: a amostra é colocada diretamente em contato com o meio. Utiliza-se uma ampola por tubo teste e uma agulha por tubo.

Teste de esterilidade pelo método indireto: a amostra é filtrada por uma membrana estéril de 0,45 µm de porosidade que é partida ao meio e inoculada nos caldos. A vantagem desse método é que se gasta menos meio de cultura.

Pirogênios e endotoxinas bacterianas

As primeiras tentativas de tratamento por infusão parenteral resultaram em muitos fracassos, a princípio por motivos inexplicados. Embora as soluções fossem estéreis, os paciente tinham febres altas, levando inclusive à morte. Esses agentes desconhecidos receberam o nome de pirogênios. Posteriormente, a natureza química desses elementos foi definida:

- » restos de cápsula viral;
- » restos de microrganismos (DNA, RNA);
- » frações plasmáticas;
- » restos de parede celular de bactérias Gram-negativas (endotoxinas bacterianas).

Estas substâncias induzem um desequilíbrio no centro termorregulador do hipotálamo, causando o aumento da temperatura corpórea. Sua fagocitose leva à formação de outros compostos que podem ocasionar o aumento da pressão arterial, agregação plaquetária e necrose da medula óssea.

As **endotoxinas bacterianas** são uma classe de pirogênios originada do lipopolissacarídeo da parede celular das bactérias Gram-negativas. Suas características são:

- » alto peso molecular;
- » em água possuem carga negativa;
- » são lipofílicos;

- » não fica retido em membranas; »
- são termoestáveis.

Métodos para a despirogenização

Alguns métodos podem ser utilizados para a despirogenização de produtos farmacêuticos:

- » Utilização de água oxigenada: oxida o lipopolissacarídeo.
- » Solução de NaOH 1M: promove a hidrólise alcalina.
- » Carvão ativo: retém o pirogênio em seus poros.
- » Ultrafiltração: membranas com poros muito pequenos (com rejeição de 3.000 Daltons → passa apenas moléculas com menos de 30.000 Daltons).
- » Filtração potencial zeta positivo: devido à carga negativa, os pirogênios ficam aderidos à superfície.
- » Esterilização à 250 °C.

Deve-se observar que os métodos citados acima devem ser escolhidos de acordo com as características físico-químicas dos fármacos, para que não ocorra a inativação e/ou degradação do princípio ativos.

DESENHOS DE PROCESSOS

UNIDADE VIII

CAPÍTULO 1

Processos de produção de fármacos sólidos

Introdução

A cadeia produtiva farmacêutica envolve tanto a produção de princípios ativos quanto suas formas acabadas.

A produção de princípio ativo envolve diversas técnicas de química orgânica que visam obter a molécula pura e caracterizada conforme à necessidade terapêutica a que ela foi desenvolvida. As formas acabadas, como por exemplo, comprimidos, drágeas, soluções orais, são os “veículos” de transporte dos princípios ativos e também seguem processos rigorosos a fim de se obter o produto com melhor segurança e qualidade.

A seguir serão apresentados os principais processos para a obtenção das formas acabadas de medicamentos.

Comprimidos revestidos

Os comprimidos revestidos são formas farmacêuticas sólidas constituídas por um núcleo básico de comprimido revestido com um material polimérico.

Essa forma farmacêutica possui vantagens como:

- » Liberação entérica.
- » Liberação modificada.
- » Proteção quando o princípio ativo for susceptível à hidrólise ácida.
- Princípio ativo com sabor desagradável.
- » Quando o princípio ativo for sensível à luz, calor e umidade.
- » Quando houver necessidade de modificações no seu tempo de liberação.

São dois os tipos de revestimentos que podem ser utilizados:

- » *Sugar coating*: produz a drágea.
- » *Film coating*: produz os comprimidos revestidos.

Equipamentos

»

Para a fabricação dos comprimidos revestidos é utilizado um equipamento conhecido como drageadeira (Figura 11). Este tipo de equipamento é dependente de um operador que necessita mover uma manivela para manter os comprimidos em movimento e a injeção de ar quente, para que ocorra a secagem.

Figura 11. Drageadeira.



Fonte: <https://www.incalfer.com.br/drageadeira>. Acesso em: 19 ago. 2019.

Os equipamentos utilizados no revestimento de comprimidos precisam possuir:

- » Movimento de rotação constante.
- » Estar a 48° do leito de comprimido.
- » Insuflador da solução ou dispersão de revestimento.
- » Insuflador de ar quente.

Outros tipos de equipamentos que podem ser utilizados são:

- » Turbina de Pellegrini.
- » *Hi-coater system*.
- » *Driacoater*.
- » Sistemas de leito fluidizado.

Fatores a serem considerados no processo

Diversos são os fatores que devem ser considerados dentro da fabricação de comprimidos revestidos. São eles:

- » Movimentação constante: é definido na etapa de desenvolvimento do processo e garante a melhor cobertura dos comprimidos.
- » Remoção do ar por temperaturas elevadas.
- » Segurança: está relacionado com a natureza do solvente que está sendo utilizado para a solubilização do agente de revestimento. É necessário utilizar um solvente que seja o menos prejudicial possível para o operador (exemplo: água, acetona, etanol).
- » Exaustão: promover a recuperação do solvente, evitando o despejo no meio ambiente.
- » Método de adição do revestimento: está relacionado à quantidade de revestimento aplicado.

Fatores externos e internos que influenciam na formação do filme

Alguns fatores podem interferir na formação do filme de revestimento dos comprimidos. Dentre eles, podem ser citados:

- » Oxidação do corante, desbotando a coloração do revestimento.

- »
» Contaminação microbiológica: devido à natureza química do revestimento.

Adjuvantes utilizados na formulação: diluente, lubrificante, desintegrantes podem acelerar o processo de degradação do comprimido.

Alguns problemas podem ocorrer na etapa de revestimento dos comprimidos. Alguns são comuns a ambos os tipos de revestimentos (sugar coating e *film coating*) e outros específicos a cada um deles.

Problemas associados aos dois tipos de revestimento

Picking: pequena quantidade de fragmentos de filme sobre a superfície dos comprimidos formados.

Peeling: grande quantidade de fragmentos de filme sobre a superfície dos comprimidos formados.

Casca de laranja: incapacidade das gotículas do líquido atomizado coalescer. Ocorre quando há a presença de muito sólido (porcentagem ideal é entre 20 a 25%).

Mottling: distribuição irregular de corante sobre a superfície do comprimido devido à coloração do fármaco presente no núcleo.

Bridging: preenchimento do sulco ou do logotipo do comprimido pelo filme.

Erosão do comprimido: desfiguração do núcleo de comprimido submetido a períodos longos de contato com a solução de revestimento.

Problemas relacionados ao sugar coating

Núcleo: fragmentação do núcleo (o mínimo de massa aceito para este processo é de 300mg).

Revestimento

Fissuras: aumentar o teor de substâncias elásticas. Exemplo: glicerina, óleo de rícino, propilenoglicol etc.

Rompimento/quebra: expansão do núcleo durante ou após o processo por absorção de umidade.

Adesão/aglomeração: secagem inadequada do polímero.

Coloração irregular: migração do corante.

Marmorização: oxidação do corante pela luz, temperatura e oxidação.

Problemas relacionado ao *film coating*

Adesão: umidade excessiva. Medida para solucionar o problema: alta temperatura e velocidade de secagem e baixa taxa de aplicação.

Aspereza: secagem rápida. Alta concentração de polímeros.

Casca de laranja: difusão inadequada da solução por aumento da viscosidade da solução. Medida para solucionar o problema: diluição da solução.

Formação de bolha: evaporação rápida.

Opacidade do filme: aumento da concentração do polímero ou opacificante.

Variação de cor: mistura insuficiente e migração.

Cracking: estresse do filme (muito revestimento).

Comprimidos

Os comprimidos são as formas farmacêuticas mais pesquisadas e de maior giro de mercado. Este tipo de forma possui vantagens físico-químicas e microbiológicas em comparação a outras. São elas:

- » aspecto bonito;
- » facilidade de transporte;
- » maior estabilidade físico-química e microbiológica;
- » facilidade de deglutição;

- »
- » precisão na dosagem do princípio ativo;
- » controle da liberação de fármacos.

A desvantagem principal dessa forma está relacionada à deglutição por pacientes infantis, doentes e idosos.

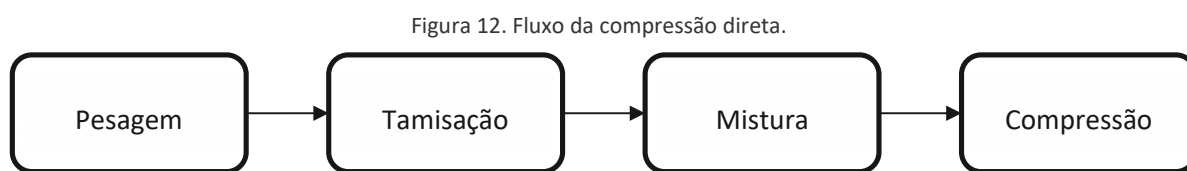
Processos de obtenção de comprimidos

Basicamente, são três os processos de obtenção de um comprimido:

1. Compressão direta.
2. Granulação úmida.
3. Granulação seca.

Compressão direta

É a primeira escolha entre os processos por ser mais barata e rápida. O processo segue o fluxo:



Fonte: Imagem de autoria própria.

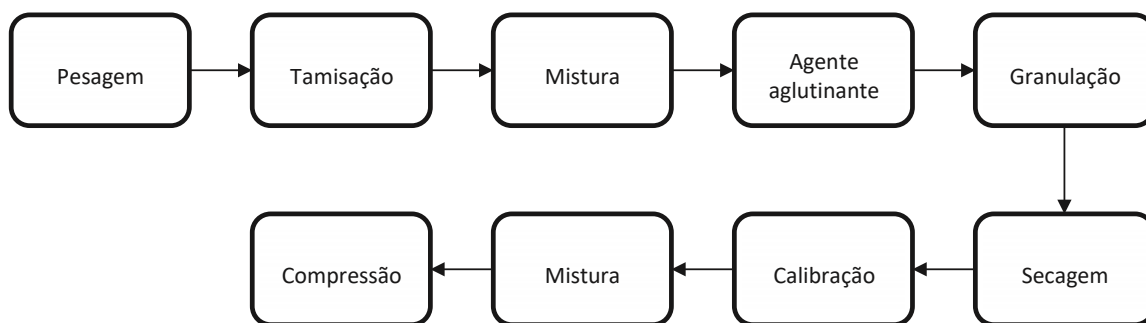
- » Pesagem: pesagem da matéria-prima a ser utilizada na produção do comprimido.
- » Tamisação: etapa com a finalidade de deixar todas as partículas com o mesmo tamanho.
- » Mistura: mistura de todos os componentes.
- » Compressão: aplicação de força para a junção de todos os componentes.

Deve-se ressaltar que para a preparação dos comprimidos com substâncias de difícil coesão são utilizados agentes aglutinantes como metilcelulose microcristalina.

Granulação úmida

A granulação úmida envolve mais etapas em comparação à compressão direta. Este tipo de processo é utilizado quando as matérias-primas apresentam elevada resistência à compressibilidade, não ocorrendo a aglutinação do material. Este processo segue o fluxo:

Figura 13. Fluxo da granulação úmida.



Fonte: Imagem de autoria própria.

Na etapa de granulação é utilizada uma malha para garantir de que todos os grânulos apresentem os mesmo tamanho.

Aditivos utilizados na granulação úmida

Alguns aditivos podem ser utilizados neste tipo de processo. Dentre eles, podem ser citados os lubrificantes e os superdesintegrantes.

Lubrificantes: existem dois tipos: **1. Deslizante:** utilizado para que o comprimido escorregue melhor no alimentador. Exemplo: talco.

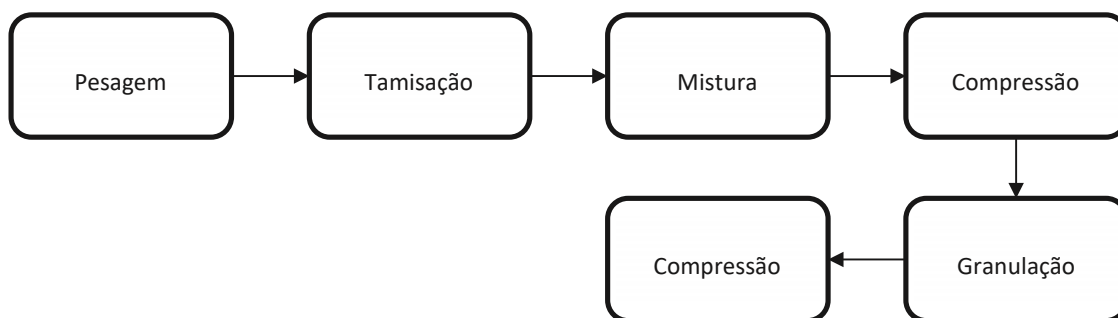
2. Antiaderente: evita que os pós grudem no equipamento na etapa de compressão e na matriz. Exemplo: estearato de magnésio.

Superdesintegrantes: são adicionados na mistura final. O ideal é a adição de 50% do desintegrante na primeira mistura e 50% na segunda mistura para que ocorra o fenômeno da dupla desintegração.

Granulação seca

Este processo é utilizado principalmente para fármacos termolábeis que não possuem coesão entre suas partículas. Este processo segue o fluxo:

Figura 14. Fluxo da granulação seca.



Fonte: Imagem de autoria própria.

A primeira compressão produz comprimidos irregulares com o objetivo de promover a primeira aglutinação do princípio ativo e adjuvantes.

Classificação das compressoras

As compressoras utilizadas na produção de comprimidos podem ser excêntricas ou rotativas:

- » Excêntricas: possui uma única matriz e pressão (estação única).
- » Rotativas: possui várias matrizes e pressões.

Componentes do comprimido

1. Diluentes: são componentes responsáveis por dar a forma de volume ao comprimido. Permite a compressão. Exemplos: lactose, amido, talco, celulose microcristalina.
2. Aglutinantes: pó ou solução que permite melhor coesão entre as partículas na granulação. Exemplo: polivinilpirrolidona (PVP), amido, gomas, gelatina.
3. Desintegrantes: facilitam a desagregação no organismo. Exemplo: amido, croscarmelose sódica.
4. Lubrificantes, antiaderentes e deslizantes: reduzem a fricção e facilitam a ejeção, diminuem a adesão dos grânulos ou pós na matriz. Exemplo: estearato de magnésio, talco, sílica coloidal.

5. Outros componentes específicos: polímeros formadores de matriz ou para revestimento, corantes, edulcorantes, aromatizantes.

CAPÍTULO 2

Processos de produção de fármacos líquidos

Introdução

Os processos de produção de fármacos líquidos, necessariamente, seguem parâmetros mais rigorosos quanto ao controle de qualidade microbiológico pela utilização essencial da água como veículo. Dentre os fármacos líquidos a serem estudados temos as soluções oftálmicas e produtos injetáveis.

Soluções oftálmicas

As soluções oftálmicas são formas farmacêuticas estéreis utilizadas no tratamento de afecções do globo ocular, incluindo a pálpebra, conjuntiva e córnea, ao preparo préoperatório, para fins diagnósticos ou à limpeza do globo ocular (CONSIGLIERI, 2019).

As soluções oftálmicas necessitam ser estéreis pois o olho não apresenta microbiota. Qualquer tipo de infecção irá causar danos irreversíveis ou cegueira devido à fragilidade da mucosa.

Os requisitos para as soluções oftalmológicas são:

- » esterilidade;
- » isotonicidade com a lágrima;
- » pH adequado: tamponamento;
- » preparações conservadas;
- » acondicionamento adequado.

Processo de produção de soluções oftalmológicas

Por ser uma solução estéril, a preparação de soluções oftalmológicas necessita de alguns requisitos que garantam a qualidade e segurança do produto. Dentre tais requisitos estão a paramentação adequada, área limpa e purificação da água.

Paramentação

São utilizados macacões do tipo Tyveck®, com capuz e totalmente estéril. Este tipo de vestimenta garante que o corpo ou fragmentos do operador não entrarão em contato com os equipamentos e as formulações.

Área limpa

A classificação de área limpa para soluções oftalmológicas é chamada de classe A. Possui como parâmetros:

- » Partículas/m³ ≥ 0,5 µm: 3520.
- » Amostragem ativa do ar por níveis de ação (UFC/m³): 1.
- » Placas de sedimentação por níveis de ação (diâmetro de 90 mm; UFC/4 horas): 1.

Purificação da água

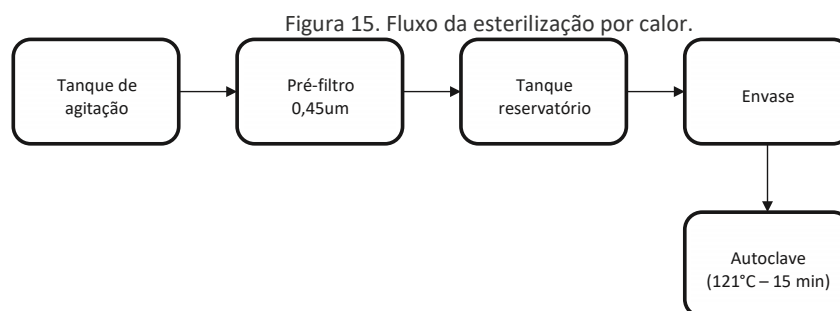
Segundo a *U.S. Pharmacopeia* a água utilizada na preparação de soluções oftálmicas necessita ser a água para injeção, pois garante a esterilidade da preparação.

Esterilização das soluções oftálmicas

Existem basicamente dois métodos para a esterilização de soluções oftálmicas. São eles: Esterilização terminal por calor e esterilização terminal por filtração.

Esterilização terminal por calor

O método de esterilização terminal por calor é utilizado apenas quando o fármaco não é termolábel (é estável à temperatura de 121°C).

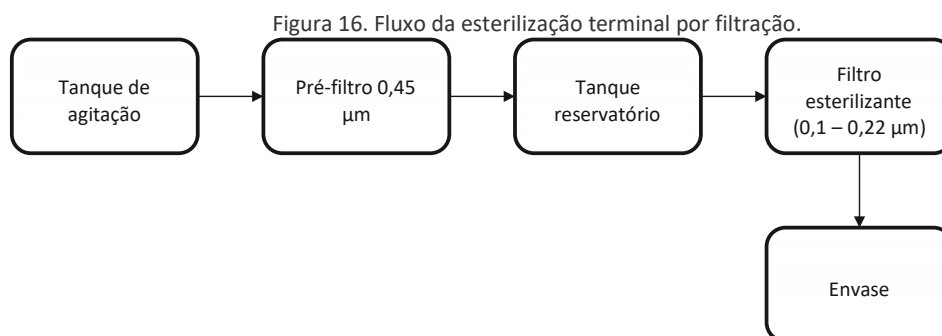


Fonte: Imagem de autoria própria.

Esterilização terminal por filtração

A esterilização terminal por filtração não pode ser utilizada para suspensões, pois os poros da membrana filtrante reteriam os princípios ativos. É aplicado principalmente para fármacos termolábeis.

O processo de esterilização segue o fluxo a seguir:



Fonte: Imagem de autoria própria.

Aditivos de uma solução oftalmológica

Alguns aditivos podem ser inseridos em uma solução oftalmológica para garantir a estabilidade das formulações. São eles:

Conservantes

- » Devem possuir largo espectro de ação.
- » Eficaz para inibir o crescimento de *P. aeruginosa*.
- » Estabilidade durante o processo de autoclavação e armazenamento.
- » Não irritante/sensibilizante.
- » Ação rápida após a quebra de esterilidade.
- » Atóxico.
- » Compatível com isotonia e pH.
- » Apresentar boa solubilidade.
- » Exemplo: cloreto de benzalcônio.

Outros aditivos

- » Antioxidantes (sulfitos e bissulfitos).
- » Água (isenta de contaminação).
- » Glicerina, propileno, polietilenoglicol.
- » Agentes espessantes (metilcelulose).

Injetáveis

Os injetáveis são formas farmacêuticas líquidas, destinados à aplicação parenteral. Estes devem ser estéreis e sem a presença de pirógenos.

Tipos:

- » Intradérmica: administração entre a derme e epiderme com a agulha à 45°.
- » Subcutânea: um pouco mais profunda. Por causa do ácido hialurônico presente, a absorção do fármaco é mais lenta.
- » Intramuscular: alta vascularização, podendo ser injetado até 5mL do produto.
- » Intravenosa: não possui absorção por ir direto na corrente sanguínea.

Componentes

Os principais componentes dos injetáveis são:

- » Água grau água para injetáveis.
- » Óleos: utilizado quando princípio ativo não é estável e água.
- » Álcoois.
- » Tampões: garante pH estável até a validade.
- » Isotonizantes.
- » Antioxidantes.

- » Quelantes: sequestrante de metais.
- » Conservantes.
- » Anestésicos.
- » Tensoativos: aumenta a taxa de partículas em suspensão.

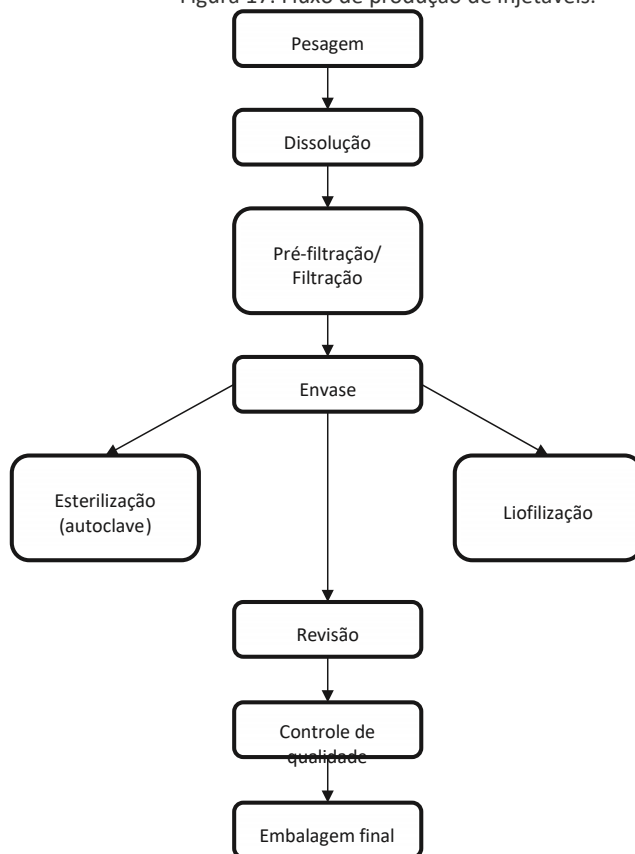
Requisitos

Os injetáveis possuem como requisitos principais a esterilidade e apirogenicidade. A sua produção requer ambiente limpo e fluxo laminar, sendo a classificação da sala limpa como classe A.

Produção de injetáveis

O fluxo de produção de injetáveis seguem algumas etapas. Na figura a seguir estão apresentadas tais etapas:

Figura 17. Fluxo de produção de injetáveis.



Fonte: Imagem de autoria própria.

VALIDAÇÃO DE PROCESSOS FARMACÊUTICOS: PROCESSOS E LIMPEZA

UNIDADE IX

CAPÍTULO 1

Validação de processos

Introdução

Segundo o FDA, a validação de um processo constitui na ação documentada que prevê com alto grau de segurança que um determinado produto irá corresponder às especificações pré-estabelecidas e os atributos de qualidade.

Segundo a RDC 17/2010 validação de processo é a evidência documentada que atesta com alto grau de segurança que um processo específico produzirá um produto de forma consistente, que cumpra com as especificidades pré-definidas e características de qualidade (ANVISA, 2010).

Etapas da validação de processos

A validação de processos segue três etapas:

1. Desenho do processo.
2. Qualificação do processo.
3. Verificação contínua do processo.

Considerações gerais da validação de processos

Em todos os estágios do ciclo de vida do produto, um bom gerenciamento de projeto e um bom arquivamento de resultados tornarão o programa de validação de processo eficiente e eficaz (FDA, 2011).

A seguir, são descritas as práticas que garantem a coleta e validação das informações geradas no processo de validação:

- » Utilização de uma equipe integrada com diversos tipos de formações (engenharia de processo, farmácia industrial, química analítica, microbiologia, estatística, manufatura e garantia de qualidade).
- » Durante todo o ciclo de vida do produto, vários estudos podem ser iniciados para descobrir, observar, correlacionar ou confirmar informações sobre o produto e o processo.
- » Todos os atributos e parâmetros devem ser avaliados em termos de suas funções no processo e impacto no produto ou no material em processo e reavaliados à medida que novas informações se tornam disponíveis.
- » Homogeneidade dentro de um lote e consistência entre lotes são objetivos das atividades de validação do processo. A validação oferece a garantia de que um processo é razoavelmente protegido contra fontes de variabilidade que possam afetar a produção, causar problemas de suprimento e afetar negativamente a saúde pública.

Desenho do processo

O objetivo da etapa de desenho do processo é definir o processo adequado para a produção de lotes comerciais que estejam dentro das normas de qualidade préestabelecidas.

Esta etapa deve ocorrer conjuntamente com a etapa de desenvolvimento do produto, incluindo lotes de desenvolvimento, lotes piloto, lotes de estudo clínico e bioequivalência.

Os estudos realizados nesta etapa necessitam ser documentados, sendo toda a informação obtida útil para a qualificação e estágios de verificação continuada.

UNIDADE VII | CONTROLE MICROBIOLÓGICO NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

Qualificação de processo

A etapa de qualificação de processo engloba três frentes: projeto de instalação, qualificação dos sistemas computadorizados, equipamentos, utilidades e áreas de

fabricação; calibração de instrumentos de medição; qualificação do desempenho de processo.

Projeto da instalação e qualificação dos equipamentos

É necessário antes de iniciar o processo, realizar a verificação das áreas de fabricação, instalações, instrumentos, sistemas computadorizados e equipamentos para que estes estejam com funcionamento adequado para o uso a que se destina.

Qualificação de desempenho de processo

A qualificação do desempenho de processo verifica a combinação entre o funcionamento de equipamentos e instrumentos e a mão de obra de pessoal qualificado e treinado. O sucesso da qualificação de desempenho determina o desempenho total do processo verificado.

Verificação contínua do processo

Esta etapa tem por objetivo garantir continuamente que o processo permanece em estado de controle durante a fabricação dos lotes comerciais. É necessário ter um sistema de detecção de desvios e realizar a revisão periódica do processo validado. Os dados obtidos nesta etapa devem ser tratados estatisticamente e revisado por pessoal qualificado.

Preparação do relatório de validação

O relatório de validação é um compilado de informações que são obtidas durante a validação do processo de produção do medicamento.

Este tem por objetivo conhecer o produto e seu processo produtivo antes de submetê-lo ao registro, reduzindo alterações pós-registro.

Os relatórios de validação devem conter:

1. Descrição do processo produtivo, incluindo informações de operação, limite de processo e entrada de material.
2. Identificação de todos os lotes avaliados, incluindo os lotes de desenvolvimento e pilotos.
3. Resumo das etapas e parâmetros críticos.

4. Lista de equipamentos e instalações.
5. Justificativa dos controles de processo.
6. Plano de amostragem.
7. Métodos estatísticos utilizados.
8. Avaliação do processo em condições extremas para determinar sua robustez.
9. Resultados obtidos.
10. Planos de atividades de validação.
11. Conclusão.

CAPÍTULO 2

Validação de limpeza

Introdução

A validação de limpeza tem por objetivo controlar a contaminação cruzada de medicamentos. Esta é definida como a evidência documentada de que os procedimentos de limpeza sejam capazes de remover os resíduos a níveis pré-determinados de aceitação levando em consideração fatores tais como tamanho do lote, dose, toxicologia e tamanho do equipamento a ser limpo (ANVISA, 2019).

As substâncias que são utilizadas na produção de insumos farmacêuticos devem ser completamente eliminadas e não podem ser detectadas no produto final nem permanecerem nos equipamentos ou utensílios, contaminando os próximos lotes de produção. Assim, a validação de limpeza é bastante complexa, mas faz-se necessária para garantir a qualidade do produto.

Níveis de limpeza

O nível de limpeza que assegura que o insumo farmacêutico ativo esteja livre de contaminação por substâncias provenientes do processo de produção anterior varia de acordo com a criticidade da etapa produtiva e da próxima substância a ser fabricada no mesmo equipamento.

Os níveis de limpeza estão sumarizados a seguir:

Quadro 10. Níveis de limpeza.

Nível	Abrangência da limpeza	Validação da limpeza
2	Substâncias passíveis de serem transferidas do lote anterior são críticas, dessa forma a limpeza é necessária até que o limite determinado da quantidade transferida seja alcançado.	Essencial
1	Substâncias passíveis de serem transferidas do lote anterior são menos críticas sendo que a limpeza deve reduzir a quantidade potencial transferida para um limite menos severo do que o necessário para o nível 2.	De não obrigatória a necessária (Limites menores de produtos transferidos aceitáveis).
0	Somente limpeza bruta, se as substâncias passíveis de serem transferidas do lote anterior não são críticas.	Não necessária

Fonte: Anvisa (2019).

Elementos da validação de limpeza

São diversos os elementos relacionados na validação de limpeza. São eles:

- » Definição dos critérios de aceitação.
- » Definição dos procedimentos de limpeza, incluindo: identificação do equipamento; caracterização dos produtos (produto prévio – atividade/toxicidade, solubilidade e produto subsequente – dosagem e tamanho de lote) e determinação e caracterização dos agentes de limpeza.
- » Desenvolvimento dos métodos analíticos e suas respectivas validações.
- » Desenvolvimento dos procedimentos de amostragem e respectivas validações necessárias.
- » Preparação do protocolo de validação e do plano de teste.
- » Preparação do relatório de validação (ANVISA, 2019).

Passos para a execução da validação de limpeza

A seguir, são descritos os passos para a execução da validação de limpeza conforme orientação do “Guia de Validação de Limpeza para Farmoquímicas” (ANVISA, 2019).

Determinar o procedimento de limpeza mais apropriado ao equipamento:

- » estabelecimento do critério de aceitação do contaminante;
- » estabelecer métodos de limpeza;
- » todos os processos de limpeza devem ser descritos como Procedimento Operacional Padrão.

Desenvolver e validar o método de amostragem e selecionar os métodos analíticos utilizados na determinação dos resíduos: » esfregaço; » rinsagem.

UNIDADE VII | CONTROLE MICROBIOLÓGICO NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

Avaliar as superfícies do equipamento:

- » Determinação dos pontos mais difíceis de limpeza.
- » Determinar o volume de solvente a ser utilizado na rinsagem.
- » Determinar a área do equipamento.

Elaborar o protocolo de validação para o produto e o equipamento a ser limpo. O protocolo deve conter:

- » introdução;
- » escopo;
- » equipamento;
- » procedimento de limpeza;
- » procedimento de amostragem;
- » procedimentos analíticos;
- » limites de limpeza/aceitação; »
- critérios de aceitação para a validação;
- » teste de recuperação.

Elaborar o relatório de validação detalhando a aceitabilidade do procedimento de limpeza para o equipamento e o produto.

O relatório precisa fornecer dados técnicos detalhados obtidos no estudo de validação de limpeza e conter a avaliação de todos os dados gerados em relação aos critérios de aceitação empregados no estudo. Ainda, devem incluir os desvios encontrados durante o processo de validação.

Referências

ALLEN, L. V. Jr.; POPOVICH, N. G.; ANSEL, H. C. **Formas farmacêuticas e sistemas de liberação de fármacos**. Tradução: Elenara Lemos-Senna, *et al.*, 9. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

ALMEIDA, Hugo Emanuel Pereira Pinto de Jesus. **Fármacos produzidos por processos biotecnológicos**. 2009. 65 f. Dissertação (Mestrado). Curso de Farmácia, Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto, Porto, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Guia para tratamento estatístico da validação analítica**. Medicamentos – GUIA nº 10, versão 1, 2017.

_____. **RDC 17/2010**. 2010. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/res0017_16_04_2010.pdf/b9a8a293-f04c-45d1-ad4c19e3e8bee9fa>. Acesso em: 16 mar. 2019.

_____. **Validação de limpeza para farmoquímicas**. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/documents/33836/2501339/Guia+de+valida%C3%A7%C3%A3o+de+limpeza+para+farmoqu%C3%ADmicas/573873c0-f41c-42bd-833fd01f5767cebd>>. Acesso em: 17 mar. 2019.

BIORREATORES. Disponível em: <<http://www.debiq.eel.usp.br/~joaobatista/AULA22010.ppt.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

CONSIGLIERI, Vladi Olga. **Produtos estéreis: colírios**. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3525964/mod_resource/content/2/PRODUTOS%20EST%C3%89REIS%20E%20COL%C3%8DRIOS.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2019.

OSSWALD, W. **Terapêutica medicamentosa e suas bases farmacológicas: manual de farmacologia**. 4. ed. Porto: Porto Editora, 2001.

FDA. **Guidance for industry process validation: general principles and practices**. 2011. Disponível em: <<https://www.fda.gov/downloads/Drugs/Guidances/UCM070336.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2019.

FIESP. **Legislação Biotecnologia**. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/legislacao-biotecnologia/>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

REFERÊNCIAS

MMA. **Biotecnologia**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/7510-biotecnologia.html>>. Acesso em: 06 mar. 2019.

ONU. **Convenção sobre diversidade biológica**. Artigo 2. Disponível em: <http://www.rbma.org.br/anuario/pdf/legislacao_01.pdf>, 1992. Acesso em: 03 mar. 2019.

SILVA, Cristina L S Petrarolha. **Crescimento bacteriano**. Disponível em: <http://www.fea.br/Arquivos/Medicina%20Veterinaria/Cristina/Crescimento_bacteriano.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2019.

THOMPSON, Emily.; VONORTAS, Nicholas S. **Biotechnology evolution and regulation of pharmaceuticals**. Capítulo 9, Global Governance of the Pharmaceuticals Industries: Transatlantic and Trilateral Regulatory Harmonization and Multilateral Policy Cooperation for Drug Safety, Editor Reba Carruth, 2003.

ZILIOLI, Estêvão. **Composição química e propriedades funcionais no processamento de vinagres**. 2011. 98 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.



Gestão Ambiental na Indústria Química

Brasília-DF.

Elaboração

Gislaine Patricia de Andrade

Naomi Akiba

Roseli Hiromi Sato

Produção

Equipe Técnica de Avaliação, Revisão Linguística e Editoração

Sumário

APRESENTAÇÃO	4
ORGANIZAÇÃO DO CADerno DE ESTUDOS E PESQUISA	5
INTRODUÇÃO.....	7
unidade i	
Fundamentos da Gestão ambiental	9
CAPÍTULO 1	
Conceitos iniciais	9
CAPÍTULO 2	
Indicadores de qualidade ambiental.....	11
CAPÍTULO 3	
Problemas ambientais na indústria química	15
CAPÍTULO 4	
Análise de riscos ambientais na indústria química	19
CAPÍTULO	321
Gerenciamiento e desCorte de ComPostos químicos	340
unidade	376
Legislação ambiental e riscos ambientais	26
CAPÍTULO 1 legislações ambientais que Controlam as indústrias químicas	26
CAPÍTULO 2 riscos ambientais nas indústrias químicas e redução dos Perigos ambientais	37
unidade iii	
Gestão ambiental na indústria química	57
CAPÍTULO 1 o sistema de Gestão ambiental baseado nas normas iso 14.001/2015	57
CAPÍTULO 2 a avaliação de impactos ambientais Como Ferramenta de Gestão ambiental	63
unidade iv	
Controle da Poluição ambiental na indústria química	70

CAPítuLo 1

Controle da Poluição atmosférica	70

CAPítuLo 2

Controle da Poluição hídrica	83

CAPítuLo 3

destinação de resíduos sólidos	91

CAPítuLo 4

química verde	98

refêrênciAS	102

Apresentação

Caro aluno

A proposta editorial deste Caderno de Estudos e Pesquisa reúne elementos que se entendem necessários para o desenvolvimento do estudo com segurança e qualidade. Caracteriza-se pela atualidade, dinâmica e pertinência de seu conteúdo, bem como pela interatividade e modernidade de sua estrutura formal, adequadas à metodologia da Educação a Distância – EaD.

Pretende-se, com este material, levá-lo à reflexão e à compreensão da pluralidade dos conhecimentos a serem oferecidos, possibilitando-lhe ampliar conceitos específicos da área e atuar de forma competente e conscienciosa, como convém ao profissional que busca a formação continuada para vencer os desafios que a evolução científico-tecnológica impõe ao mundo contemporâneo.

Elaborou-se a presente publicação com a intenção de torná-la subsídio valioso, de modo a facilitar sua caminhada na trajetória a ser percorrida tanto na vida pessoal quanto na profissional. Utilize-a como instrumento para seu sucesso na carreira.

Conselho Editorial

organização do Caderno de Estudos e Pesquisa

Para facilitar seu estudo, os conteúdos são organizados em unidades, subdivididas em capítulos, de forma didática, objetiva e coerente. Eles serão abordados por meio de textos básicos, com questões para reflexão, entre outros recursos editoriais que visam tornar sua leitura mais agradável. Ao final, serão indicadas, também, fontes de consulta para aprofundar seus estudos com leituras e pesquisas complementares.

A seguir, apresentamos uma breve descrição dos ícones utilizados na organização dos Cadernos de Estudos e Pesquisa.



Provocação

Textos que buscam instigar o aluno a refletir sobre determinado assunto antes mesmo de iniciar sua leitura ou após algum trecho pertinente para o autor conteudista.



Para refletir

Questões inseridas no decorrer do estudo a fim de que o aluno faça uma pausa e reflita sobre o conteúdo estudado ou temas que o ajudem em seu raciocínio. É importante que ele verifique seus conhecimentos, suas experiências e seus sentimentos. As reflexões são o ponto de partida para a construção de suas conclusões.



Sugestão de estudo complementar

Sugestões de leituras adicionais, filmes e sites para aprofundamento do estudo, discussões em fóruns ou encontros presenciais quando for o caso.



Atenção

Chamadas para alertar detalhes/tópicos importantes que contribuam para a síntese/conclusão do assunto abordado.



Saiba mais

Informações complementares para elucidar a construção das sínteses/conclusões sobre o assunto abordado.



Sintetizando

Trecho que busca resumir informações relevantes do conteúdo, facilitando o entendimento pelo aluno sobre trechos mais complexos.



Para (não) finalizar

Texto integrador, ao final do módulo, que motiva o aluno a continuar a aprendizagem ou estimula ponderações complementares sobre o módulo estudado.

introdução

As discussões ambientais vêm tornando-se ao longo dos anos cada vez mais relevantes, tanto no âmbito da sociedade quanto na esfera econômica e industrial.

Hoje em dia, aspectos regulatórios obrigam as empresas a serem ambientalmente responsáveis em diversos aspectos, desde a extração de matéria prima, priorizando as que são naturais ou extraídas diretamente da natureza, até o despejo de poluentes, que devem ser tratados. Todos os impactos causados pelas atividades industriais e produtivas, em todas suas etapas, passa a ser avaliado também do ponto de vista ambiental.

Nesta unidade introdutória, veremos os conceitos relacionados à gestão ambiental, tal como a utilização e aplicação de indicadores ambientais. Serão ainda apresentados casos onde a má gestão resultou em graves danos à flora e fauna brasileiras, tal como as medidas que podem e devem ser tomadas quando desastres ambientais ocorrem.

objetivos

- » Identificar os principais conceitos relacionados à gestão ambiental.
- » Definir e identificar os indicadores ambientais.
- » Estudar os casos de acidentes ambientais que geraram grandes impactos à biota brasileira.
- » Identificar e minimizar riscos ambientais na indústria química.
- » Aplicar e gerenciar os descartes químicos.

**fundAmEntoS dA
gEstão AmbiEntAL**

unidAdE i

CAPÍTULO 1 Conceitos iniciais

Inicialmente apresentaremos alguns termos e conceitos relacionados ao estudo do meio ambiente e da gestão ambiental. Tais termos e conceitos são importantes para o melhor entendimento desta unidade e das unidades que virão posteriormente.

Segundo a lei federal nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, **meio ambiente** é o “conjunto de condições, leis influências e interações de ordem física, química e biológica que permite, abriga e rege a vida em todas as formas”.

Baseada na lei federal nº 6.938, a resolução CONAMA 306:2002, define meio ambiente como o “conjunto de condições, leis, influência e interações de ordem física, química, biológica, social, cultural e urbanística, que permite, abrigada e rege a vida em todas as suas formas”.

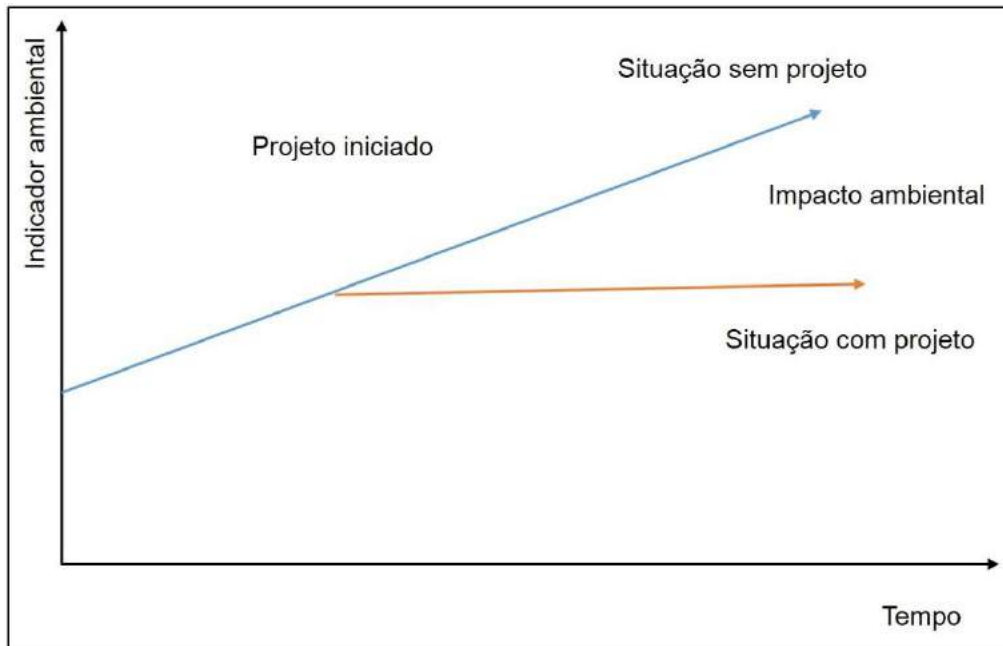
Para a norma ISO 14001:2015 meio ambiente pode ser definido como “circunvizinhança em que uma organização opera, incluindo-se ar, água, solo, recursos naturais, flora, fauna, seres humanos e suas inter-relações”.

Em todas as definições, podemos verificar que o conceito de meio ambiente está diretamente relacionado com a interação do homem com seu meio vivente e sua influência sobre ele.

Poluição ambiental pode ser definido, segundo a lei federal nº 6.938, como a “degradação da qualidade ambiental, resultante da atividade direta ou indireta do homem que prejudique a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criam condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetam desfavoravelmente a biota; afetam as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos”.

Impacto ambiental é entendido como “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais”, definido pelo art. 1º da Resolução CONAMA nº 001 de 23 de janeiro de 1986.

Figura 1. representação gráfica do que é impacto ambiental.



Fonte: Passarelli (2011), adaptado.

A **avaliação do impacto ambiental** é um processo que tem por objetivo identificar, prever, avaliar e mitigar os efeitos de ordem física, biológica e social antes que decisões importantes quanto ao meio ambiente sejam tomadas (*International Association for Impact Assessment –IAIA, 1999*).

CAPÍtulo 2

indicadores de qualidade ambiental

A discussão sobre causas ambientais tem se tornado cada vez mais amplas e complexas, envolvendo cada vez mais entidades e ganhando mais destaque e foco na mídia, no governo e na sociedade de uma maneira geral. Apesar da discordância entre os cientistas e estudiosos do tema, a grande maioria reconhece que as atividades humanas foram as principais causadoras da crise ambiental.

Neste contexto, a atividade industrial pode ser considerada parte principal na produção e eliminação de poluentes ao meio ambiente.

Dados do IPCC (2014), publicados pelo UOL (2015) indicam que as atividades industriais são responsáveis pela emissão de 21 % de gases estufa na atmosfera.

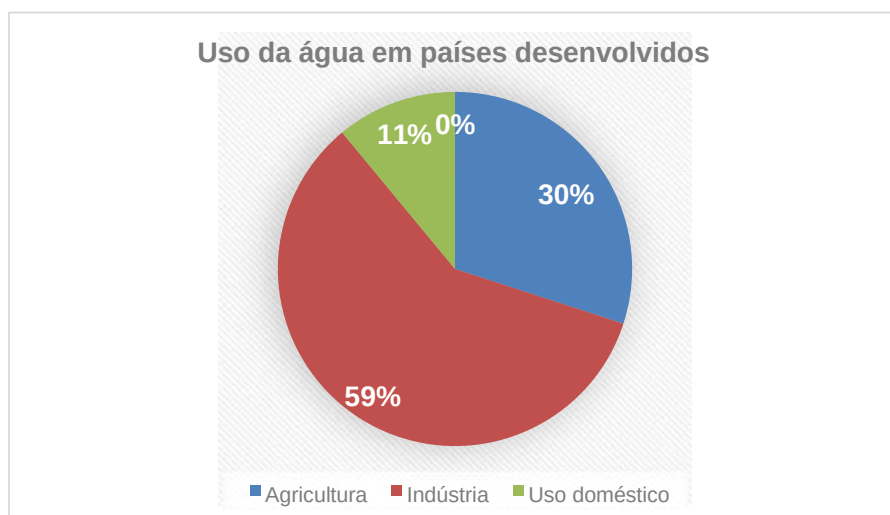
Figura 2. Gráfico de emissões globais de gases de efeito estufa por setor econômico baseado nas emissões no ano de 2010.



Fonte: uol (2015), adaptado.

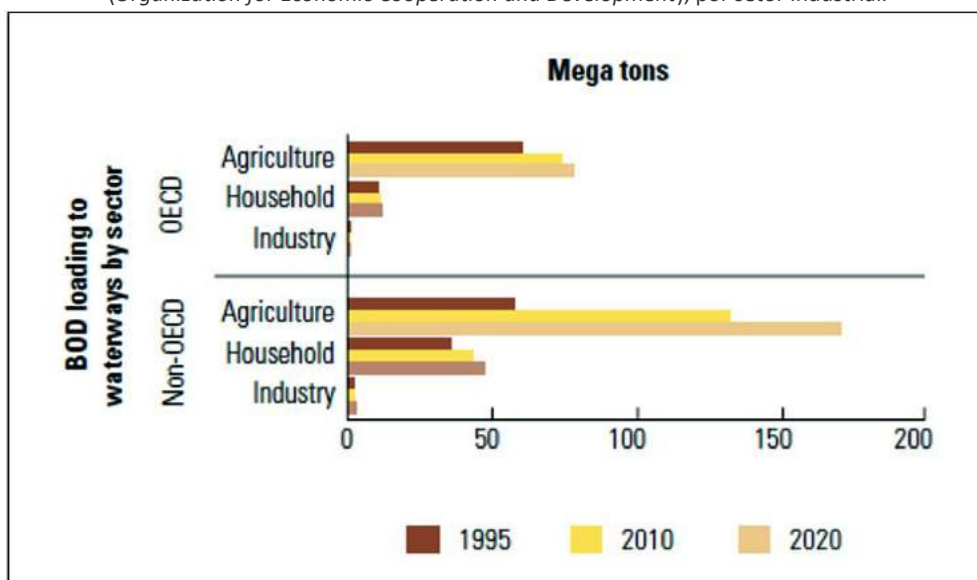
Em comparação, dados da Unesco (2003), mostram que dentre as atividades humanas, a industrial é a maior consumidora de água, no caso de países desenvolvidos. Porém, a maior fonte de emissões de poluentes em águas se dá pelo setor agrário, demonstrando um aumento da importância que a indústria tem dado ao tratamento dos seus efluentes.

Figura 3. uso de água em países desenvolvidos.



Fonte: unesco (2003), adaptado.

Figura 4. despejo de poluentes, por demanda bioquímica de oxigênio, de países pertencentes ou não da oecd (Organization for Economic Cooperation and Development), por setor industrial.



Fonte: unesco (2003).

Estes dados mostram que é extremamente importante que as indústrias adotem um sistema de qualidade ambiental, para manter as melhorias já alcançadas e para expandi-las ainda mais. E dentro de um sistema de qualidade ambiental, os indicadores de qualidade ambiental são muito importantes e ocupam um papel central.

Mas o que são exatamente os indicadores de qualidade ambiental?

Indicadores de qualidade ambiental são informações quantificadas e objetivas, utilizadas na avaliação de uma modificação imposta por uma ação ou intervenção no meio ambiente (PEJON; RODRIGUES; ZUQUETTE, 2013).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2017), indicadores ambientais podem ser entendidos como “estatísticas selecionadas que representam ou resumem alguns aspectos do estado do meio ambiente, dos recursos naturais e de atividades humanas relacionadas”.

Os indicadores de qualidade, portanto, são informações pontuais, que permitem o acompanhamento da evolução de uma ação. A utilização de indicadores ambientais se faz necessária para gerenciamento da eficiência das ações tomadas e que vão interferir diretamente no meio ambiente. Dada a importância crescente que a indústria tem dado aos impactos causados sobre o ecossistema e a utilização dos seus recursos, sistemas de gerenciamento estão cada vez mais sendo aperfeiçoados.

Aplicar os indicadores de qualidade ambiental requer um planejamento e estudo aprofundado das características do local onde será implementando, pois, um conjunto de indicadores não necessariamente serão aplicáveis a todas as áreas.

Tomemos por exemplo indicadores da qualidade da água utilizada na irrigação. Os parâmetros como salinidade e matéria orgânica serão diferentes daqueles utilizados nas fazendas de criação de peixes. Dados como concentração de oxigênio dissolvido e luminosidade serão mais relevantes para os criadores de peixes do que para os produtores rurais.

Para que um conjunto de indicadores sejam definidos, os critérios devem ser estabelecidos em conjunto por todos os envolvidos no processo de implementação. A seleção de indicadores ambientais deve primeiramente reconhecer e apontar quais os impactos que a atividade produtiva irá causar na região onde o negócio será implementado, considerar as condições ambientais do local e estabelecer pontos de melhorias ambientais e sócio econômicas.

Dentro da esfera governamental, faz-se necessário a compilação e sistematização dos indicadores. Dessa maneira, o Decreto nº 6.101, de 26 de abril de 2007, foi estabelecido e trata das atribuições do Ministério do Meio Ambiente relacionado com temas como preservação ambiental, conservação e utilização sustentável de ecossistemas, preservação e conservação e biodiversidade e de florestas, instrumentos econômicos e sociais para a melhoria da qualidade ambiental e o uso sustentável dos recursos naturais. Tais parâmetros são indicativos para o acompanhamento e definição das políticas e ações tomadas pelo Ministério do Meio Ambiente.

Em 2014, o Ministério do Meio Ambiente lançou o Painel Nacional de Indicadores Ambientais – PNAI, sendo estruturado em oito temas e 31 subtemas da área ambiental.

Este documento faz do Brasil parte integrante dos países latino-americanos que visam à produção e uso de indicadores ambientais relacionados aos temas de desenvolvimento sustentável.

Os indicadores ambientais têm como propósito responder a três funções: função científica, com o objetivo de avaliar o estado do meio ambiente; função política, identificar as prioridades e avaliar o desempenho das políticas públicas setoriais, evitando o desperdício de recursos públicos e o desencontro com as expectativas da sociedade e a função social, facilitando a comunicação e incentivando a responsabilidade ambiental dos atores sociais.

Existem três tipos de indicadores aplicáveis às questões ambientais, sendo eles a condição, a pressão e a resposta (FIRJAN, 2008). Tais indicadores foram desenvolvidos pela OECD (Organização para a Cooperação Econômica e o Desenvolvimento) e auxiliam os gestores nas tomadas de ações.

Como exemplos de indicadores ambientais podemos listar:

- » pressões voltadas à atividade humana;
- » volume de águas residuais não tratadas;
- » disposição de resíduos sólidos;
- » redução de cobertura vegetal.

Condições diretamente relacionadas à qualidade ambiental:

- » qualidade do ar;
- » escassez de água;
- » sítios contaminados;
- » respostas relacionadas as ações governamentais, empresas e organizações não governamentais;
- » investimentos em áreas verdes;
- » áreas reabilitadas;
- » investimento em gestão de resíduos.

Devemos destacar que, a norma ISO 14031:2004, apresenta as principais categorias de indicadores.

CAPÍTULO 3

Problemas ambientais na indústria química

O Impacto ambiental causado pelo gerenciamento inadequado na indústria química se estende por toda a sua cadeia produtiva. Ele pode ocorrer desde a etapa do recebimento de matérias-primas, quanto na estocagem, no processo produtivo, no armazenamento e na expedição.

Devemos lembrar que, os poluentes de origem química são em sua totalidade causadores de impactos irreversíveis, muitas vezes sendo bioacumulado pelos animais, podendo fazer parte da cadeia alimentar dos seres humanos.

Os poluentes originários da indústria química são geralmente compostos recalcitrantes ou refratários, ou seja, compostos orgânicos de difícil degradação, hidrofóbicos e persistentes. Dentre as classes de compostos que podem ser destacados temos os compostos organoclorados, tolueno, xileno, derivados de petróleo como óleos e parafinas, entre outras substâncias.

Considerando-se que a indústria química é o maior responsável pela dispersão de poluentes no meio ambiente, é necessário que se tenham estratégias para minimizar os impactos causados, evitando o descarte inadequado no solo, ar e água e realizando o planejamento e tomada de ação corretos quando ocorrem os casos de acidentes ambientais.

A seguir, temos casos de acidentes ambientais que causaram grandes impactos à flora e fauna brasileira. Seria possível que esses acidentes pudessem ter sido evitados? Quais as medidas poderiam ter sido aplicadas para evitar tais acidentes?

Vazamento do óleo na baía de Guanabara

Em 18 de janeiro de 2000, na Baía de Guanabara, na cidade do Rio de Janeiro, Brasil, ocorreu um acidente ambiental envolvendo uma indústria petroquímica. Um grande vazamento do óleo ocorreu como consequência do rompimento de um duto que ligava a Refinaria de Duque de Caxias até o terminal Ilha d'água, localizado na Ilha do Governador. Ocorreu o derrame de cerca de 1,3 milhões de litros de óleo, causando grande impacto à flora e fauna da região (CEPED, 2017).

Figura 5. vazamento de óleo na baía de Guanabara.



Fonte disponível em: <<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2013/09/imagem-mostra-mancha-de-oleo-perto-de-plataforma-na-baia-de-guanabara.html>>.

Vazamento do óleo na baía de Campos

Este acidente ambiental ocorreu em 8 de novembro de 2011, na Baía de Campos, na cidade do Rio de Janeiro. A indústria norte-americana Chevron foi responsável pelo derramamento de óleo que afetou diversas espécies como aves marinhas, peixes e mamíferos. Neste acidente, foi estimado a liberação de 3700 barris de petróleo (R7, 2011).

Figura 6. vazamento na baía de Campos.



Fonte disponível em: <<http://ultimosegundo.ig.com.br/ciencia/meioambiente/anp-autuara-chevron-com-tres-multas/n1597376999147.html>>.

incêndio na ultracargo

Em abril de 2015, após um incêndio no Terminal Alemoa, na cidade de Santos, São Paulo, uma grande quantidade de efluentes líquidos foram lançados na baía de Santos. A empresa Ultracargo foi responsável pelo acidente que afetou manguezais e a lagoa ao lado do terminal, além de emitir efluentes gasosos na atmosfera (G1, 2015).

Figura 7. incêndio da ultracargo.



Fonte disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2015/04/incendio-atinge-industria-no-bairro-alemoa-em-santos-litoral-de-sp.html>>.

rompimento da barragem em mariana

Um dos acidentes de maior impacto ambiental da atualidade ocorreu no dia 5 de novembro de 2015, no município de Mariana, no estado de Minas Gerais. A barragem da mineradora Samarco rompeu, liberando uma grande quantidade de lama com os rejeitos oriundos da extração de minério de ferro. Estima-se que cerca de 62 milhões de metros cúbicos de lama chegaram ao rio Doce, cuja bacia hidrográfica abastece 230 municípios dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. O impacto deste acidente ambiental foi tão grande, afetando plantas, animais silvestres e marinhos e microrganismos das regiões de Minas Gerais e Espírito Santo (G1, 2015).

Figura 8. destruição causada pelo rompimento da barragem de mariana, minas Gerais.



Fonte disponível em: <<http://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2015/11/barragem-de-rejeitos-se-rompe-em-distrito-demariana.html>>.



A tragédia de Mariana não causou apenas impactos ambientais. Muitas famílias perderam suas casas e parentes. É necessário que se tenha uma reflexão de como um acidente que poderia ser evitado, afeta tanto as gerações atuais quanto as futuras. Para isso, sugerimos o vídeo a seguir, disponível em: <<https://youtu.be/QE6691G2DLA>>.

CAPÍTULO 4

Análise de riscos ambientais na indústria química

Um dos fatores que devem ser considerados dentro de qualquer setor industrial é o planejamento e a tomada de decisão para que sejam diminuídos os riscos de contaminação ambiental e, caso ocorram acidentes, sejam tomadas medidas corretas para a completa remediação e segurança do local afetado. Para isso, estudos devem ser realizados de acordo com as normas vigentes.

Segundo Bitar e Ortega (1998), a análise de risco pode ser entendida como “uma estimativa prévia da probabilidade de ocorrência de um acidente ambiental e a avaliação das suas consequências sociais, econômicas e ambientais”.

Dentro da análise de risco ambiental devem ser considerados os possíveis efeitos que um eventual acidente podem causar ao meio ambiente.

A norma CETESB P4.261, estabelece a forma e o conteúdo que os estudos de análise de risco devem ter. Nesta norma, apresenta-se os critérios de aceitabilidade adotados pela CETESB na avaliação dos riscos do empreendimento.

Neste contexto, é apresentado um exemplo de como os riscos ambientais podem ser levantados dentro de uma indústria e quais as ações emergenciais são necessárias caso ocorra um acidente.

Em um trabalho de conclusão de curso realizado por Souza (2016), fez-se um levantamento quanto aos riscos ambientais e as ações emergenciais tomadas em um processo produtivo de uma empresa de fabricação de tintas, com o objetivo principal de elaborar um plano de emergência, de acordo com a norma ISO 14001.

As matérias-primas utilizadas no processo de fabricação de tintas são principalmente solventes orgânicos altamente poluentes ao meio ambiente. Tanto as matérias-primas quanto o produto final são considerados altamente tóxicos, irritantes, corrosivos, inflamáveis e explosivos. Na tabela abaixo são listados os solventes utilizados nesse processo.

tabela 1. Principais solventes e reagentes utilizados na fabricação de tintas.

Solventes	Nº ONU	Classe de risco
Acetato de etila	1173	3 – Inflamável

Derivados de petróleo	1268	3 – Inflamável
Etanol	1170	3 – Inflamável
Nitrocelulose com álcool	2556	4.1 – Sólidos inflamáveis, substâncias auto reagentes e explosivas
Peróxido orgânico Tipo D 3105	3105	5 – Substâncias oxidantes e peróxidos orgânicos
Resina soluções inflamáveis	1866	3 – Inflamável
Tintas ou materiais relacionados	1263	3 – Inflamável
Toluol	1294	3 – Inflamável
Xileno	1307	3 – Inflamável

Fonte: souZa, 2016.

Para se propor o quadro de avaliação de riscos ambientais, é necessário a avaliação de cada etapa do processo produtivo, sendo identificado os aspectos, riscos associados, níveis de gravidade, valor e classificação de riscos.

Identificados tais parâmetros, cada etapa do processo produtivo, desde a chegada da matéria-prima até o escoamento do produto final, tiveram seus níveis de periculosidade quanto à contaminação ambiental identificados e classificados. Tabela 2. Riscos ambientais identificados em uma indústria de tintas.

Recebimento de matérias-primas	
Aspecto	Risco associado
Derramamento de produtos químicos no transporte	Contaminação do solo, águas superficiais, lençol freático
Estocagem de matérias-primas	
Derramamento de produtos químicos	Contaminação do solo
Incompatibilidade entre substâncias químicas	Incêndios/Explosões
Pré-mistura	
Derramamento de produtos químicos	Contaminação do solo
Manipulação de materiais inflamáveis	Incêndios
Dispersão	
Derramamento de produtos químicos	Contaminação do solo
Manipulação de materiais inflamáveis	Incêndios
Completagem	
Derramamento de produtos químicos	Contaminação do solo
Manipulação de materiais inflamáveis	Incêndios
Filtração	
Derramamento de produtos químicos	Contaminação do solo

Manipulação de materiais inflamáveis	Incêndios
Envasamento	
Derramamento de produtos químicos	Contaminação do solo
Manipulação de materiais inflamáveis	Incêndios
Estocagem/Expedição	
Derramamento de produtos químicos	Contaminação do solo
Manipulação de materiais inflamáveis	Incêndios

Fonte: souZa, 2016.

O plano de emergência foi elaborado considerando os riscos ambientais associados.

No exemplo citado, foi apresentado uma maneira na qual a indústria pode se prevenir e planejar quanto aos riscos ambientais envolvidos em sua produção. A análise de risco deve ser elaborada de acordo com as características e as necessidades das empresas, objetivando principalmente a minimização dos riscos ambientais.



Disponível em:

<<http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/normas/11/2013/11/P4261.pdf>>.

CAPÍTULO 5

gerenciamento e descarte de compostos químicos

Podemos entender resíduos químicos como rejeitos oriundos das atividades industriais e farmacêuticas, compostos por substâncias químicas. Esses rejeitos não podem ser descartados como lixo convencional, pois oferecem riscos ao meio ambiente e à saúde.

O descarte de resíduos químicos deve seguir legislação específica, conforme a lei nº 12.305:2010 que altera a lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998, sobre a política nacional de resíduos sólidos.

É de extrema importância que os resíduos químicos sejam devidamente gerenciados e descartados, para minimizar os impactos ambientais e aumentar a eficiência no uso dos recursos.

O primeiro passo para o gerenciamento é elaborar um **Plano de Gerenciamento de Resíduos (PGR)**. Este documento faz parte do processo de licenciamento ambiental e descreve como as ações de manejo devem ser procedidas. Nele são contemplados aspectos como geração, segregação, acondicionamento, coleta, armazenamento, transporte, tratamento e descarte local (OLIVEIRA, 2017).

Classificação

Os resíduos podem ser classificados quanto sua origem, características físicas e sua composição química.

Classificação quanto à origem

Domiciliar: originário de residências, são constituídos por restos de alimentos, papel higiênico, jornais, garrafas entre outros.

Comercial: originário de estabelecimentos comerciais e de serviços, como shoppings, bancos lojas, restaurantes etc. Sua composição é similar ao resíduo domiciliar.

Serviços públicos: provenientes de limpezas urbanas de ruas e calçadas, galerias, córregos, limpeza de feira livre. É constituído principalmente de restos vegetais.

Hospitalar: descartes de hospitais, farmácias, clínicas veterinárias (medicamentos, luvas, seringas, restos de tecidos, sangue etc.). Devido suas características contaminantes, devem ser manuseados e acondicionados em recipientes adequados, para posterior incineração ou aterrados em aterros sanitários.

Industrial: originado pela atividade industrial. Ele é bastante diversificado devido aos diversos ramos industriais, como metalurgia, petroquímica, química, alimentos, papel e celulose, entre outros. São constituídos por lodos, cinzas, papel, óleos, solventes, resinas, cerâmica, metal, ácidos, bases etc. É de extrema importância que ocorra o tratamento dos resíduos industriais antes de serem lançados para o meio ambiente devido seu alto potencial tóxico.

Radioativo: resíduos provenientes de atividade nuclear. Devem ser manuseados por técnicos qualificados e descartados seguindo a legislação específica.

Classificação quanto às características físicas

Secos: papéis plástico, metais, tecidos, madeiras, porcelana, espuma etc.

Molhados: restos de alimentos, cascas, alimentos estragados, frutas, verduras etc.

Classificação quanto às características químicas

Orgânico: alimentos, frutas, verduras, papel higiênico, cabelo, ossos, vegetais etc.

Inorgânico: vidros, borrachas, lâmpadas, plásticos, espumas etc.

A norma ABNT NBR 10.004 trata da classificação dos resíduos sólidos quanto a seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde. Esta norma é uma ferramenta importante que deve ser utilizada tanto pelas instituições quanto pelos órgãos fiscalizadores, podendo, dessa maneira, auxiliar no destino final dos resíduos.

Segundo a norma, os resíduos podem ser classificados como classe I (perigosos), classe II (não inertes) e classe III (inertes).

Classe 1 (perigosos): são resíduos que apresentam riscos à saúde e ao meio ambiente, exigindo tratamento de deposição adequados em função de sua composição. Eles podem ter características como inflamabilidade, corrosivo, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Classe 2: são resíduos que não apresentam periculosidade, porém não são inertes. Como exemplos, podemos citar características como combustibilidade e biodegradabilidade. São compostos principalmente de resíduos domésticos.

Classe 3: são resíduos, onde seus constituintes não solubilizam-se nas concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água. Muitos dos resíduos são recicláveis.

Os descartes de cada resíduo devem ser adequados de acordo com a sua classificação:

- » líquidos perigosos devem ser armazenados em sua embalagem original ou em galões de plásticos rígidos com tampa e rosca vedadas;
- » resíduos químicos sólidos devem ser colocados em recipiente de material rígido, lacrado e identificado.

É necessário também conhecer os pictogramas de riscos desses materiais para sua classificação adequada.

Figura 9. Pictograma de riscos.



Fonte disponível em: <http://www2.iq.usp.br/iqrecicla/pdv_0705.html>.

resíduos industriais

Tecnicamente, o lixo gerado tanto das atividades agrícolas quanto industriais é chamado de resíduo, sendo sua fonte geradora responsável pelo gerenciamento, transporte e destinação final.

Dentro da totalidade do lixo produzido, a indústria é a maior geradora, tanto no quesito lançamento na forma de gases, quanto na geração de efluentes e lixo para aterramento. Tais resíduos são os maiores responsáveis pelo impacto ao meio ambiente, tendo uma

gama de substâncias químicas como responsáveis. Dentre os exemplos que podemos citar temos os metais e produtos sintéticos como pesticidas e solventes orgânicos.

A eliminação de resíduos pela indústria se dá ao longo de seus processos. Podem ser descartados na forma sólida e depositados em aterros, ou por efluentes, despejados em rios e mares.

Por meio da implementação na ISO 14.000, as indústrias podem tomar ações para que seus resíduos sejam adequadamente gerenciados. A tomada de ação por conta das empresas podem trazer muitos benefícios como:

- » minimizar os riscos de acidentes ambientais;
- » disposição de resíduos em sistemas adequados;
- » proteção à saúde;
- » reaproveitamento e reciclagem dos resíduos;
- » diminuição da quantidade de resíduos produzidos.

Nesse sentido, faz-se necessário conhecer o tratamento mais adequado para cada tipo de resíduo gerado. Os principais processos de tratamento são:

- » aterro de resíduo industrial perigoso (ARIP);
- » estação de tratamento de efluentes (ETE);
- » incineração;
- » coprocessamento;
- » reciclagem.

**LEgiSLAção
AmbiEntAL
E riSCoS
AmbiEntAiS**

unidAdE ii

CAPÍTULO 1 Legislações ambientais que controlam as indústrias químicas



A legislação brasileira é uma das mais completas e avançadas do mundo tendo como objetivo preservar e proteger a flora e fauna brasileira, reduzindo ao máximo as possíveis consequências da ação avassaladora do homem.



Para que a legislação ambiental seja cumprida devemos, primeiramente, conhecê-la e compreender as normas e diretrizes que regem a nossa constituição. Esta prática é muito importante, pois a nossa sociedade (civil e empresarial) vem mudando de comportamento, não somente pelas penalidades legais, mas vem adquirindo uma postura de responsabilidade compartilhada frente aos desafios ambientais que vivenciamos.

breve histórico

Nas últimas décadas, foi possível verificar o aumento no comprometimento do setor industrial em assuntos ambientais. Este fato está relacionado a valorização das questões ambientais, sociais e principalmente econômicas, promovendo uma mudança comportamental em grande indústrias do setor químico. Simultaneamente, instituições governamentais e não governamentais, instituições financeiras, sociedade e a mídia exercem pressões em questões ambientais promovendo a adoção de gestão e controle neste setor (SOUZA, 2002).

Historicamente, a preocupação ambiental teve início nos anos de 1970 quando ocorreu a Conferência de Estocolmo em 1972, onde foram discutidas questões ambientais atribuindo o seu significado e importância no âmbito empresarial e industrial.

A partir deste período, estas questões foram se tornando importantes e passaram a ter um peso grande na tomada de decisões nos processos industriais, bem como na disposição de seus resíduos. Apesar de outros encontros terem ocorrido antes desta conferência, este teve um papel de destaque, pois conseguiu alertar o mundo sobre a problemática da deterioração do ecossistema e os possíveis prejuízos que causariam à humanidade (JUNGSTEDT, 2002). Após este encontro, muitas reuniões foram realizadas visando a preservação do meio ambiente, destacando a ECO – 1992, realizada no Rio de Janeiro em 1992, que contou com a participação de 179 chefes de Estado. Nesta reunião, foi elaborado um documento, denominado Agenda 21, que comprometia os países participantes pelo desenvolvimento sustentável visando o progresso e a qualidade de vida junto ao meio ambiente seguro (BEZERRA, 2000).

Em relação ao Brasil, temos o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) determina que a autorização de qualquer atividade que possa alterar o meio ambiente estará sujeita a elaboração do estudo de impacto ambiental (EIA) e o relatório de impacto ambiental (RIMA), devendo ser aprovados pelos órgãos estaduais competentes e pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (JUNGSTEDT, 2002). Na Constituição Brasileira de 1988, o art. 225, apresenta leis que estão relacionadas à proteção ambiental e a necessidade de um estudo prévio para o desenvolvimento de atividades potencialmente poluidoras, comercialização, utilização de técnicas e ou substâncias que possam promover riscos ou danos à vida e ao meio ambiente:

“Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (Constituição, 1988)

A partir deste decreto, foram desenvolvidas várias normas, baseadas em normas internacionais, de gestão (ISO), destacando o ISO 14000 relacionado à gestão ambiental. Estas normas possuem requisitos técnicos sobre gestão ambiental que podem ser auditados para fins de certificação, registro e autodeclaração. Atividades do setor químico estão relacionadas a riscos potencialmente poluidores, pois trabalham diretamente com produtos tóxicos aos inflamáveis e geram resíduos “tóxicos” e que necessitam de tratamento adequado para a sua disposição final. Desta maneira, estes resíduos podem ser dispostos da seguinte maneira (SILVA, 2005):

- a. encaminhamento para a estação de tratamento;
- b. reciclagem ou reutilização dos resíduos;
- c. incinerar os resíduos.

resíduos químicos industriais

A questão da destinação correta dos resíduos, principalmente de resíduos de origem industrial, é um tema importante na legislação ambiental brasileira. Retomando brevemente ao tópico anterior, existem leis e normas que regem a utilização dos recursos naturais para produção de bens de consumo e a disposição dos resíduos produzidos neste processo. Assim sendo, os resíduos de origem industrial podem ser provenientes por exemplo, do ramo metalúrgico, químico e petroquímico e sendo representado por cinzas, lodo, óleos, resíduos ácidos ou alcalino e dentre outros. Muitas vezes esses materiais podem ser tóxicos, necessitando um tratamento especial para o seu destino a fim de evitar possíveis contaminações.

A norma NB 10.004 (1987) possui diretrizes que classificam os resíduos utilizando como critério a sua periculosidade e indica a melhor destinação deste material. Desta maneira, os resíduos são classificados da seguinte maneira:

- » **Classe 1** — Resíduos perigosos: devido ao seu alto grau de periculosidade por conta de inflamabilidade, alto teor corrosivo, patogenicidade e dentre outras características, necessita de tratamento específico antes de sua disposição final.
- » **Classe 2** — Resíduos não inertes: são os resíduos que não apresentam periculosidade, porém não são inertes; podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.
- » **Classe 3** — Resíduos inertes: são aqueles que, ao serem submetidos aos testes de solubilização, não produzem nenhuma resposta em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água. Desta maneira, podem ser classificados como recicláveis por conta de sua baixa degradabilidade (não se degradam ou se degradam lentamente).

Baseado na NB 10.004, a Tabela 3 apresenta a relação dos resíduos com sua origem e os órgãos responsáveis para a sua destinação correta.

tabela 3. relação dos resíduos a partir de sua origem, classificação e o órgão responsável pelo seu tratamento e destinação.

Origem	Possíveis Classes	Órgão Responsável
Domiciliar	2	Prefeitura
Comercial	2, 3	Prefeitura
Industrial	1, 2, 3	Gerador do resíduo
Público	2, 3	Prefeitura
Serviços de saúde	1, 2, 3	Gerador do resíduo

Portos, aeroportos e terminais ferroviários.	1, 2, 3	Gerador do resíduo
Agrícola	1, 2, 3	Gerador do resíduo

Fonte: Kraemer, 2005.

A partir da análise da Tabela 3, é possível verificar que os resíduos industriais pertencem as três classes de classificação e o responsável pela sua remediação e disposição final fica a cargo o gerador de resíduo. A indústria é uma das maiores responsáveis por danos ao meio ambiente mediante ao despejo de produtos químicos, metais e solventes químicos que comprometem a fauna e flora da região e de seu entorno. A disposição incorreta destes resíduos pode ser pelo despejo de líquidos em mares e rios, lançamento de gases tóxicos e disposição incorreta no solo. Dentre a classe de resíduos que causa grandes problemas, desde o seu manejo até a seu descarte incorreto, são os metais pesados. Recentemente, vimos o grave acidente em Mariana em Minas Gerais (Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/12/entenda-o-acidente-de-mariana-e-suas-consequencias-para-o-meio-ambiente>>), onde ocorreu o rompimento da barragem da empresa Samarco prejudicando toda a população e a fauna local. O material tóxico despejado atingiu a rede hídrica (rios e lagos) natural da região prejudicando as atividades econômicas chegando até a área costeira marítima de Estados vizinhos.

A necessidade da extração dos diferentes tipos de metais é importante, pois são aplicados em vários setores da indústria, conforme a Tabela 4, que apresenta os principais metais utilizados no meio industrial as suas fontes e os riscos que podem causar para a saúde.

tabela 4. relação dos metais mais utilizados na indústria com suas aplicações e os possíveis danos que pode provocar à saúde.

Metal (símbolo)	Aplicação	Danos à saúde
Alumínio (Al)	Produção de artefatos de alumínio; serralheria; soldagem de medicamentos (antiácidos) e tratamento convencional de água.	Anemia por deficiência de ferro; intoxicação crônica.
Arsênio (As)	Metalurgia; manufatura de vidros e fundição.	Câncer (seios paranasais).
Cádmio (Cd)	Soldas; tabaco; baterias e pilhas.	Câncer de pulmões e próstata; lesão nos rins.
Chumbo (Pb)	Fabricação e reciclagem de baterias de autos; indústria de tintas; pintura em cerâmica; soldagem.	Saturnismo (cólicas abdominais, tremores, fraqueza muscular, lesão renal e cerebral).
Cobalto (Co)	Preparo de ferramentas de corte e furadoras.	Fibrose pulmonar (endurecimento do pulmão) que pode levar à morte
Cromo (Cr)	Indústria de corantes, esmaltes, tintas, liga com aço e níquel; cromagem de metais.	Asma (bronquite); câncer.

Fósforo amarelo (P)	Veneno para baratas; rodenticidas (tipo de inseticida usado na lavoura) e fogos de artifício.	Náuseas; gastrite; odor de alho; fezes e vômitos fosforescentes; dor muscular; torpor; choque; coma e até morte.
Mercúrio (Hg)	Moldes industriais; certas indústrias de cloro-soda; garimpo de ouro; lâmpadas fluorescentes.	Intoxicação do sistema nervoso central
Níquel (Ni)	Baterias; aramados; fundição e niquelagem de metais; refinarias.	Câncer de pulmão e seios paranasais.
Fumos metálicos	Vapores (de cobre, cádmio, ferro, manganês, níquel e zinco) da soldagem industrial ou da galvanização de metais.	Febre dos fumos metálicos (febre, tosse, cansaço e dores musculares) - parecido com pneumonia.

Fonte disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>>.

A Tabela 4 apresenta as aplicações dos metais pesados na indústria e, principalmente, a toxicidade dos mesmos reafirmando a importância do descarte correto dos dejetos industriais. A destinação correta dos resíduos industriais obedecem às normas NB 10.004 (1987) conforme sua classificação:

- » **Classe 1** (perigosos): material contaminante e tóxico.
- » **Classe 2** (não inertes): possivelmente contaminante.
- » **Classe 3** (inerte): não contaminante.

Resíduos pertencentes às Classes 1 e 2, devem receber tratamento adequado e destinação em instalações apropriadas, como por exemplo, em aterros industriais é preciso utilizar mantas impermeáveis e camadas de proteção para evitar possíveis contaminações ao solo e dos lençóis freáticos.

Usualmente, indústrias dos setores químico, eletrônicos, metalúrgicos são as maiores poluidoras, situando-se nas regiões metropolitanas das grandes cidades. Deste modo, muitas vezes, a disposição final dos resíduos pode ocorrer de modo inadequado, como por exemplo, lançamento de efluentes contaminados nos rios, disposição inadequada de resíduos em aterros, nas margens de estradas e terrenos baldios. Tendo em vista impedir o descarte incorreto destes resíduos, a legislação brasileira possui normas específicas em sua Constituição das quais podemos citar:

Art. 225: que trata sobre as diretrizes relacionadas à proteção ao meio ambiente.

Lei 6.938/ 1981: referente ao estabelecimento da Política Nacional do Meio Ambiente.

Lei 6.803/ 1980: está relacionada as diretrizes básicas sobre o zoneamento industrial em áreas críticas de poluição.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 257/263 e 258 (1999) apresentam resoluções sobre o tratamento e descarte correto de pilhas, baterias e pneumáticos, respectivamente, e nos Capítulos 19, 20 e 21 são discutidos na Agenda 21 (Encontro Rio – 1992). Em 1998, foi aprovado a Lei de Crimes ambientais que prevê pesadas sanções para os responsáveis por depositar, de maneira inadequada, os resíduos produzidos. Desta maneira, por conta da preocupação ambiental e pela pressão dos órgãos ambientais houve o aumento da demanda de empresas especializadas no tratamento de resíduos industriais, sendo em alguns casos, com aumento de 20%. De modo geral, o governo federal, vem desenvolvendo projetos visando caracterizar os resíduos industriais por meio de um inventário nacional, procurando desenvolver uma política de atuação, reduzindo a produção e destinação inadequada de resíduos.

normas ConAmA que balizam as atividades químicas

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, instruído pela Lei nº 6.938/1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto nº 99.274/1990. O Conselho é composto pelo Plenário, CIPAM, Grupo de Assessores, Câmara Técnicas e Grupos de Trabalho, sendo presidido pelo Ministro do Meio ambiente e sua Secretaria Executiva executada pelo Secretário – Executivo do MMA. Sendo um órgão importante para a proteção e manutenção do Meio Ambiente, o CONAMA possui como suas competências das quais iremos destacar:

- » estabelecer, mediante proposta do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, dos demais órgãos integrantes do SISNAMA e de Conselheiros do CONAMA, normas e critérios para o licenciamento de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras, a ser concedido pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal e Municípios e supervisionado pelo referido Instituto;
- » determinar, quando julgar necessário, a realização de estudos das alternativas e das possíveis consequências ambientais de projetos públicos ou privados, requisitando aos órgãos federais, estaduais e municipais, bem como às entidades privadas, informações, notadamente as indispensáveis à apreciação de Estudos Prévios de Impacto Ambiental e respectivos Relatórios, no caso de obras ou atividades de significativa degradação ambiental, em especial nas áreas consideradas patrimônio nacional;

- » decidir, por meio da Câmara Especial Recursal – CER, em última instância administrativa, em grau de recurso, sobre as multas e outras penalidades impostas pelo IBAMA;
- » determinar, mediante representação do IBAMA, a perda ou restrição de benefícios fiscais concedidos pelo Poder Público, em caráter geral ou condicional, e a perda ou suspensão de participação em linhas de financiamento em estabelecimentos oficiais de crédito;
- » estabelecer, privativamente, normas e padrões nacionais de controle da poluição causada por veículos automotores, aeronaves e embarcações, mediante audiência dos Ministérios competentes;
- » estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente, com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos;
- » estabelecer os critérios técnicos para a declaração de áreas críticas, saturadas ou em vias de saturação;
- » acompanhar a implementação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC conforme disposto no inciso I do art. 6º da Lei 9.985, de 18 de julho de 2000;
- » estabelecer sistemática de monitoramento, avaliação e cumprimento das normas ambientais;
- » incentivar a criação, a estruturação e o fortalecimento institucional dos Conselhos Estaduais e Municipais de Meio Ambiente e gestão de recursos ambientais e dos Comitês de Bacia Hidrográfica;
- » avaliar regularmente a implementação e a execução da política e normas ambientais do país, estabelecendo sistemas de indicadores;
- » recomendar ao órgão ambiental competente a elaboração do Relatório de Qualidade Ambiental, previsto no inciso X do art. 9º da Lei 6.938, de 1981;
- » estabelecer sistema de divulgação de seus trabalhos;
- » promover a integração dos órgãos colegiados de meio ambiente;

- » elaborar, aprovar e acompanhar a implementação da Agenda Nacional do Meio Ambiente, a ser proposta aos órgãos e às entidades do SISNAMA, sob a forma de recomendação;
- » deliberar, sob a forma de resoluções, proposições, recomendações e moções, visando o cumprimento dos objetivos da Política Nacional de Meio Ambiente;
- » elaborar o seu regimento interno.

Em relação às Normas ligadas às atividades industriais no setor químico, o CONAMA instituiu a Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997, visando rever alguns pontos da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990 que passou a exigir o sistema de licenciamento como instrumento de gestão ambiental, estabelecido pela Política Nacional do Meio Ambiente. Esta resolução tem como objetivo incorporar ao sistema de licenciamento ambiental instrumentos provenientes da gestão ambiental buscando o desenvolvimento sustentável. Consequentemente, passou a existir a necessidade de integração entre os órgãos do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e a Política Nacional do Meio ambiente, onde destacaremos os artigos mais relevantes que estão relacionados à implantação, execução, e gestão ambiental de empresas e indústrias do setor químico:

O art. 1º apresenta definições importantes visando o atendimento da resolução que governa as atividades industriais voltadas para o setor químico:

- I. Licenciamento Ambiental:** consiste no procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso.
- II. Licença Ambiental:** está vinculada ao ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente, estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadoras dos recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental.

III. Estudos Ambientais: são estudos relacionados aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco.

IV. Impacto Ambiental Regional: está relacionado a qualquer tipo de impacto ambiental que afete diretamente (área de influência direta do projeto), no todo ou em parte, o território de dois ou mais Estados.

Em relação ao desenvolvimento de empreendimentos voltados ao setor industrial devem solicitar o licenciamento prévio do órgão competente, conforme descrito no art. 2º sendo necessário realizar o estudo prévio de impacto ambiental (art. 3º), apresentação do relatório de impacto sobre o meio ambiente, documentação, projetos e participação do empreendedor neste processo.

- I. Licença Prévia (LP):** concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;
- II. Licença de Instalação (LI):** autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante;
- III. Licença de Operação (LO):** autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.

O período de vigência da LP dependerá do órgão ambiental competente sendo levados em consideração os seguintes aspectos:

- I.** O prazo de validade da Licença Prévia (LP) deverá ser, no mínimo, o estabelecido pelo cronograma de elaboração dos planos, programas e

projetos relativos ao empreendimento ou atividade, não podendo ser superior a 5 (cinco) anos.

- II. O prazo de validade da Licença de Instalação (LI) deverá ser, no mínimo, o estabelecido pelo cronograma de instalação do empreendimento ou atividade, não podendo ser superior a 6 (seis) anos.
- III. O prazo de validade da Licença de Operação (LO) deverá considerar os planos de controle ambiental e será de, no mínimo, 4 (quatro) anos e, no máximo, 10 (dez) anos das despesas realizadas pelo órgão ambiental competente.

Em caso de violação inadequada de condicionantes, normas legais, omissão e falsificação de descrições importantes que subsidiaram a liberação da licença ou superveniência de graves riscos ambientais e para a saúde, o órgão ambiental competente poderá modificar os condicionantes e das medidas de controle e adequação permitindo a suspensão ou cancelamento de uma licença expedida.

Dentre as atividades ou empreendimentos que estão sujeitos ao Licenciamento Ambiental, a indústria química encontra-se inserida nesta classe destacando os seguintes seguimentos:

- » produção de substâncias e fabricação de produtos químicos;
- » fabricação de produtos derivados do processamento de petróleo, de rochas betuminosas e da madeira;
- » fabricação de combustíveis não derivados de petróleo;
- » produção de óleos/gorduras/ceras vegetais-animais/óleos essenciais vegetais e outros produtos da destilação da madeira;
- » fabricação de resinas e de fibras e fios artificiais e sintéticos e de borracha e látex sintéticos;
- » fabricação de pólvora/explosivos/detonantes/munição para caça-desporto, fósforo de segurança e artigos pirotécnicos;
- » recuperação e refino de solventes, óleos minerais, vegetais e animais;
- » fabricação de concentrados aromáticos naturais, artificiais e sintéticos;

- » fabricação de preparados para limpeza e polimento, desinfetantes, inseticidas, germicidas e fungicidas;
- » fabricação de tintas, esmaltes, lacas, vernizes, impermeabilizantes, solventes e secantes;
- » fabricação de fertilizantes e agroquímicos;
- » fabricação de produtos farmacêuticos e veterinários;
- » fabricação de sabões, detergentes e velas;
- » fabricação de perfumarias e cosméticos;
- » produção de álcool etílico, metanol e similares;



Para compreender sobre as normas relacionadas às leis ambientais você pode acessar o site do CONAMA, disponíveis em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/estr.cfm>>;

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>.

CAPÍTULO 2

riscos Ambientais nas indústrias químicas e redução dos perigos ambientais



De maneira simplificada, o termo risco ambiental pode ser definido como dano proveniente da atividade humana ou da natureza, que pode acarretar alguma situação de risco.



Discussões sobre os impactos ambientais vêm ganhando destaque e preocupação por parte das autoridades, pois estamos vulneráveis a grandes catástrofes.

indústria química: perigo ambiental e redução de riscos

A preocupação com o gerenciamento de riscos teve início na era mercantilista aumentando a sua importância com o advento industrial e o surgimento de novos tipos de empreendimentos. Esta preocupação veio atrelada a possibilidade de perdas financeiras e agressão às populações expostas aos efeitos prejudiciais de possíveis desastres. Atualmente, a preocupação com o Meio Ambiente passou a fazer parte deste conjunto abrangendo vários níveis de escala (local regional e mundial). Entretanto, somente no século XX houve o reconhecimento, de fato, por parte das indústrias e órgãos regulamentadores sobre a necessidade de decretar normas e diretrizes sobre o gerenciamento de possíveis acidentes que possa ultrapassar os limites da indústria atingindo às comunidades vizinhas e o meio ambiente (IBAMA, 2006).

De modo geral, a definição de risco pela *Society for Risk Analysis* (ALVES, 2017), é o potencial de realização de consequências adversas indesejadas para a saúde ou vida humana, para o ambiente ou para bens materiais. Partindo-se desta definição, é possível estimar os possíveis riscos de um empreendimento com a elaboração de um estudo de análise de risco para análise de viabilidade ambiental. Este processo é realizado durante a etapa de licenciamento ambiental que são utilizadas informações de fontes geradoras de acidentes ambientais. A apostila do curso sobre Estudos de Análise de Riscos e Programa de Gerenciamento de Riscos do Ibama (2006) apresenta a seguinte definição sobre *risco*: o risco de uma determinada atividade pode ser entendido como potencial de ocorrência de consequências indesejadas decorrentes da realização de atividade.

Com a leitura desta definição é possível fazer uma reflexão sobre a palavra risco: ela relaciona o potencial de ocorrência de acidentes e algum tipo de dano podendo ser, de

saúde, de vida, ambiental, social ou financeiro. Desta maneira, podemos transformar a palavra *risco* em uma função matemática:

RISCO = Combinação de frequência e consequência.

Outro ponto que a apostila destaca é a definição de perigo, que muitas vezes se confunde com o termo risco:

- » PERIGO — Característica de uma atividade ou substância que expressa a sua condição de causar algum tipo de dano a pessoas, a instalações ou ao meio ambiente. Situação ou condição que tem potencial de acarretar consequências indesejáveis. É a propriedade intrínseca de uma substância perigosa ou de uma situação física de poder provocar danos à saúde humana e/ou ao ambiente
- » RISCO — Medida da capacidade que um perigo tem de se transformar em um acidente. Está relacionado com a chance de ocorrerem falhas que “libertem” o perigo e da magnitude dos danos gerados. Contextualização de uma situação de perigo, ou seja, a possibilidade da materialização do perigo ou de um evento indesejado ocorrer.

Desta maneira, podemos definir o risco como produto da probabilidade de ocorrência de um determinado evento pela magnitude de consequências:

RISCO = Probabilidade X Magnitude de Consequências.

Analisando a expressão, para minimizarmos o risco a zero, deveremos atribuir um valor nulo um dos elementos que compõem o risco. Entretanto, é praticamente impossível desenvolver um empreendimento que possua risco zero, mas é possível minimizar possíveis danos adotando alguns critérios de aceitabilidade de riscos (qualitativos e quantitativos) a partir de estudos de Análise de Risco.

Conceitos básicos para elaboração do estudo de análise de risco

Para a elaboração do Estudo de Análise de Risco (EAR), é preciso conhecer algumas definições importantes (termos específicos e técnicos) para a elaboração da documentação. Os termos foram baseados e adaptados do Manual de Análise de Risco (nº 1/ 2001) da FEPAM e do Manual de Orientações para a Elaboração de Estudos de Análise de Risco da CETESB – Norma P nº 4.691, 2003.

Acidente (CETESB): evento específico não planejado e indesejável, ou uma sequência de eventos que proporcionam consequências indesejáveis.

ALARA (FEPAM): do inglês *As Low as Reasonably Achievable*, significa que os riscos devem ser reduzidos sempre que o custo das medidas necessárias para redução for razoável quando comparado com os benefícios obtidos em termos de redução de riscos. Pode ser também mencionado na forma ALARP – *As Low as Reasonably Possible*.

Análise (FEPAM): procedimento técnico baseado em uma determinada metodologia, cujos resultados podem vir a ser comparados com padrões estabelecidos.

Análise de risco (FEPAM): conjunto de métodos e técnicas aplicados a uma atividade proposta ou existente. Identifica e avalia qualitativa e quantitativamente os riscos que essa atividade representa para a população vizinha, ao meio ambiente e à própria empresa. Os principais resultados de uma análise de riscos são a identificação de cenários de acidentes, suas frequências esperadas de ocorrência e a magnitude das possíveis consequências.

Análise de vulnerabilidade (CETESB): estudo realizado por intermédio de modelos matemáticos para a previsão dos impactos danosos às pessoas, instalações e ao meio ambiente, baseado em limites de tolerância estabelecidos por meio do parâmetro Probit para os efeitos de sobrepressão advinda de explosões, radiações térmicas decorrentes de incêndios e efeitos tóxicos advindos da exposição a uma alta concentração de substâncias químicas por um curto período de tempo.

Área **vulnerável** (FEPAM): área no entorno da atividade, onde ambiente, população e trabalhadores encontram-se expostos aos efeitos de acidentes. Este termo está diretamente relacionado com a Análise de Vulnerabilidade.

Auditoria (CETESB): Atividade pela qual se pode verificar, periodicamente, a conformidade dos procedimentos de operação, manutenção, segurança e treinamento, a fim de se identificar perigos, condições ou procedimentos inseguros, para verificar se a instalação atende aos códigos e práticas normais de operação e segurança; realizada normalmente através da utilização de *check-lists*, podendo ser feita de forma programada ou não.

Avaliação de riscos (CETESB): processo pelo qual os resultados da análise de riscos são utilizados para a tomada de decisão, por meio de critérios comparativos de riscos, para definição da estratégia de gerenciamento dos riscos e aprovação do licenciamento ambiental de um empreendimento.

A Análise de Risco tem como papel definir estratégias para a implementação de Gerenciamento de Riscos, proporcionando dados qualitativos e quantitativos que serão utilizados com base para o desenvolvimento da Avaliação de Risco, que utilizam os seguintes termos para a elaboração do documento:

BLEVE (CETESB): do original inglês *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*. Fenômeno decorrente da explosão catastrófica de um reservatório, quando um líquido nele contido atinge uma temperatura bem acima da sua temperatura de ebulição à pressão atmosférica com projeção de fragmentos e de expansão adiabática.

Bola de fogo (fireball) (CETESB): fenômeno que se verifica quando o volume de vapor inflamável, inicialmente comprimido em um recipiente, escapa repentinamente para a atmosfera e, devido à despressurização, forma um volume esférico de gás, cuja superfície externa queima, enquanto a massa inteira eleva-se por efeito da redução da densidade provocada pelo superaquecimento.

Categorias de risco (FEPAM): hierarquia de risco estabelecida com base na potencialidade dos danos causados por acidentes.

Concentração letal 50 (CL50) (CETESB): concentração calculada e estatisticamente obtida de uma substância no ar que ingressa no organismo por inalação e que, em condições bem determinadas, é capaz de causar a morte de 50% de um grupo de organismos de uma determinada espécie.

Confiabilidade (FEPAM): probabilidade de que um equipamento ou sistema opere com sucesso por um período de tempo especificado e sob condições de operação definidas.

Curva F-N (CETESB): curva referente ao risco social determinada pela plotagem das frequências acumuladas de acidentes com as respectivas consequências expressas em número de fatalidades.

Curva de iso-risco (CETESB): curva referente ao risco individual determinada pela intersecção de pontos com os mesmos valores de risco de uma mesma instalação industrial. Também conhecida como “contorno de risco”.

Dano (CETESB): efeito “prejudiciais” à integridade física de um organismo.

Diagrama de instrumentação e tubulações (P&ID) (CETESB): os P & IDs mostram todas as linhas de processo, linhas de utilidades e suas dimensões, além de indicar também o tamanho e a especificação das tubulações e válvulas, incluindo toda a instrumentação da instalação.

Dispersão atmosférica (CETESB): mistura de um gás ou vapor com o ar.

Essa mistura é o resultado da troca de energia turbulenta, a qual é função da velocidade do vento e do perfil da temperatura ambiente.

Distância à população fixa (dp) (CETESB): distância, em linha reta, da fonte de vazamento à pessoa mais próxima situada fora dos limites da instalação em estudo.

Distância segura (ds) (CETESB): distância determinada pelo efeito físico decorrente do cenário acidental considerado, onde a probabilidade de fatalidade é de até 1% das pessoas expostas.

Dose letal 50 (DL50) (CETESB): quantidade calculada e estatisticamente obtida de uma substância administrada por qualquer via, exceto a pulmonar, e que, em condições bem determinadas, é capaz de causar a morte de 50% de um grupo de organismos de determinada espécie.

Duto (CETESB): qualquer tubulação, incluindo seus equipamentos e acessórios, destinada ao transporte de petróleo, derivados ou de outras substâncias químicas, situada fora dos limites de áreas industriais.

Efeito dominó (CETESB): evento decorrente da sucessão de outros eventos parciais indesejáveis, cuja magnitude global é o somatório dos eventos individuais.

Empreendimento (CETESB): conjunto de ações, procedimentos, técnicas e benfeitorias que permitem a construção de uma instalação.

Erro humano (CETESB): ações indesejáveis ou omissões decorrentes de problemas de sequenciamento, tempo (timing), conhecimento, interfaces e/ou procedimentos, que resultam em desvios de parâmetros estabelecidos ou normais e que colocam pessoas, equipamentos e sistemas em risco.

Estabilidade atmosférica (CETESB): medida do grau de turbulência da atmosfera, normalmente definida em termos de gradiente vertical de temperatura. A classificação é realizada a partir da velocidade do vento, radiação solar e percentagem de cobertura de nuvem; a condição neutra corresponde a um gradiente vertical de temperatura da ordem de 1 °C para cada 100 m de altitude.

Estimativa de consequências (CETESB): estimativa do comportamento de uma substância química quando de sua liberação acidental no meio ambiente.

Estudo de Impacto Ambiental (EIA) (CETESB): processo de realização de estudos preditivos sobre um empreendimento, analisando e avaliando os resultados. O EIA é composto de duas partes: uma fase de previsão, em que se procura prever os efeitos de impactos esperados antes que ocorra o empreendimento e outra em que se procura medir, interpretar e minimizar os efeitos ambientais durante a construção e após a finalização do empreendimento. O EIA conduz a uma estimativa do impacto ambiental.

Explosão (CETESB): processo onde ocorre uma rápida e violenta liberação de energia, associado a uma expansão de gases acarretando o aumento da pressão acima da pressão atmosférica.

Explosão de vapor confinado (CVE) (CETESB): a explosão de vapor confinado (CVE – Confined Vapour Explosion) é o fenômeno causado pela combustão de uma mistura inflamável num ambiente fechado, com aumento na temperatura e na pressão internas, gerando uma explosão.

Explosão de nuvem de vapor não confinado (UVCE) (CETESB): a explosão de nuvem de vapor não confinado (UVCE – *Unconfined Vapour Cloud Explosion*) é a rápida combustão de uma nuvem de vapor inflamável ao ar livre, seguida de uma grande perda de conteúdo, gerada a partir de uma fonte de ignição.

Fator de Distância (FD) (FEPAM): $FD =$

$\text{distância (m)}/50$

sendo “distância (m)” é a menor distância, em metros, entre o ponto de liberação do fator de perigo e o ponto de interesse onde estão localizados os recursos vulneráveis.

Fator de Perigo (FP) (FEPAM):

$FP = ML/ MR$

MLA e MR ver adiante. Consideram-se situações graves aquelas onde se possa observar:

- concentração no ar de substância tóxica capaz de causar morte em 1% das pessoas expostas durante um tempo de 30 minutos;
- fluxo de radiação térmica capaz de causar morte em 1% das pessoas expostas durante um tempo de 60 segundos;
- explosão gerando combinação de sobrepressão e impulso capaz de causar morte em 1% das pessoas expostas.

Flashfire (CETESB): incêndio de uma nuvem de vapor em que a massa envolvida não é suficiente para atingir o estado de explosão. É um fogo extremamente rápido em que todas as pessoas que se encontram dentro da nuvem recebem queimaduras gravíssimas.

Fluxograma de processo (CETESB): representação esquemática do fluxo seguido no manuseio ou na transformação de matérias-primas em produtos intermediários e do produto final.

Frequência (CETESB): Número de ocorrências de um evento por unidade de tempo.

Gerenciamento de riscos (CETESB): processo de controle de riscos compreendendo a formulação e a implantação de medidas e procedimentos técnicos e administrativos que têm por objetivo prevenir, reduzir e controlar os riscos, bem como manter uma instalação operando dentro de padrões de segurança considerados toleráveis ao longo de sua vida útil.

IDLH (FEPAM): do inglês *Immediately Dangerous to Life and Health* (imediatamente perigoso para vida e saúde), representa a máxima concentração de substância no ar, à qual pode se expor uma pessoa por 30 minutos sem danos irreversíveis. Esses valores são estabelecidos pelo *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH).

Incêndio (CETESB): tipo de reação química na qual os vapores de uma substância inflamável combinam-se com o oxigênio do ar atmosférico e uma fonte de ignição, liberando calor.

Incêndio de poça (pool fire) (CETESB): incêndio que ocorre numa poça de produto, a partir de um furo ou rompimento de um tanque, esfera, tubulação etc.; em que o produto estocado é lançado ao solo, formando uma poça que se incendeia, sob determinadas condições.

Instalação (CETESB): conjunto de equipamentos e sistemas que permitem o processamento, armazenamento e/ou transporte de insumos, matérias-primas ou produtos.

Jato de fogo (jet fire) (CETESB): fenômeno que ocorre quando um gás inflamável escoar à alta velocidade e encontra uma fonte de ignição próxima ao ponto de vazamento.

LC50 (FEPAM): concentração da substância, no ar, para a qual 50% dos mamíferos mais sensíveis morrem em testes de inalação, para um tempo de exposição menor ou igual há 8 horas.

LD50 (FEPAM): dose de substância para a qual 50% dos mamíferos mais sensíveis morrem em testes de absorção cutânea ou por ingestão oral.

LCLO (FEPAM): a mais baixa concentração da substância, no ar, para a qual foi observada morte entre os mamíferos mais sensíveis, em testes de inalação.

LDLO (FEPAM): a mais baixa dose da substância, para a qual foi observada morte entre os mamíferos mais sensíveis, em testes de absorção ou por ingestão oral.

Licença Prévia (LP) (FEPAM): concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade, aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos a serem atendidos nas fases de localização, implantação e operação.

Licença de Implantação (LI) (FEPAM): autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante.

Licença de Operação (LO) (FEPAM): autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.

Licenciamento ambiental (CETESB): procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, modificação, ampliação e a operação de empreendimentos ou atividades utilizadoras dos recursos ambientais, consideradas efetivas ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar a degradação ambiental, considerando as disposições legais e as normas técnicas aplicáveis ao caso.

Limite Inferior de Inflamabilidade (LII) (CETESB): mínima concentração de gás que, misturada ao ar atmosférico, é capaz de provocar a combustão do produto, a partir do contato com uma fonte de ignição. Concentrações de gás abaixo do LII não são combustíveis, pois, nessa condição, tem-se excesso de oxigênio e pequena quantidade do produto para a queima. Essa condição é denominada “mistura pobre”.

Limite Superior de Inflamabilidade (LSI) (CETESB): máxima concentração de gás que, misturada ao ar atmosférico, é capaz de provocar a combustão do produto, a partir de uma fonte de ignição. Concentrações de gás acima do LSI não são combustíveis, pois, nessa condição, tem-se excesso de produto e pequena quantidade de oxigênio para que a combustão ocorra. Essa condição é denominada “mistura rica”.

Massa Liberada Acidentalmente (MLA) (FEPAM): é a maior quantidade de material perigoso capaz de participar de uma liberação acidental de substância perigosa devido a vazamento ou ruptura de tubulações, componentes em linhas, bombas, vasos, tanques etc., ou por erro de operação ou de reação descontrolada ou de explosão confinada ou não, nas instalações em licenciamento.

Massa de Referência (MR) (FEPAM): é definida para cada uma das substâncias perigosas podendo ser entendida como a menor quantidade da substância capaz de causar danos a uma certa distância do ponto de liberação. Consideram-se situações graves aquelas onde se possa observar:

- a. concentração no ar de substância tóxica capaz de causar morte em 1% das pessoas expostas durante um tempo de 30 minutos;
- b. fluxo de radiação térmica capaz de causar morte em 1% das pessoas expostas durante um tempo de 60 segundos;
- c. explosão gerando combinação de sobrepressão e impulso capaz de causar morte em 1% das pessoas expostas.

Perigo (CETESB): uma ou mais condições, físicas ou químicas, com potencial para causar danos às pessoas, à propriedade, ao meio ambiente ou à combinação destes.

Planta (CETESB): conjunto de unidades de processo e/ou armazenamento com finalidade comum.

Plano de Ação de Emergência (PAE) (CETESB): documento que define as responsabilidades, diretrizes e informações, visando à adoção de procedimentos técnicos e administrativos, estruturados de forma a propiciar respostas rápidas e eficientes em situações emergenciais.

Ponto de ebulição (CETESB): temperatura na qual a pressão interna de um líquido iguala-se à pressão atmosférica ou à pressão à qual está submetido.

Ponto de fulgor (CETESB): menor temperatura na qual uma substância libera vapores em quantidades suficientes para que a mistura de vapor e ar, logo acima de sua superfície, propague uma chama, a partir do contato com uma fonte de ignição.

População fixa (CETESB): pessoa ou agrupamento de pessoas em residências ou estabelecimentos industriais ou comerciais, presentes no entorno de um empreendimento.

Pressão de vapor (CETESB): pressão exercida pelos vapores acima do nível de um líquido. Representa a tendência de uma substância gerar vapores.

Probabilidade (CETESB): chance de um evento específico ocorrer ou de uma condição especial existir.

Probit (CETESB): parâmetro que serve para relacionar a intensidade de fenômenos como radiação térmica, sobrepressão e concentração tóxica com os danos que podem causar às estruturas ou pessoas. O Probit (unidade de probabilidade) é uma variável randômica com média 5 e variância 1. O valor do Probit é relacionado a uma determinada porcentagem por meio de curvas ou tabelas.

Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) (CETESB): documento que define a política e diretrizes de um sistema de gestão, com vistas à prevenção de acidentes em instalações ou atividades potencialmente perigosas.

Relatório Ambiental Preliminar (RAP) (CETESB): documento de caráter preliminar a ser apresentado no processo de licenciamento ambiental no estado de São Paulo.

Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) (CETESB): documento que tem por objetivo refletir as conclusões de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA). Suas informações técnicas devem ser expressas em linguagem acessível ao público, ilustradas por mapas com escalas adequadas, quadros, gráficos e outras técnicas de comunicação visual, de modo que se possam entender claramente as possíveis consequências ambientais e suas alternativas, comparando as vantagens e desvantagens de cada uma delas.

Risco (CETESB): medida de danos à vida humana, resultante da combinação entre a frequência de ocorrência e a magnitude das perdas ou danos (consequências).

Risco individual (CETESB): risco para uma pessoa presente na vizinhança de um perigo, considerando a natureza da injúria que pode ocorrer e o período de tempo em que o dano pode acontecer.

Risco social (FEPAM): risco social associado a uma instalação ou atividade é o número de mortes esperadas por ano em decorrência de acidentes com origem na instalação/atividade, usualmente expresso em mortes/ano.

Rugosidade (CETESB): medida da altura média dos obstáculos que causam turbulência na atmosfera, devido à ação do vento, influenciando na dispersão de uma nuvem de gás ou vapor.

Sistema (CETESB): arranjo ordenado de componentes que estão inter-relacionados e que atuam e interatuam com outros sistemas, para cumprir uma tarefa ou função num determinado ambiente.

Substância (CETESB): espécie da matéria que tem composição definida.

Substâncias tóxicas (FEPAM): são consideradas substâncias de ação tóxica, isto é, com risco grave para a saúde, após exposição, as substâncias que tenham um dos itens abaixo:

- » **f LC50**: 2000 mg/ m³, para um tempo de exposição de 4 horas, (LC50 = concentração da substância, no ar, para a qual 50% dos mamíferos mais sensíveis morrem em testes de inalação);
- » **f LD50 – Cutânea**: 400 mg/ kg de massa corpórea (LD50 – Cutânea = dose para a qual 50% dos mamíferos mais sensíveis morrem em testes de absorção cutânea);
- » **f LD50 – Oral**: 200 mg/ kg de massa corpórea (LD50 – Oral = dose para a qual 50% dos mamíferos mais sensíveis morrem em testes de absorção por via oral).

No caso de não serem disponíveis os dados de LC50 ou LD50, para determinada substância, devem ser utilizados os LCLO ou LDLO correspondentes, que têm o significado de serem a mais baixa concentração ou a mais baixa dose para a qual foi observado qualquer caso de morte do mamífero mais sensível.

Substâncias combustíveis e inflamáveis (FEPAM): substâncias combustíveis são aquelas que podem reagir exotermicamente e de modo autossustentado com um agente oxidante, usualmente o oxigênio do ar, com emissão de luz e calor. São classificadas como substâncias inflamáveis as substâncias combustíveis cujo ponto de fulgor é inferior a 55 °C.

Substâncias explosivas (FEPAM): substâncias explosivas são aquelas capazes de causar uma súbita liberação de gases e calor, gerando rápido aumento de pressão, quando submetidas a choque, pressão ou alta temperatura.

Substância perigosa (FEPAM): substância que se enquadre em qualquer uma das definições de substância tóxica e/ou combustível e inflamável e/ou explosiva.

Unidade (CETESB): conjunto de equipamentos com finalidade de armazenar (unidade de armazenamento) ou de provocar uma transformação física e/ou química nas substâncias envolvidas (unidade de processo).

Classificação de riscos

É possível realizar a classificação de riscos a partir de situações com potenciais perdas e danos ao homem e ao meio ambiente, realizando subdivisões de classes e subclasses partindo-se de dados de Riscos Ambientais (CERRI; AMARAL, 1998). Desta maneira, os Riscos Ambientais podem receber a seguinte divisão: Riscos Naturais e Riscos Antrópicos, e subdivididos em Riscos Tecnológicos e Riscos Sociais. **riscos antrópicos**

Riscos Sociais: estão associados a problemas provenientes e/ou consequências da sociedade humana, como assaltos, guerras etc.

Riscos Tecnológicos: são originários da ação humana, como por exemplo, vazamentos de produtos tóxicos ou inflamáveis, radioativos, quedas de aviões, colisão de automóveis etc.

Esses riscos são causados por diferentes ações antrópicas, como:

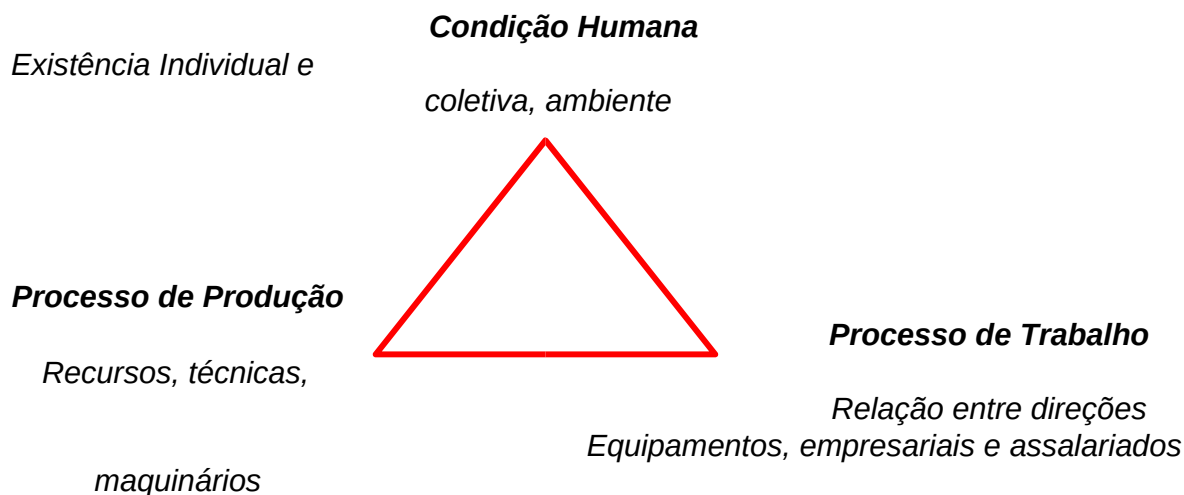
- » utilização ou liberação de substâncias químicas;
- » radiações ionizantes;
- » organismos geneticamente modificados.

As atividades de risco são chamadas de perigosas que incluem atividades capazes de causar dano ambiental como, por exemplo, atividades industriais, transporte e armazenamento de produtos químicos, lançamento de poluentes, manipulação genética, entre outros.

Sevá Filho (1988) discute abordagem sobre estes tipos de riscos e leva em consideração três fatores indissociáveis: o processo de produção (recursos, técnicas, equipamentos, maquinário); o processo de trabalho (relações entre direções empresariais e estatais e

assalariados); e a condição humana (existência individual e coletiva, ambiente). Ele afirma que, a existência de pelo menos um desses fatores existe o risco tecnológico ou a probabilidade de um problema causado por tal risco. A Figura 10, apresenta a relação entre a atividade humana, o processo de trabalho e a produção.

Figura 10. representa a conexão existente entre a condição humana e seu processo de trabalho e produção.



Fonte: sevá Filho, 1988.

Além das subdivisões apresentadas anteriormente, os Riscos Tecnológicos também possuem uma subdivisão:

Agudos: estão relacionados ao mau funcionamento de um sistema tecnológico, como, por exemplo, acidentes industriais ampliados, vazamento de petróleo de um duto ou navio.

Crônicos: provenientes da exposição da população a agentes físicos, como ruído, e/ou a agentes químicos, como substâncias presentes em águas subterrâneas utilizadas para abastecimento doméstico, e à liberação contínua de pequenas quantidades de poluentes.

riscos naturais

Leva-se em consideração a ação do homem como deflagrador ou acelerador dos processos naturais, podendo ser subdivididos em Riscos Físicos e Riscos Biológicos.

Os Riscos Biológicos são divididos em riscos associados à fauna e riscos associados à flora. Os riscos associados à fauna estão relacionados à atuação de agentes vivos, como organismos patogênicos. Os riscos associados à flora estão relacionados a doenças provocadas por fungos, pragas (ervas daninhas), ervas tóxicas e venenosas etc.

Os Riscos Físicos são associados aos processos do meio físico, sendo divididos em três grupos: riscos atmosféricos (ar), geológicos (solo e rocha) e hidrológicos (água).

Atmosféricos: estão associados aos processos e fenômenos meteorológicos e climáticos.

Hidrológicos: são os riscos oriundos de processos e fenômenos hidrológicos, como as chuvas intensas e inundações, enchentes e alagamentos.

Geológicos: estão associados aos processos geológicos, podendo ser subdivididos em dois grupos, relacionados predominantemente à geodinâmica interna (ex.: atividade vulcânica) ou externa (queda de meteoritos).

norma CETESB P4.261

Etapas de um Estudo de Análise de risco (EAR)

Em decorrência aos acidentes ocorridos nas últimas décadas, em especial nos anos de 1980, houve o despertar, da sociedade, órgãos governamentais e indústria, na busca de mecanismos de prevenção às catástrofes ambientais, visando à proteção da população e do meio ambiente. Desta maneira, com a publicação da Resolução nº 1 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 23/1/1986 (BRASIL, 1986) constituiu a necessidade de realizar Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para autorização de atividades modificadora do meio ambiente e a CETESB passou a exigir o Estudo de Análise de Risco para determinados tipos de empreendimentos visando a prevenção de acidentes de grandes proporções. A utilização destes relatórios otimiza e prioriza a adoção de medidas preventiva para possíveis acidentes que possam afetar a população e danificar o meio ambiente. A integração dos estudos de possíveis impactos ambientais minimiza os riscos de subestimação de riscos priorizando a adoção de medidas técnicas relevantes para gerenciamento (Unisa).

A Norma CETESB P4.261 é composta por quatro partes:

1. Parte I — Classificação de empreendimentos quanto à periculosidade;
2. Parte II — Termo de referência para a elaboração de Estudo de Análise de Risco para empreendimentos pontuais;
3. Parte III — Termo de referência para a elaboração de Estudo de Análise de Risco para dutos;

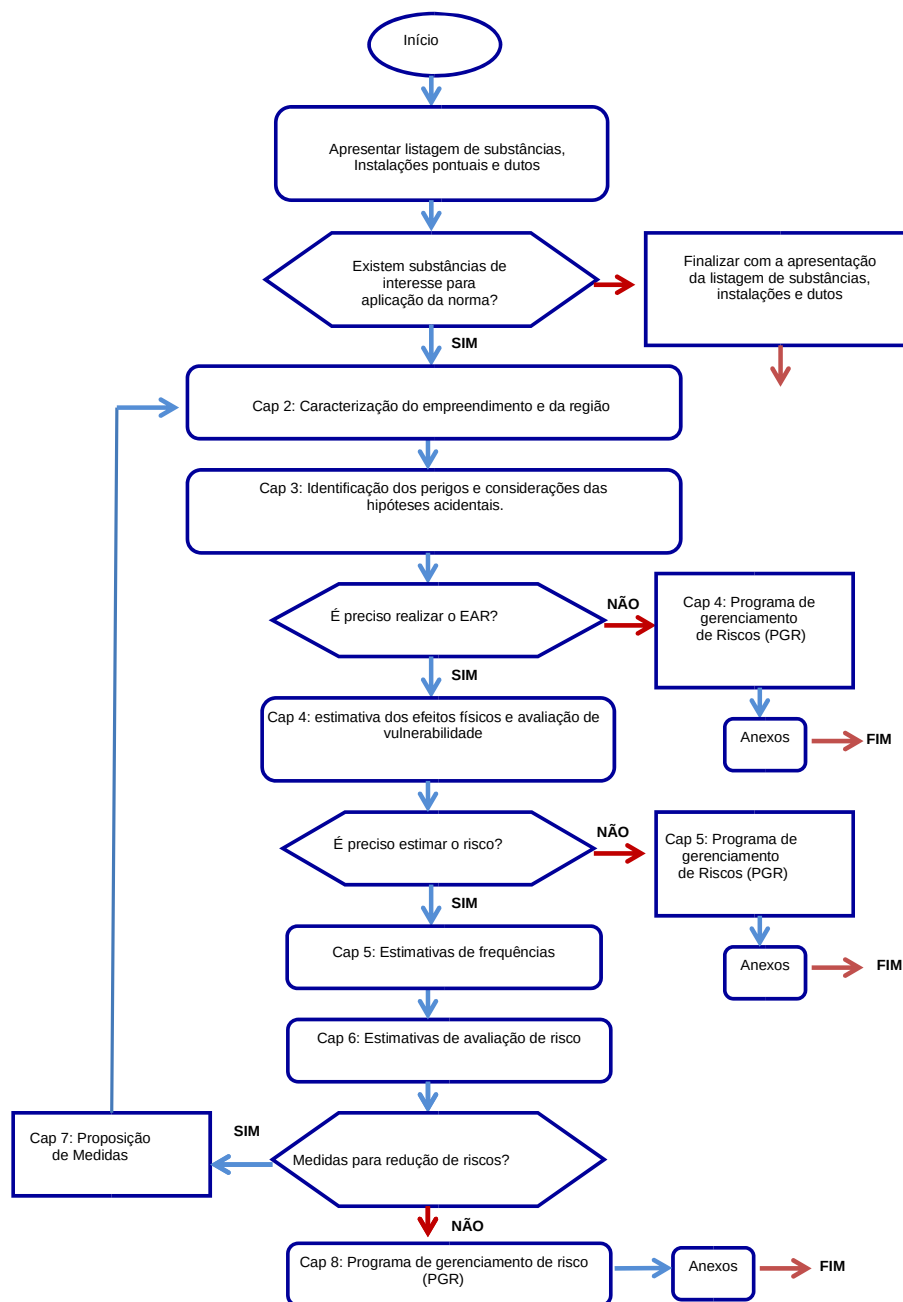
4. Parte IV — Termo de referência para a elaboração de Programa de Gerenciamento de Risco.

A Parte I — tem como finalidade decidir ou não a necessidade de apresentação do Estudo de Análise de Risco (EAR) ou do Programa de gerenciamento de Risco (PGR), fundamentado na periculosidade, quantidade e na vulnerabilidade da região do empreendimento em relação à substância em questão. As Partes II e III estão relacionadas à elaboração dos EAR para empreendimentos pontuais e de dutos, respectivamente.

A Parte IV está relacionada a orientações para a elaboração do PGR.

Como podemos perceber, a implantação de uma indústria química requer uma série de estudos, desde o local de implantação da indústria e os possíveis impactos que ela poderá causar para as regiões vizinhas até a etapa de tratamento de seus resíduos. Além disso, é necessário propor medidas preventivas para intervir em um possível acidente industrial. Assim sendo, o “Manual de Orientação para Elaboração de Estudos de Análise de Risco” (Norma P4.261) visa reduzir/ minimizar os possíveis impactos, decorrente de acidentes, às comunidades presentes ao redor do empreendimento e conter os riscos ambientais e econômicos. A Figura seguinte apresenta a sequência de documentos necessários para a implantação de uma atividade industrial.

Figura 11. sequência de etapas para elaboração de estudos de análise de risco.



Fonte: Cetesb norma P4.261 (2011).

Caracterização do empreendimento e do seu entorno

A importância desta etapa está na identificação de pontos em comum que possam interferir tanto no empreendimento quanto no meio ambiente, estabelecendo uma relação direta entre o empreendimento e a região sob influência. Como resultado, espera-se desenvolver uma interface de diagnóstico entre o empreendimento e a região de instalação, desenvolvendo estudos de análise de risco, metodologias, diretrizes ou necessidades específica para sanar possíveis problemas que possa atingir as partes envolvidas.

Desta maneira, a etapa inicial do trabalho deve possuir os seguintes pontos:

- » realização de levantamento fisiográfico da região sob influência do empreendimento;
- » caracterização das atividades e dos aspectos operacionais;
- » cruzamento das informações e interpretação dos resultados.

Sobre a caracterização das atividades e dos aspectos operacionais dos empreendimentos, é preciso obter dados referentes à planta geral da instalação, do arranjo físico (layout), especificação dos equipamentos, descrição das operações e procedimentos de segurança, identificação e caracterização de fontes de ignição.

Em relação aos aspectos operacionais, devemos obter os dados referentes às substâncias envolvidas, como inventários, formas de armazenamento, características físico-químicas, características toxicológicas, fluxogramas de engenharia e de processo, instrumentação, dados operacionais que englobam informações referentes à pressão e vazão e sobre os sistemas de segurança.

identificação dos perigos e consolidação de cenários de acidentes

O objetivo desta etapa consiste na identificação de possíveis eventos que possam materializar um perigo, sendo definidas hipóteses acidentais com consequências significativas. Neste processo são aplicadas as seguintes técnicas para identificação dos perigos:

1. Análise Preliminar de Perigos (APP);
2. Estudo de perigos e operabilidade (HazOp – *Hazard and Operability Study*);
3. Análise “E se...” (*What if...?*);
4. Lista de verificação (*Checklist*);
5. Análise de Modos de Falhas e Efeitos (AMFE).

Estimativa dos efeitos físicos e análises de vulnerabilidade

Nesta etapa são utilizados modelos de cálculos que auxiliem na representação de possíveis efeitos decorrentes das diferentes tipologias, como por exemplo:

- » radiações térmicas de incêndios;
- » sobrepressões causadas por explosões;
- » concentrações tóxicas decorrentes de emissões de gases e vapores.

Os resultados obtidos nesta etapa serão utilizados como base para a análise do ambiente vulnerável no entorno da instalação de estudo.

A estimativa dos efeitos físicos decorrentes dos cenários acidentais envolvendo substâncias inflamáveis deverá ser precedida da elaboração de Árvores de Eventos, para a definição das diferentes tipologias acidentais. A Análise de Árvores de Eventos (AAE) deverá descrever a sequência dos fatos que possam se desenvolver a partir da hipótese acidental em estudo, prevendo situações de sucesso ou falha, de acordo com as interferências existentes até a sua conclusão, com a definição das diferentes tipologias acidentais.

A estimativa dos efeitos físicos deverá ser realizada através da aplicação de modelos matemáticos que efetivamente representem os fenômenos em estudo, de acordo com as hipóteses acidentais identificadas e com as características e comportamento das substâncias envolvidas. Os modelos a serem utilizados deverão simular a ocorrência de liberações de substâncias inflamáveis e tóxicas, de acordo com as diferentes tipologias acidentais. Para uma correta interpretação dos resultados, esses modelos requerem uma série de informações que devem estar claramente definidas. Deve-se ressaltar que, todos os dados utilizados na realização das simulações deverão ser acompanhados das respectivas memórias de cálculo, destacando-se, entre outros, os cálculos das taxas de vazamento, as áreas de poças e as massas das substâncias envolvidas nas dispersões e explosões de nuvens de gás ou vapor.

Estimativa de frequências

A elaboração de estudos quantitativos de análise de risco requer a estimativa das frequências de ocorrência de falhas de equipamentos relacionados com as instalações ou atividades em análise.

Da mesma maneira, a estimativa de probabilidades de erro humano deve muitas vezes ser quantificada no cálculo de risco. Esses dados são normalmente difíceis de serem

estimados, em função da indisponibilidade de estudos desse tipo. Para cálculo das frequências de ocorrência dos cenários acidentais são levadas em consideração as seguintes técnicas:

- » análise histórica de falhas decorrentes de acidentes, por meio de pesquisas em referências bibliográficas ou em banco de dados de falhas;
- » análise de Árvores de Falhas (AAF);
- » análise de Árvores de Eventos (AAE).

Em alguns casos, fatores externos podem contribuir para o risco de uma instalação, sendo necessário considerar a probabilidade ou frequência de ocorrências causados por terceiros, como por exemplo, terremotos, enchentes, deslizamentos de solo e queda de aeronaves, entre outros.

Estimativa e avaliação de riscos

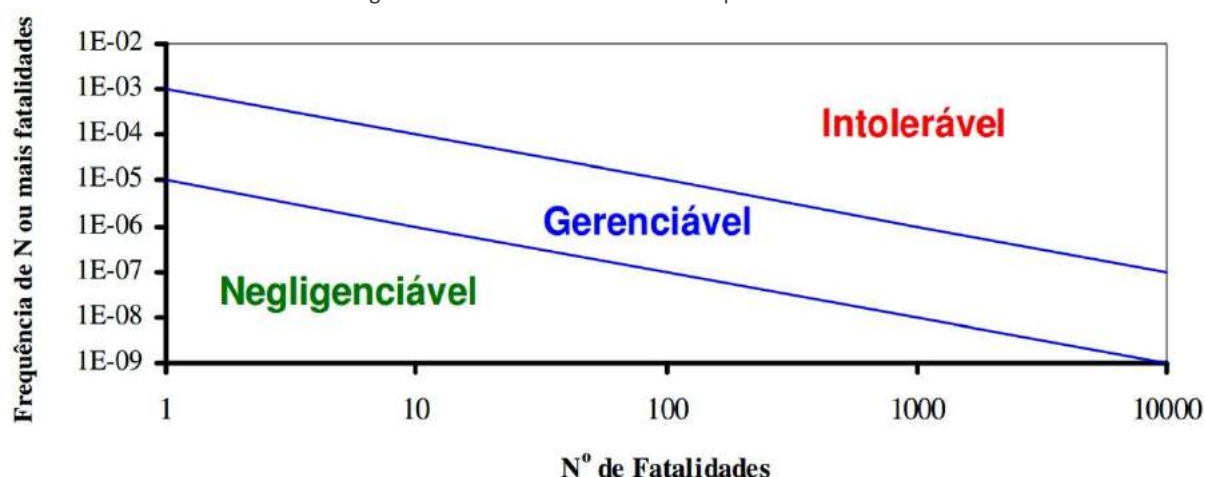
De acordo com a Cetesb (2003), os riscos que devem ser avaliados devem levar em consideração dados relacionados de possíveis vítimas fatais, danos à saúde da comunidade próxima a instalação. Assim sendo, os estudos de análise de risco submetidos à Cetesb deverão conter dados referentes ao Risco de Social e Risco Individual:

- » **Risco Social:** refere-se ao risco para um determinado número ou agrupamento de pessoas expostas aos danos decorrentes de um ou mais cenários acidentais.
- » **Risco Individual:** risco para uma pessoa presente na vizinhança de um perigo, considerando a natureza do dano que pode ocorrer e o período de tempo em que este pode acontecer.

Avaliações dos riscos

A avaliação de riscos leva em consideração uma série de fatores como, por exemplo, a discussão de tolerabilidade dos riscos, envolvendo um julgamento subjetivo e pessoal. Desta maneira, para estabelecer uma norma sobre a avaliação de risco, foi realizado um levantamento dos critérios internacionais atualmente vigentes (Reino Unido, Holanda, Hong Kong, Austrália, Estados Unidos e Suíça). A Figura a seguir, apresenta os limites de avaliação de riscos.

Figura 12. Curva F-n de tolerabilidade para risco social.



Fonte: Cetesb (2003).

gerenciamento de riscos

O Programa de Gerenciamento de Risco (PGR) deve levar em consideração as atividades rotineiras ou não de uma planta industrial, estabelecendo requisitos que contenham orientações gerais de gestão visando à prevenção de acidentes. Para empreendimentos de médio e grande porte, o PGR devem contemplar os seguintes itens:

- » informações de segurança de processo;
 - » revisão dos riscos de processos;
 - » gerenciamento de modificações;
 - » manutenção e garantia da integridade de sistemas críticos;
 - » procedimentos operacionais;
 - » capacitação de recursos humanos; investigação de incidentes;
 - » Plano de Ação de Emergência (PAE); »
- auditorias.

Comunicação de riscos

A comunicação de riscos tem como objetivo alertar a comunidade sobre os possíveis riscos a fim de grades tragédias e auxiliar no gerenciamento de atividades para contornar possíveis problemas. Este processo pode contemplar os seguintes objetivos:

- » alertar o público para um risco específico;

- » acalmar o público para um risco específico;
- » informar sobre a revisão de estimativas de risco;
- » mudar o comportamento;
- » auxiliar ou buscar auxílio;
- » buscar a participação pública e governamental no processo decisório;
- » superar oposição pública e governamental às decisões;
- » garantir a sobrevivência da organização.

gEstão AmbiEntAL nA indúStriA

química

CAPÍTULO 1 o sistema de gestão ambiental baseado nas normas ISO 14.001/2015



Por muitos anos os efeitos negativos das atividades antrópicas no meio ambiente foram ignorados, resultando em inúmeros desastres ambientais em diferentes partes do planeta. Em resposta, vários governos e diferentes grupos sociais iniciaram uma luta para que sejam adotadas medidas de conservação ou de preservação da natureza. Assim surge uma nova área de estudo na busca de equacionar os impactos ambientais ocasionados pela sociedade na busca de suas satisfações de suas necessidades e de suas aspirações sociais. Assim a fim de alcançar o desenvolvimento sustentável, a proteção ambiental deverá constituir parte integrante do processo de desenvolvimento e não poderá considerar -se de forma isolada”



A implantação do Sistema de Gestão Ambiental é uma preocupação com o meio ambiente, ou apenas realizado para se regulamentar perante a legislação e utilizado como marketing verde?

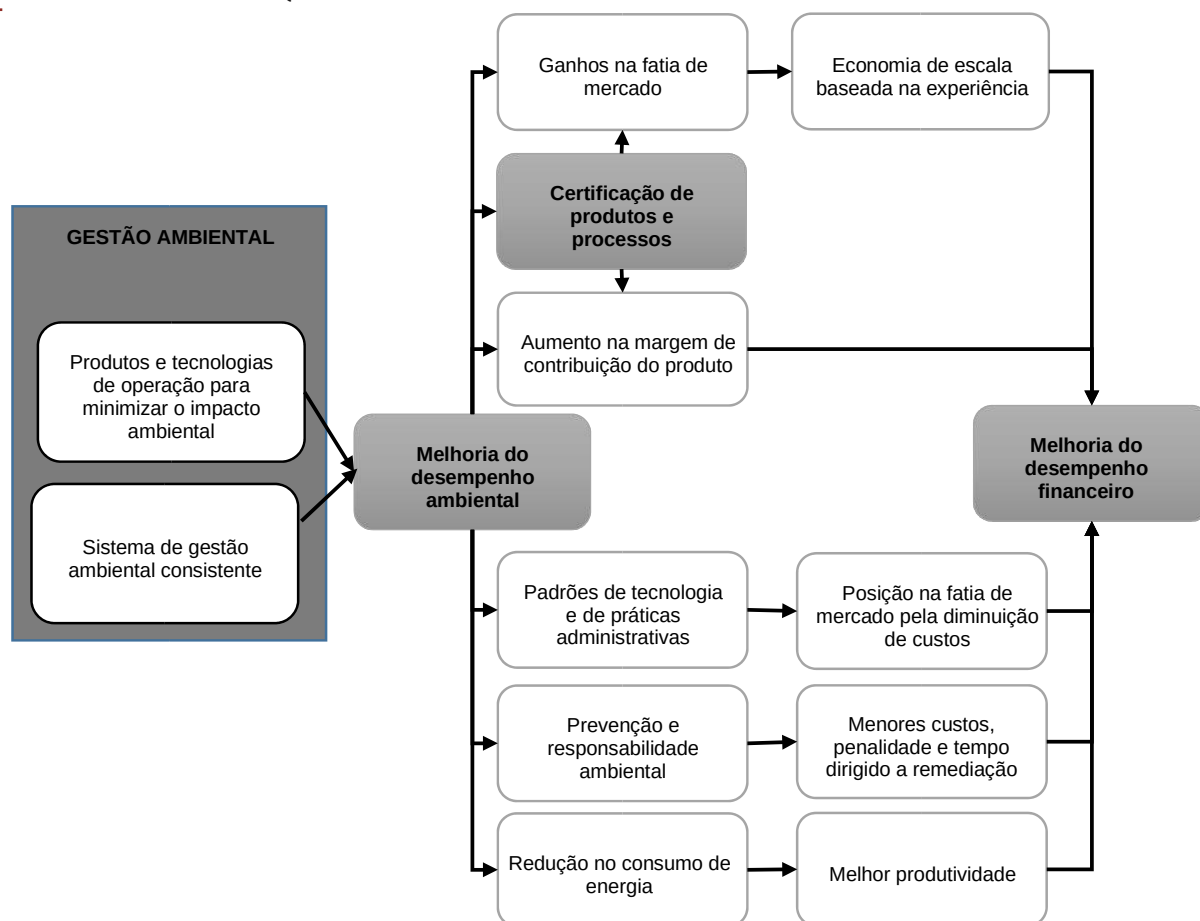
O gerenciamento ambiental não se limita somente às questões ambientais, mas sim conversa com diferentes áreas do conhecimento, como economia, engenharia, ecologia, meio ambiente, saúde, sociologia, segurança etc. (BRILHANTE, 1999). Dentro da indústria o sistema de gestão ambiental é regido pelo princípio de qualidade total, que requer ao lado dos objetivos quantitativos de produção, a consideração de metas para diversas outras variáveis como eficiência, custos, segurança e qualidade dos produtos.

Nos últimos anos foram tomadas várias iniciativas destinadas a estabelecer um padrão de gerenciamento ambiental aplicável por diferentes segmentos econômicos. Assim, a partir da norma Britânica BS7750, foi e ainda está sendo desenvolvida a série ISO 14000, da *International Standardization Organization*, sediada em Genebra, que tem como objetivo estabelecer padrões para sistemas de gerenciamento ambiental (ISO 14001); auditoria ambiental (ISO 14010, 14011 e 14012); rotulagem ambiental (ISO 14020, 14021 e 14024); avaliação do ciclo de vida (ISO 14040) e aspectos ambientais em normas de produtos (ISO 14060). No Brasil, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) é o responsável pela aplicação, credenciamento e certificação da série ISO (BRILHANTE, 1999).

Em 1996, foi publicada a primeira versão da ISO 14001 para atender as empresas que utilizam recursos retirados da natureza e/ou que causam algum tipo de dano ambiental decorrente de suas atividades. Em 1999 para discussão e desenvolvimento das normas ISO 14000 em nível internacional, foi realizado a tradução e publicação das normas brasileiras correspondentes. Em 2004 houve alterações para esclarecimento da primeira edição, para auxiliar o seu entendimento e melhorar sua compatibilidade com a ISO 9001. E em 2015, foi realizada a segunda revisão em virtude da proliferação de sistema de gestão, legislação ambiental mais exigente, pressões sobre o meio ambiente como a poluição, o uso ineficiente dos recursos naturais, resíduos, mudanças climáticas e degradação dos ecossistemas e da biodiversidade, tendo como objetivo principal a sustentabilidade, transparência e responsabilidade.

A ISO 14001/ 2015 passa a exigir que a gestão ambiental seja mais importante no posicionamento da empresa, maior comprometimento na liderança, implementação de iniciativas proativas que visem proteger o meio ambiente contra danos e degradação, enfoque no conceito de ciclo de vida a fim de garantir que aspectos ambientais sejam levados em consideração desde o desenvolvimento até o fim da vida útil do produto, adoção de estratégias de comunicação com foco nas partes interessadas e por fim facilita uma integração com outros sistemas de gestão, visto que tem a mesma estrutura e os mesmo termos e definições (ABNT, 2015).

A ISO 14001 tem potencial para trazer não só ganhos ambientais para a empresa como ganhos econômicos, como por exemplo, a redução de custos com a diminuição do consumo de água e energia elétrica e consequentemente a certificação pode trazer vantagens competitivas. Na Figura seguinte é apresentado a relação entre gestão ambiental e a rentabilidade da empresa.



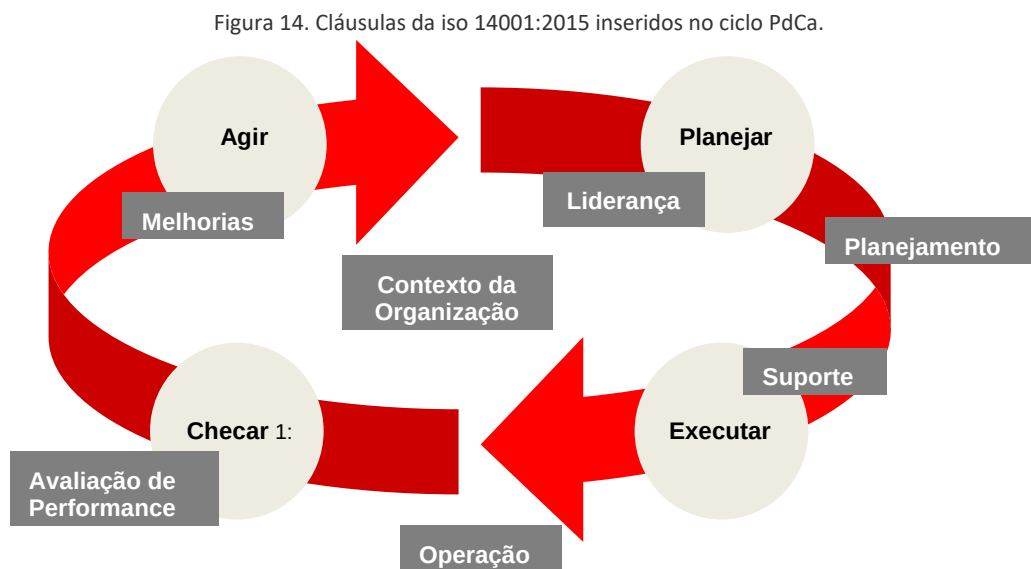
Fonte: Klassen; mClauGhlin, 1996.

A norma NBR ISO 14001 conceitua SGA como a parte do sistema de gestão global que inclui estrutura organizacional, atividades de planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos, processos e recursos para desenvolver, implementar, atingir, analisar criticamente e manter a política ambiental (ABNT, 1996a). O SGA deve ter como um dos objetivos o melhoramento contínuo incluindo não só seu desempenho produtivo e econômico, mas também sua performance em relação ao meio ambiente.

Os requisitos mínimos necessários para que uma empresa se certifique com a ISO 14001 são: implantação de um SGA, demonstrar comprometimento expresso em sua política com a legislação ambiental, estabelecer e manter regulamentos internos visando a melhoria contínua do sistema.

A ISO 14001 é baseado no ciclo PDCA, *plan – planejar*: estabelecer objetivos e processos necessários para atingir os resultados, com base na política de organização; *do – executar*: implementar o que foi planejado; *check – verificar*: monitorar e medir os processos em conformidade com a política, incluindo objetivos, metas, requisitos legais e compromissos assumidos pela organização e *act – agir*: implementar ações necessárias para melhorar continuamente o desempenho do sistema de gestão, podendo atuar sobre o planejamento e, em consequência, sobre os outros passos do

processo, no qual todas as cláusulas podem ser agrupadas dentro destes quatro pontos principais como ilustrado na Figura 14.



Fonte: bsj, 2017.

As principais exigências da ISSO 14001:2015 segundo os requisitos e especificações do sistema de gestão ambiental, podem ser resumidos:

- » **Contexto da organização:** deverá estabelecer fatores internos e externos relevantes para o negócio, identificar as partes interessadas (clientes, governo, fornecedores, empregados, organizações não governamentais etc.), resultando na base para a identificação do escopo da empresa.
- » **Liderança:** exigências específicas para alta administração que são definidas como uma pessoa ou grupo de pessoas que dirige e controla uma organização no mais alto nível.
- » **Planejamento:** a organização fórmula um plano que satisfaça às políticas definidas, considerando na definição de seus objetivos ambientais os aspectos relacionados aos impactos significativos de suas atividades, e também garante os recursos físicos e financeiros para a sua implementação. Durante a etapa do planejamento deve conter o plano de ciclo de vida, ou seja, considerar desde a aquisição da matéria-prima, desenvolvimento, produção, distribuição, uso e destinação final. Deve-se também identificar os riscos e as oportunidades que podem influenciar a capacidade de alcance dos resultados pretendidos e determinar quais destes riscos e oportunidades devem ser endereçados.

- » **Apoio:** as organizações deverão estabelecer, implementar e manter um processo para a comunicação, determinando especificamente o que vão comunicar, quando, a quem e como.
- » **Operação:** são apresentados requisitos explícitos para planejamento e controle operacional dos processos necessários para atendimento aos requisitos do SGA e preparar-se e responder a potenciais situações de emergências.
- » **Avaliação de desempenho:** a organização deve monitorar, medir, analisar e avaliar seu desempenho ambiental. Primeiramente a organização deve determinar: *a)* o que precisa ser monitorado e medido; *b)* os métodos de monitoramento, medição, análise e avaliação, como aplicável, para assegurar resultados válidos; *c)* os critérios pelos quais a organização irá avaliar seu desempenho ambiental e indicadores apropriados; *d)* quando o monitoramento e a medição devem ser realizados; *e)* quando os resultados de monitoramento e medição devem ser analisados e avaliados. Estes critérios devem ser revisados periodicamente e em intervalos planejados prover relatórios sobre o sistema de gestão ambiental por meio de auditorias
- » **Melhoria:** a organização deve determinar oportunidades para melhoria e implementar as ações necessárias para alcançar os resultados pretendidos pelo seu sistema de gestão ambiental. A organização deverá demonstrar, por meio de critérios e indicadores apropriados, que obteve melhorias em seu desempenho ambiental.
- » **Prevenção como elemento central:** a prevenção é incorporada nesta nova estrutura, de forma implícita, em diversos requisitos, pode-se ser observado incorporado na ISSO desde o primeiro subitem 4.1 – Entender a organização e seu contexto – e no subitem 6.1 – Ações para endereçar riscos e oportunidades até o último subitem Análise pela administração (9.3).

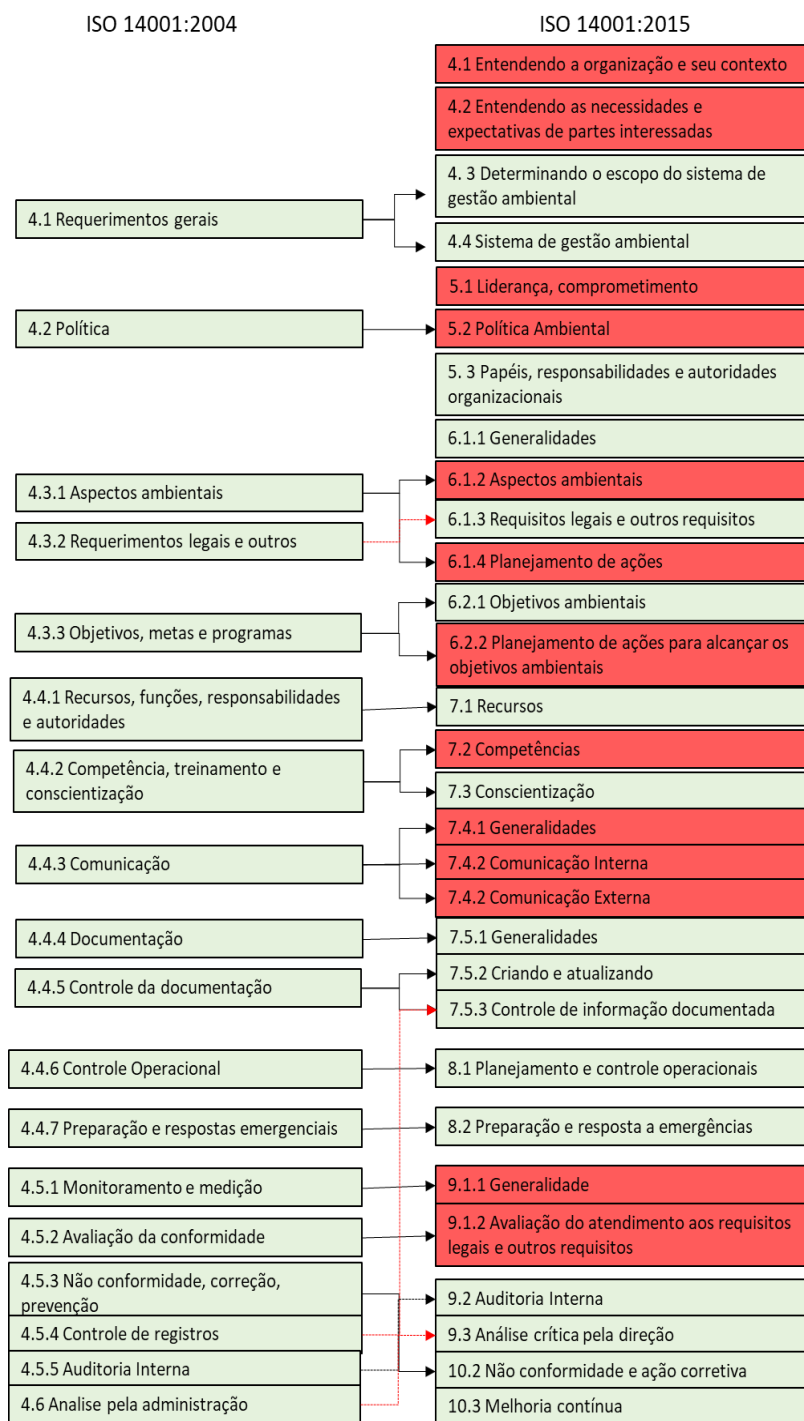
A Norma ISO 14001:2015 terá um período de transição de 3 anos a partir de sua publicação. Após este período, os certificados emitidos com base na ISO 14001:2004 não serão mais válidos. Para tanto, sugere-se que esta adaptação contemple as seguintes atividades:

- » comparação do SGA atual com os novos requisitos da ISO 14001;

- » desenvolvimento de um plano de ação com base na análise comparativa para atendimento da nova versão da norma;
- » treinamento dos principais envolvidos na implantação;
- » implementação das ações necessárias para adequar o SGA para atendimento aos novos requisitos da norma;
- » verificação da efetividade das ações implementadas;

Na Figura seguinte é apresentado correspondência entre as cláusulas (requisitos) da ISO 14001:2015 (conforme DIS de 8/2014) e da Norma ISO 14001:2004.

Figura 15. Correspondência entre as cláusulas da iso 14001:2015 e iso 14001:2004.



Fonte: adaptado de bms, 2017.

CAPÍTULO 2

A avaliação de impactos ambientais como ferramenta de gestão ambiental



Inúmeras atividades antropogênicas causam perturbações ambientais que não se reduzem à emissão de poluentes. O grau de perturbação pode ser percebido em diferentes graus. O grau de perturbação pode ser tal que, um ambiente se

recupere espontaneamente, mas, a partir de certo grau de degradação, a recuperação espontânea pode ser impossível ou somente se dar a prazo muito longo. Conhecer o impacto, seja positivo ou negativo, gerado em cada atividade, faz com que seja possível evitar que o meio ambiente seja degradado e quando não é possível, criar planos para remediação dos mesmos.

Na literatura muitas vezes é confundido o conceito de impacto ambiental e poluição. Poluição possui conotação negativa, refere-se a matéria ou energia que podem ser medidas e estabelecer padrões, causando um impacto ambiental negativo, já impacto ambiental poder ser benéfico ou adverso, toda ação humana causa algum tipo de impacto ambiental sem que seja diretamente associada à emissão de poluentes, uma mesma ação pode causar diversos impactos ambientais (SANCHES, 2015).

O termo Avaliação de Impactos ambientais (AIA) segundo International Association for Impact Assessment –IAIA, 1999, pode ser definido como um processo de identificar, prever, avaliar e mitigar os efeitos relevantes de ordem biofísica, social ou outros de projetos ou atividades antes que decisões importantes sejam tomadas.

Já para Moreira é um instrumento de política ambiental, formado por um conjunto de procedimentos capaz de assegurar, desde o início do processo, um exame sistemático dos impactos ambientais de uma ação propostas e de suas alternativas e que sejam apresentados de forma adequada ao público e aos responsáveis pela tomada de decisão (MOREIRA, 1992), que vai de encontro com a definição da ONU, que vê a AIA como instrumento nacional, deve ser empreendida para atividades propostas que tenham probabilidade de causar um impacto adverso significativo no ambiente e sujeitas a uma decisão da autoridade competente (ONU, 1992).

Os objetivos da AIA são: prever possíveis dados ambientais e consequentemente, prevenir o dano ambiental; transparência administrativa quanto aos efeitos ambientais de um determinado projeto; consulta pública aos interessados, garantindo a participação efetiva: decisão ambiental deve atender ao interesse público; instrumento de negociação e mediação; motivação da decisão ambiental: fornece elementos para instrumentalizar e justificar a tomada de decisão; planejamento e gestão: fornece elementos para o planejamento e gestão ambiental.

Os principais instrumentos legais referentes a AIA são:

- » **Lei Federal nº 6.803/ 1980 (Zoneamento industrial):** Dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial em áreas críticas de poluição e exige a elaboração de EIA para a implantação de indústrias em zonas de uso estritamente industrial

- » **Lei Federal 6.938/ 1981 (Plano Nacional de Meio Ambiente):** o EIA é tratado como instrumento da política ambiental (art. 9º, III), exigível para projetos ou empreendimentos potencialmente causadores de poluição, sejam públicos e particulares, urbanos ou rurais, em áreas críticas de poluição ou não.
- » **Decreto Federal nº 88.351/1983** - Regulamenta a Lei nº 6.938/1981 e substituído pelo Decreto nº 99.274/1990 - Estabeleceu a vinculação entre o licenciamento e a AIA e outorgou ao CONAMA a competência de fixar critérios básicos para EIA e RIMA.
- » **Resolução CONAMA nº 001/1986** - Revisto pela Resolução nº 237/1997 — Estabeleceu as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da AIA, definiu as diretrizes gerais e as atividades técnicas a serem desenvolvidas pelo EIA e a necessidade de equipe multidisciplinar para sua elaboração e estabelece o conteúdo e procedimentos do RIMA.
- » **Resolução CONAMA nº 009/1987:** disciplinou a realização de audiências públicas já previstas na Resolução nº 001/1986.
- » **Resolução CONAMA nº 237/1997:** estabeleceu procedimentos, definições, competências e exemplificou o que deve ser licenciado.
- » **Estatuto da Cidade (Lei Federal nº 10.257/2001):** institui o Estudo de impacto de vizinhança como instrumento de política urbana.

Estudo de impacto ambiental (EiA)

Os EIA estão relacionados aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: relatório ambiental, plano e

projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco.

O EIA deve contemplar às seguintes diretrizes: todas as alternativas tecnológicas e de localização do projeto, confrontando-as com a hipótese de não execução do projeto; identificar e avaliar sistematicamente os impactos ambientais gerados nas fases de implantação e operação da atividade; definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza; considerar os planos e programas governamentais, propostos e em implantação na área de influência do projeto, e sua compatibilidade.

No estudo de impacto ambiental deve conter o diagnóstico ambiental para a área de influência do projeto, com o inventário do meio ambiente anterior à ação proposta, envolvendo aspectos do meio físico, do meio biótico e do meio antrópico, identificação, valoração e interpretação dos prováveis impactos ambientais em cada uma das fases do empreendimento: planejamento, implantação e operação; definição das medidas mitigadoras, programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos.

É por meio do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) que é divulgado o EIA, no qual é descrito todo o que foi realizado durante o EIA.

Etapas do processo de AiA

A estrutura básica do Estudo de Avaliação de Impacto Ambiental está descrita nos tópicos abaixo (ADISSI, 2013).

- » **Apresentação da proposta:** é composto pelo memorial descritivo do projeto, com publicação em jornal anunciando a intenção de realizar a proposta.

Após o envio da apresentação da proposta, o projeto é avaliado e é definido qual nível de avaliação ambiental e o tipo de estudo ambiental necessário.

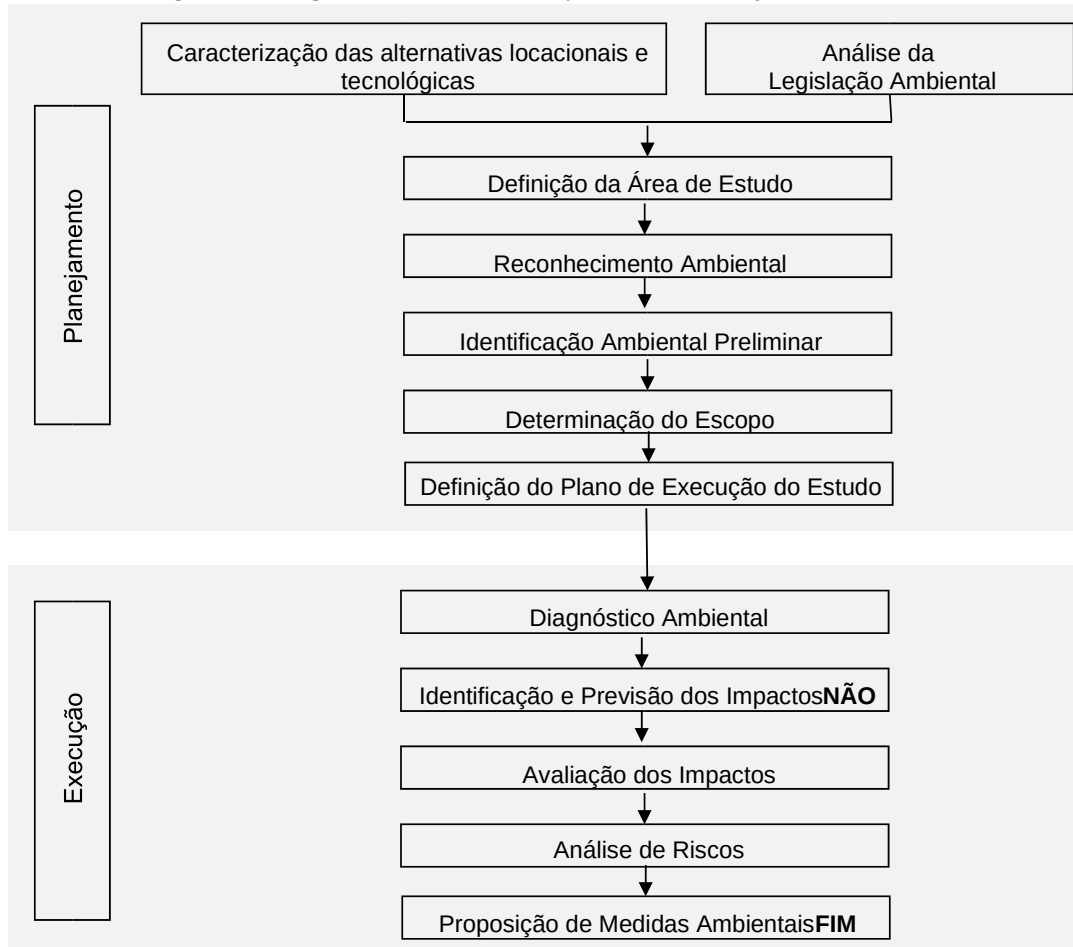
- » **Triagem:** durante a triagem em relação ao porte do empreendimento, localização em áreas sensíveis (zonas industriais, área de proteção ambiental APA, recursos ambientais afetados, impactos positivos e negativos e selecionado as atividades que tenham potencial para causar alterações ambientais significativas. Alguns empreendimentos devido ao

conhecimento dos impactos gerados devem obrigatoriamente realizar o AIA completo, segue lista abaixo:

- › estradas de rodagem com duas ou mais faixa de rolamento;
- › ferrovias;
- › portos e terminais de minérios, petróleo e produtos químicos;
- › aeroportos;
- › oleodutos, gasodutos, minerodutos, troncos coletores e emissários de esgoto sanitário;
- › linhas de transmissão de energia elétrica acima de 230 KV;
- › obras de hidráulica para exploração de recursos hídricos, tais como: barragens para fins hidroelétricos, acima de 10MW, de saneamento ou de irrigação, abertura de canais para navegação, drenagem e irrigação, retificação de cursos d'água, abertura de barras e embocaduras, transposição de bacias, diques;
- › extração de combustível fóssil (petróleo, xisto, carvão);
- › extração de minério;
- › aterros sanitários, processamento e destino final de resíduos tóxicos ou perigosos;
- › usinas de geração de energia elétrica, qualquer que seja a fonte primária, acima de 10 MW;
- › complexo e unidades industriais e agroindustriais (petroquímicos, siderúrgico, cloroquímicos, destilarias de álcool, hulha, extração e cultivo de recursos hídricos;
- › distritos industriais e zonas estritamente industriais;
- › exploração econômica de madeira ou de lenha, em áreas acima de 100 hectares ou menores, quando atingir áreas significativas em termos de percentuais ou de importância do ponto de vista ambiental;
- › projetos urbanísticos, acima de 100 ha. ou em áreas consideradas relevante interesse ambiental a critério do SEMA e dos órgãos municipais e estaduais competentes;

- › qualquer atividade que utilizar carvão vegetal, derivados ou produtos similares, em quantidade superior a dez toneladas por dia;
- › projetos agropecuários que contemplem áreas acima de 1000 ha. ou menores, neste caso, quando se tratar de áreas significativas em termos percentuais ou de importância do ponto de vista ambiental, inclusive nas áreas de proteção ambiental.
- » **Escopo:** nesta fase define-se quais impactos associados ao empreendimento deve ser considerado nos estudos ambientais, as alternativas tecnológicas e locacionais, delimita-se a abrangência do estudo ambiental, focando o uso do tempo e recursos materiais e humanos de modo a direcionar o levantamento de dados e de pesquisa no diagnóstico ambiental.
- » **Elaboração do estudo de impacto ambiental:** o principal e mais completo estudo realizado é o EIA/RIM. Segundo Sanches, a elaboração de um EIA pode ser dividida em duas fases: o de planejamento e o de execução, na figura seguinte é apresentado um fluxograma com as principais atividades prevista em cada uma das fases

Figura 16. Fluxogramas com as atividades prevista na elaboração do eia.



Fonte: adissi, 2013.

- » **Análise técnica do Estudo de Impacto Ambiental:** as diferentes técnicas de AIA podem ser aplicadas para coletar, analisar, avaliar, comparar, organizar e apresentar informações qualitativas e quantitativas sobre os impactos ambientais de uma atividade antrópica (SILVA, 1994). Em cada fase da realização de uma EIA pode ser utilizada diferentes técnicas e métodos que podem ser combinados.
- » **Consulta pública:** a consulta pública pode ser realizada em diferentes momentos do EIA, devendo incluir a população diretamente influenciada e todos os cidadãos interessados.
- » **Decisão:** após realizado o EIA/RIMA, caso aprovação condicionado ao cumprimento das exigências, o órgão competente pode autorizar a Licença Prévia para início do empreendimento ou degenerar o pedido de licença, formulando novas exigências e diretrizes no termo de referência e modificações no EIA/RIMA.
- » **Monitoramento e gestão ambiental:** elaboração do programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos positivos e negativos, indicando os fatores e parâmetros a serem considerados.

impacto ambiental na indústria química

Os produtos na indústria química estão presentes na forma de matérias-primas, de produtos de consumo ou de bens duráveis, fazendo-se o uso de uma quantidade significativa de recursos naturais, contribuindo de forma direta na degradação do meio ambiente, seja ele do ar, na água, na saúde humana, entre outros (FREITAS, 2015).

Para ser caracterizado como um produto de origem da indústria química o mesmo deve passar por processos químicos (reações químicas) que formam novas substâncias com características físico-químicas diferentes das substâncias iniciais. Os grupos de atividades abrangidos pela fabricação de produtos químicos são os seguintes: fabricação de produtos químicos orgânicos e inorgânicos, fabricação de resinas e elastômeros, fabricação de fios, fibras, cabos, filamentos contínuos artificiais e sintéticos, fabricação de produtos farmacêuticos e defensivos agrícolas, fabricação de sabões, detergentes, artigos de perfumaria, tintas vernizes, esmaltes e produtos afins (ABEQUIM, 2011).

Vários produtos químicos fabricados a partir de matéria-prima fósseis como: carvão, petróleo e gás natural, vem sendo substituído por matérias-primas obtidas de fonte renováveis.

Os principais impactos ambientais negativos provenientes da indústria química são a utilização de grandes quantidades de água, para processos e operações de resfriamento e lavagem, podendo a água ser contaminada com produtos químicos e subprodutos. Os resíduos sólidos podem incluir restos de matéria-prima, polímeros residuais, lodos, materiais provenientes da limpeza de equipamentos de controle de emissões de cinzas de fornos e caldeiras. Geração de ruídos que variam entre 70 – 100 dB (A) dos compressores e centrifugas de alta velocidade, válvulas de controle, sistemas de tubulações turbinas a gás, bombas, fornos, trocadores de calor com resfriamento a ar e torres de resfriamento (FREITAS, 2015).

Os impactos ambientais positivos decorrentes das ações de implantação e operação de uma indústria química são: melhoria da qualidade de vida da população, expectativa de vida da população (indústria farmacêutica), geração de emprego, interferência da infraestrutura urbana, aumento de arrecadação tributária, dinamização da economia, ampliação do conhecimento técnico científico (FREITAS, 2015). Os principais impactos ambientais na indústria química estão apresentados na tabela.

tabela 5. Principais impactos ambientais na indústria química.

Impactos Ambientais	Classificação
Melhoria na qualidade de vida da população.	Positivo, estratégico, imediato, reversível, determinístico, direto.
Expectativa de vida da população.	Positivo, regional, imediato, reversível, determinístico, direto.
Movimentos de terra para construção da fábrica e da infraestrutura.	Negativo, local, permanente, reversível, determinístico, direto.
Alteração na característica do solo.	Negativo, local, imediato, reversível, determinístico, direto.
Alteração nas águas subterrâneas.	Negativo, regional, de médio ou longo prazo, reversível, determinístico, direto.
Alteração de qualidade de rios.	Negativo, regional, de médio ou longo prazo, reversível, determinístico, direto.
Alteração da qualidade do ar.	Negativo, regional, imediato, reversível, determinístico, direto.
Aumento da geração de ruído.	Negativo, local, permanente e cíclico, reversível, determinístico, direto.
Alteração na paisagem.	Negativo, local, permanente, reversível, determinístico, direto.
Redução da cobertura vegetal.	Negativo, local, permanente, reversível, determinístico, direto.
Aumento do trânsito de veículos.	Negativo, estratégico, imediato, reversível, determinístico, indireto.

Interferência na infraestrutura urbana.	Positivo, estratégico, imediato, reversível, determinístico, indireto.
Aumento da incidência e disseminação de doenças.	Negativo, estratégico, imediato, reversível, determinístico, direto.
Geração de resíduos sólidos.	Negativo, local, imediato, reversível, determinístico, direto.

Fonte: (Freitas, 2015).

Controle da Poluição Ambiental Industrial

Unidade IV

Química

CAPÍTULO 1 Controle da poluição atmosférica



A atmosfera é um sistema dinâmico que está sujeito modificações de suas características em níveis locais e globais, desta forma os efeitos danosos decorrentes das emissões de poluentes não são somente prejudiciais ao local e a fonte originária, mas também atingem outras populações e regiões, configurando assim um problema internacional.

Muitos centros urbanos devido aos altos índices de poluição ao invés de possuírem o céu azul, tem uma coloração amarronzada, são tão poluídos que muitas vezes o ar é impróprio para respirar.



O ar que respiramos é saudável?

o que é poluição atmosférica

Segundo a Resolução Conama nº 3/1990 define como poluente atmosférico: qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidades, concentração, tempo ou característica em desacordo com níveis estabelecidos e que tornem ou possam tornar o ar:

- » impróprio, nocivo ou ofensivo a saúde;
- » inconveniente ao bem-estar público;
- » danoso aos materiais, fauna e flora ou

» prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

A poluição é um fenômeno que predomina na área urbano-industrial, principalmente pelas indústrias petroquímicas e químicas, em que os potenciais poluidores são elevadíssimos, no entanto também há poluição no meio rural e nas florestas, devido principalmente à queima da palha da cana de açúcar e as queimadas de diferentes dimensões provocadas nos campos de cultivo, em bosques e florestas.

A poluição do ar pode ser classificada quanto a sua origem, podendo ser por fontes naturais ou antropogênicas. As fontes naturais de poluentes do ar são as erupções vulcânicas que liberam poeira, vapor de mercúrio, ácido clorídrico (HCl) e ácido sulfúrico (H₂S), emissão biogênica de compostos orgânicos reativos pelas florestas, grandes plantações e matas em geral, poeiras do deserto, liberação de metano (CH₄) pela decomposição da matéria orgânica em áreas alagadas e durante o processo de digestão de animais ruminantes, fumaça e monóxido de carbono emitido das queimas naturais, atividade microbiológica nos oceanos, liberando gases sulfurosos (ECYCLE, 2017)

As fontes antropogênicas, ou seja, derivadas de atividades humanas podemos citar as atividades industriais, que emitem principalmente gases como o dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), compostos nitrogenados (NO_x), compostos fluorados, fenóis e compostos orgânicos voláteis (COVs), na agricultura por meio de emissões de amônia (NH₃) devido ao uso de fertilizantes, nas queimadas agrícolas com a liberação principalmente de material particulado e gases (NO, NO₂, NH₃, CO₂, O₃), pelos meios de transportes à combustível.

As fontes antropogênicas podem ser fontes fixas ou fontes móveis.

» **As fontes fixas ou específicas** ocupam uma área limitada, geralmente são oriundas de processos industriais, como chaminés e caldeiras, fornos, termoeletricas e sistemas de exaustão, sendo mais fácil elaborar inventários de emissões locais e definir áreas prioritárias para o controle das emissões (CASTRO; ARAÚJO; SILVA, 2013). As fontes estacionárias podem ainda se subdividir em fontes pontuais e difusas:

› fontes pontuais: dentro da planta de indústria as emissões parte de um ponto específico e são direcionados por meio de dispositivos para controle e fluxo.

› fontes difusas: são emissões que não possuem dispositivos para direcionamento ou controle do fluxo de gases.

» **Fontes móveis** como o nome já diz, são fontes que não se situa em um lugar fixo, como os carros, aeronaves, navios, trens etc.

Além destas classificações os poluentes atmosféricos podem ser classificados como primários e secundários:

» **Fontes primárias:** são emitidos direto da fonte para o ar. Ex: SO₂, NO, NO₂, COVs, CO, material particulado. É possível quantificar o quanto está sendo emitido para a atmosfera.

» **Fontes secundárias:** formados a partir de reações químicas entre os poluentes primários na atmosfera. Ex.: ozônio troposférico, nitrato de peroxiacetila (PAN). São mais difíceis de quantificar, uma vez que dependem da composição e condição atmosférica para a reação acontecer.

Na tabela 6, são apresentados as principais fontes de emissão e os principais poluentes originários.

tabela 6. Principais fontes de emissão e os principais poluentes originários.

Fontes		Poluentes
Classificação	Tipo	
Fontes Estacionárias	Combustão	Material Particulado.
		Dióxido de enxofre e trióxido de enxofre.
		Monóxido de carbono.
		Hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio.
	Processo Industrial	Material particulado (fumos, poeira e névoas.
		Gases: SO ₂ , SO ₃ , HCl e hidrocarbonetos
		Mercaptans, HF, H ₂ S, NO _x
	Queima de Resíduos Sólidos	Material particulado.
		Gases: SO ₂ , SO ₃ , HCl e NO _x .
	Outros	Hidrocarbonetos, material particulado.
Fontes Móveis	Veículos Automotores	Material particulado, monóxido de carbono.
		Hidrocarbonetos, óxido de nitrogênio, óxido de enxofre.
	Aviões e barcos	Óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio.
	Locomotivas etc.	Ácidos orgânicos, hidrocarbonetos e aldeídos.
		Materiais particulado.

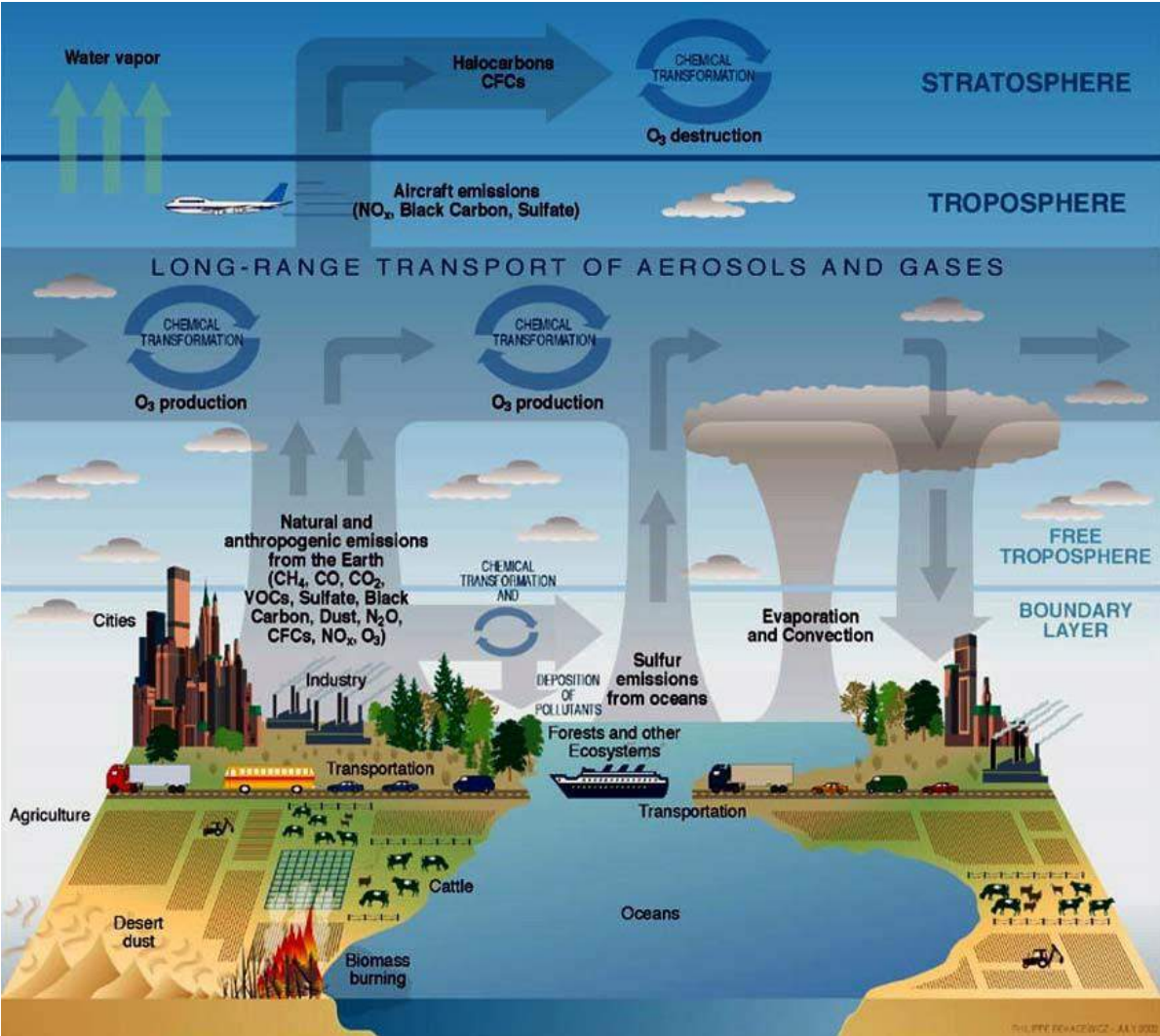
Fontes Naturais	
Gases: SO ₂ , SO ₃ , HCl e NO _x , hidrocarbonetos.	
Reações Químicas	Poluentes secundários.
Ácidos orgânico, nitratos orgânicos.	
Aerossol fotoquímico.	

Fonte: Cetesb, 2001.

A emissão de altas quantidades de poluentes da atmosfera provocam impactos ambientais que podem afetar localmente ou globalmente, alterando a composição química da atmosfera. Dependendo do poluente, o mesmo causa um tipo de dano ao meio ambiente. Altas concentrações de dióxido de carbono fazem com que o efeito estufa tenha seu efeito aumentado; a liberação de clorofluorocarbonetos (CFCs) reagem com outros gases causando danos a camada de ozônio. O dióxido de enxofre por meio de diversos processos industriais é lançado para a atmosfera formando o ácido sulfuroso, causando a chuva ácida. Nos grandes centros urbanos os altos níveis de concentração de poluentes podem causar o smog fotoquímico, a inversão térmica e as ilhas de calor.

Alguns fatores podem determinar o nível de poluição do ar como a quantidade de poluentes entrando na atmosfera, como polos industriais, tráfego intenso, erupções vulcânicas, grandes queimadas, são alguns exemplos de fontes com altos índices de emissão de gases poluentes. O espaço geográfico em que os poluentes são dispersos, vale entre montanhas terá uma maior dificuldade de dispersar os poluentes do que em planalto. A dispersão e remoção dos poluentes são comandados pelos ventos, altura da camada de mistura, precipitação. Na figura 17 é apresentado o esquema dos processos químicos e de transporte relacionados à composição atmosférica.

Figura 17. esquema dos processos químicos e de transporte relacionados à composição atmosférica.



Fonte disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:atmosphere_composition_diagram.jpg>. acessado em 18/12/2017.

quais os tipos/substâncias que são lançadas

Uma variedade de substâncias podem ser encontradas na atmosfera é muito grande, que vão desde a queima de combustíveis fósseis em veículos e chaminés industriais, queimadas e até vias sem pavimentação, o que torna difícil classificar todas, uma maneira de classifica-las está apresentado na tabela.

tabela 7. Classificação das substâncias poluentes.

Compostos de Enxofre	Compostos de Nitrogênio	Compostos Orgânicos	Monóxido de Carbono	Compostos Halogenados	Metais Pesados	Material Particulado	Oxidantes Fotoquímicos
SO ₂	NO	hidrocarbonetos álcoois	CO	HCl	Pb	Mistura de compostos no estado	O ₃
SO ₃	NO ₂	Aldeídos		HF	Cd		formaldeído

Compostos de Enxofre Reduzido:	NH ₃	Cetonas		cloretos	As	sólido ou líquido	acroleína
(H ₂ S, Mercaptanas, Dissulfeto de carbono etc.).	HNO ₃	ácidos orgânicos		fluoretos	Ni		PAN
sulfatos	nitratos				etc.		etc.

Fonte: Cetesb, 2017.

O grupo de poluentes que servem como indicadores de qualidade do ar, adotados universalmente e que foram escolhidos em razão da frequência de ocorrência e de seus efeitos adversos, dentre eles podemos citar:

material particulado (mP)

É uma mistura complexa de sólidos de diâmetro reduzido, cujos componentes apresentam características físicas e químicas adversas, geralmente invisível a olho nu (BAIRD; CANN, 2011). Pode ser classificado de acordo com o diâmetro das partículas devido à relação existente entre o diâmetro e possibilidade de penetração no trato respiratório. Podem ser divididas em dois grupos:

- » *Partículas com diâmetro entre 2,5 – 30 µm*: provenientes da combustão descontrolada, dispersão mecânica dos solos. Em sua composição podemos encontrar silício, titânio, alumínio, ferro, sódio, cloro, pólenes e esporos e materiais biológicos (BRAGA, BOHM, PEREIRA E SALDIVA, 2001)
- » *Partículas menores que 2,5 µm*: derivadas da combustão de fontes móveis e estacionárias, têm maior acidez, podendo atingir as porções mais inferiores do trato respiratório. Os principais componentes são carbono, chumbo, vanádio, bromo, óxidos de enxofre e nitrogênio, que na forma de aerossóis são a maior fração de partículas finas (BRAGA, BOHM, PEREIRA; SALDIVA, 2001).

Segundo a Cetesb, a classificação do material particulado também em função do tamanho é dado da seguinte forma: em Partículas Totais em Suspensão (PTS), cujo o diâmetro é inferior a 50 µm e Partículas Inaláveis (MP10) com diâmetro aerodinâmico menor que 10 µm. Há uma subclassificação das partículas inaláveis em partículas inaláveis finas – MP2,5 (m) que quando inaladas podem atingir os alvéolos

pulmonares e partículas inaláveis grossas (2,5 a 10 μ m). As partículas finas, na sua grande maioria, ficam retidas na parte superior do sistema respiratório. (CETESB, 2001)

dióxido de Enxofre (SO₂)

O dióxido de enxofre é tóxico e incolor, pode reagir com outros compostos na atmosfera, formando material particulado de material reduzido. A emissão antropogênica é causada pela queima de combustíveis fósseis que contenham enxofre na sua composição. As atividades de geração de energia, uso veicular e aquecimento doméstico são as que apresentam emissões mais significativas (BRASIL, 2017).

Na atmosfera o SO₂, dependendo do tempo de permanência no ar, presença de luz solar, temperatura, umidade e adsorção do gás na superfície das partículas, ele é oxidado, formando ácido sulfúrico (H₂SO₄), um dos principais percussores da chuva ácida. Em permanência por grandes períodos na atmosfera, o SO₂ e seus derivados (aerossóis ácidos) são transportados para regiões distantes das fontes primárias, aumentando a área de atuação destes poluentes. Dissolvidos em gotas d'água na atmosfera, encontramos os aerossóis ácidos: sulfato (SO₄⁻²) e o bissulfato (HSO₄⁻) ((MARTINS; ANDRADE, 2002; BRAGA, BOHM, PEREIRA; SALDIVA, 2001).

monóxido de Carbono (Co)

É um gás incolor, formado no processo da queima de combustíveis. É emitido nos processos de combustão que ocorrem em condições não ideais, em que não há oxigênio suficiente para realizar a queima completa do combustível. A maior parte das emissões em áreas urbanas são decorrentes dos veículos automotores.

ozônio (O₃)

O ozônio é um poluente secundário, ou seja, não é emitido diretamente, mas formado a partir de outros poluentes atmosféricos. Pode ser produzido por três vias diferentes, a principal está na estratosfera onde a produção de ozônio ocorre pela reação da radiação ultravioleta com o oxigênio, pode também ser produzido por relâmpagos em menor proporção ou também há a formação do ozônio troposférico ocorre por meio de reações químicas complexas que acontecem entre o dióxido de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, na presença de radiação solar (FILHO, 1989).

Compostos orgânicos Voláteis (COVs)

Os compostos orgânicos voláteis (COVs) constituem uma classe de substâncias pertencentes a família de diferentes compostos orgânicos, que são predominantemente emitidas pela frota veicular e por processos industriais onde se utiliza solvente como matéria prima. Solventes orgânicos incluem hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos, compostos clorados, compostos oxigenados tais como cetonas, álcoois, ésteres, dentre outros (PASSANT *et al*, 1995)

Em plantas químicas e refinarias podem ocorrer emissões de COV em procedimentos como os de armazenagem de material volátil, descargas e queimas de processo, a partir de correntes efluentes, da lavagem de equipamentos, da estocagem de materiais, de emissões fugitivas em válvulas, bombas, flanges etc. Somam-se ainda emissões durante a alimentação de caminhões-tanques, enchimento de tanques de estocagem e durante o reabastecimento de veículos (PASSANT *et al*. 1995). Na tabela, está apresentado a utilização de alguns tipos de COVs na indústria química e petroquímica:

tabela 8. empregos de alguns constituintes do petróleo na indústria química e petroquímica.

COV	Emprego Industrial
Acetato de vinila	Utilizado pela indústria de plásticos (EVA – copolímero de etileno e acetato de vinila), tintas, adesivos e massas para alvenaria.
Cumeno	Utilizado na fabricação de fenol (empregado na obtenção de resinas fenólicas), na fabricação de acetona, de nylon e solventes.
Estireno	Utilizado como matéria prima para fabricação do poliestireno (matéria prima utilizada pelos setores eletroeletrônico e de eletrodomésticos), da borracha sintética de estireno-butadieno (SBR) e na obtenção de tintas e vernizes.
Benzeno	Utilizado como matéria prima em vários produtos intermediários, entre eles o cumeno, anidrido maleico, alquilbenzeno linear e a caprolactama, esta última utilizada como matéria prima nas indústrias têxtil, de pneus, de tapetes e resinas de transformação de plásticos.
Butadieno	É obtido como coproduto nas plantas de eteno e tem a maioria da sua demanda associada à indústria de borrachas sintéticas.
Metanol	Matéria prima básica para produção de três importantes insumos da indústria química: formaldeído, DMT (tereftalato de dimetila) e MTBE (Éter metil-terc-butílico)
COV	Emprego Industrial
Tolueno	Usado como solvente ou diluente, em particular na elaboração de tintas e vernizes, e como matéria prima básica para a fabricação do TDI (Diisocianato de tolueno), matéria prima para produção de espumas rígidas de poliuretano, juntamente com polióis.
o-xileno	Usado como matériaprima na produção de anidrido ftálico. Produção de espumas rígidas de poliuretano, juntamente com polióis.
p-xileno	Usado como matéria prima na produção de ácido tereftálico e do tereftalato de dimetila, utilizados em fibras, filamentos de poliéster e garrafas – resina PET.
Xilenos (mistura)	Usados no mercado de solventes de tintas e vernizes.

Fonte: albuquerque, 2007.

Óxidos de nitrogênio (no_x)

É um gás poluente com ação altamente oxidante, sua presença na atmosfera é fator determinante na formação do ozônio troposférico, apresentando efeito sobre as mudanças climáticas globais. Gerado durante a combustão sob elevadas temperaturas, o oxigênio reage com o nitrogênio formando óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e outros óxidos de nitrogênio. Na presença de oxigênio, ozônio e hidrocarbonetos o NO reage e se transforma em NO₂. Por sua vez, na presença da radiação solar o NO₂ reage com hidrocarbonetos e oxigênio, formando o ozônio (O₃), sendo um dos principais poluentes na troposfera (BRAGA, BOHM, PEREIRA e SALDIVA, 2001).

O NO_x térmico se forma no processo de combustão pela reação do nitrogênio do ar com oxigênio e pode ser reduzida, basicamente, por:

- » redução dos teores de oxigênio ou nitrogênio nas regiões da câmara de combustão de alta temperatura, ou redução do tempo de residência desses elementos nessas regiões;

- » redução das temperaturas na câmara de combustão.

Isso pode ser feito de várias formas, que vão desde alterações nas variáveis operacionais do processo de combustão, como redução do excesso de ar, redução da potência de operação, recirculação externa dos gases de combustão etc., até modificações substanciais no processo, como no fornecimento de ar (uso de queimadores de baixa emissão de NO_x — low NO_x burners) ou combustível (emprego da técnica de requeima — reburning) (VERGNHANINI FILHO; ETT, 2017).

Os óxidos de nitrogênio reagem na atmosfera com vapor de água para formar o ácido nítrico (NO₃), outro precursor da chuva ácida. Podem também reagir com os compostos orgânicos voláteis na baixa atmosfera, catalisados pela radiação solar, para a formação do ozônio, o chamado *Smog* fotoquímico (GROSJEAN; GROSJEAN, 1998).

Controle e técnicas de controle da poluição atmosférica

Os processos industriais e de geração de energia, veículos automotores e as queimadas são as atividades que mais emitem poluentes para a atmosfera, muitas delas com elevada toxicidade à saúde humana, a flora, a fauna e aos materiais.

Nas últimas décadas tem visto o apogeu da intervenção humana sobre o planeta, nos deparando com os resultados desastrosos desse processo desordenado, vêm causando episódios de poluição excessiva, fazendo com que iniciasse uma preocupação quanto

ao controle da emissão dos poluentes no ar e um processo de formação de um sistema legal de proteção do meio ambiente com o objetivo de estabelecer os limites máximos para concentrações de componentes atmosféricos de modo a proteger a qualidade de vida das pessoas, o patrimônio ecológico, econômico, cultural e histórico (CARVALHO, 2009)

No Governo Federal, a instância regulamentadora das emissões atmosféricas é o Conselho Nacional de Meio Ambiente, que por meio de suas resoluções determina os limites máximos de emissões de poluentes. No CONAMA, o Ministério do Meio Ambiente e o IBAMA coordenam as discussões que geram os novos limites de emissão.

Particularmente no que diz respeito aos limites das emissões industriais, há a importante participação dos órgãos estaduais de meio ambiente na edição das resoluções, tendo em vista seu papel preponderante no licenciamento e na fiscalização destas atividades e o conhecimento empírico que detém da realidade de seus territórios.

Além disso, participam também ativamente das discussões os representantes da indústria brasileira, dos governos municipais e da sociedade civil, propiciando resoluções baseadas na realidade do país e com a colaboração de todos os setores.

resoluções ConAmA relativas a fontes fixas

Desde o final da década de 1990, a regulamentação das emissões atmosféricas das fontes fixas tem gerado debates intensos no Conama, debates que culminaram com a edição das Resoluções nº 382/2006 e 436/2011, que alinharam o país com o que há de mais avançado em termos de limites de emissão de poluentes, qualidade do ar e proteção do meio ambiente e da saúde humana em todo o planeta (Ministério do Meio Ambiente, 2017)

» **Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989** – Criou o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR.

A fixação de parâmetros para a emissão de poluentes gasosos e materiais particulados (materiais sólidos pulverizados) por fontes fixas começou a ser efetuada por meio dessa Resolução, que determinou a necessidade de se estabelecer limites máximos de emissão e a adoção de padrões nacionais de qualidade do ar.

» **Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990** – Define que são padrões de qualidade ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas,

poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Na Tabela, está apresentado os padrões de qualidade do ar, segundo esta Resolução.

tabela 9. Padrões nacionais de qualidade do ar, segundo resolução Conama nº 3 de 28/6/1990.

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas Totais em suspensão (PTS)	24 horas*	240	150
	MGA**	80	60
Dióxido de enxofre	24 horas	365	100
	MAA***	80	40
Monóxido de carbono	1 hora*	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)
	8 horas	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)
Ozônio	1 hora*	160	160
Fumaça	24 horas*	150	100
	MAA***	60	40
Partículas inaláveis (PI)	24 horas*	150	150
	MAA***	50	50
Dióxido de nitrogênio	1 hora*	320	190
	MAA***	100	100

* Não deve ser ultrapassado mais que uma vez ao ano,

** MGA – média geométrica anual,

*** MGA – média geométrica anual.

Fonte: (braGa, et. al, 2001).

» **Resolução CONAMA nº 8, de 6 de dezembro de 1990** — Estabeleceu os limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes de poluição. Esta resolução complementou o PRONAR estabelecendo limites para a concentração de determinados poluentes no ar.

» **Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006** —

Estabeleceu os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Fixam-se limites específicos de emissão para cada tipo de fonte ou combustível utilizado. Ele se aplica a todas as fontes fixas instaladas a partir da sua vigência, ou seja, 2007.

» **Resolução CONAMA nº 436, de 22 de dezembro de 2011** —

Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 2 de janeiro de 2007, complementando assim a Resolução nº 436/2006 e impondo às fontes antigas novos limites. Para a maioria

dos segmentos da indústria, os limites foram igualados, ou seja, as fábricas antigas terão que se modernizar e diminuir substancialmente suas emissões, equiparando-se às fábricas novas.

Esta Resolução induziu uma revolução tecnológica no Brasil, sendo uma das medidas de maior impacto ambiental que o CONAMA aprovou nos últimos anos, trazendo uma profunda mudança tecnológica ao nosso parque industrial e diminuindo de forma expressiva as emissões destas indústrias, que por serem as mais antigas, são justamente as que se localizam dentro das áreas urbanas mais consolidadas, com maior impacto poluidor. A Resolução restringe as emissões de poluentes de treze dos principais setores da indústria nacional, determinando limites de emissão dos principais poluentes e com prazos fixos para a implementação das mudanças.

Controle da emissão de poluentes

O controle da poluição atmosférica de fontes fixas pode ser realizado por diferentes abordagens fundamentais: controle pela diluição das emissões na atmosfera devido aos efeitos de dispersão, o controle na fonte com a implantação de equipamento de controle e ou ações capazes de minimizar as emissões (PAINTER, 1974).

diluição das emissões na atmosfera

O controle da diluição de emissões pode ser controlado primeiramente pela localização geográfica da indústria. A escolha do local também é um importante fator para que se tenha uma boa ventilação e uma pequena ocorrência de inversão térmica, facilitando assim a dispersão dos poluentes. Uma segunda alternativa é no dimensionamento da chaminé para reduzir a concentração de poluentes, diluindo os poluentes antes que alcance os receptores.

Durante o dimensionamento de uma chaminé diversos fatores devem ser levados em conta como quantidade de gás poluente emitido, temperatura de emissão, estado dos poluentes, concentração, distribuição do tamanho de partícula, propriedades químicas e toxicológicas dos poluentes, altura e diâmetro da chaminé, velocidade dos poluentes na chaminé, a relação da chaminé com as demais, direção e velocidade dos ventos, estabilidade atmosférica.

No entanto, está prática com o objetivo de diminuir a poluição é cada vez é menos utilizada, uma vez que a quantidade de poluente do ar a ser emitida continue a mesma.

Ações capazes de minimizar as emissões

Existem diferentes maneiras alternativas para diminuir a quantidade de gases poluentes na atmosfera, dependendo muito de cada ramo industrial. Aqui iremos citar algumas possibilidades.

A substituição de combustível pode resultar na diminuição da geração de gases poluentes, como por exemplo, a substituição dos combustíveis fósseis para fins energéticos por energia hidráulica, elétrica, solar ou nuclear, ou mesmo a simples troca do carvão com alto teor de enxofre por um com menor taxa deste elemento.

A mudança no processo de fabricação, melhoria nos procedimentos de operação e manutenção dos equipamentos são importantes fatores que sempre devem ser revisados, afim de melhorar tanto o processo produtivo quanto a diminuição de poluentes gerados

implantação de equipamento de controle

Diferentes equipamentos de controle podem ser instalados para eliminar, coletar ou tratar os poluentes do ar.

Para partículas menores podem ser removidos utilizando câmeras de sedimentação, em que a gravidade promoverá a sua decantação ao fundo do equipamento. As partículas podem ser também aspiradas por meio dos filtros de manga, em que os poluentes suspensos no ar passam por meio do filtro que segura o particulado na sua fibra. Tem também os lavadores, conhecidos como coletores de particulado, no entanto, tem-se a geração de um efluente contaminado, muitas vezes difícil de ser tratado, e por último o mais efetivo e também o método mais oneroso é o precipitador eletrostático, em que os poluentes do ar suspensos recebem uma carga elétrica, assim são atraídos através de tubos ou placas coletoras onde são neutralizados e depositados em um coletor de particulados (FILHO, 1989).

Nos processos de combustão, a diminuição da emissão de óxidos de enxofre pode ocorrer quando utilizados equipamentos de combustão com leito fluidizado, onde adiciona-se ao leito óxidos de metais alcalinos-terrosos, como cal e dolomita, com a função de absorver o enxofre.

A técnica e o instrumento de controle aplicável para controlar poluentes gasosos dependerá das propriedades específicas da corrente gasosa a ser controlada. Porém, podem ser enquadrados nos diferentes métodos de tratamento: adsorção, absorção, combustão, sistemas de recuperação de vapor, meios de mascaramento e contração (remoção de odor) (PIRES, 2005).



Para quem tiver curiosidade, o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) disponibiliza uma ferramenta de monitoramento e previsão da qualidade do ar no Brasil, onde se pode manipular o poluente a ser analisado, a data, horário do dia, assim como o nível vertical observado. Para verificar, acesse o link disponível em: <link <http://meioambiente.cptec.inpe.br/>>.

CAPÍTULO 2

Controle da poluição hídrica

A atividade industrial afeta diretamente a qualidade das águas através do despejo direto ou pela própria implementação industrial, que altera o ambiente.

Dentro do processo produtivo, a água pode ser utilizada de diversas formas, como na lavagem de equipamentos e instalações, incorporada aos produtos fabricados, nos sistemas de resfriamento de caldeiras e geração de vapor, e nos esgotos produzidos pelo uso dos funcionários. Os efluentes líquidos são, portanto, gerados pelos resíduos dos processos de produção.

Os efluentes líquidos são formados por poluentes característicos aos processos produtivos nos quais foram gerados, e necessitam de tratamentos específicos para serem despejados no meio ambiente.

Sabe-se que o desenvolvimento urbano e industrial se deu principalmente ao longo de rios justamente pela facilidade de captação de água. Como consequência, os rios tornaram-se também aceptores de dejetos pela mesma facilidade de localização. Devido ao aumento da população mundial e consequente aumento das atividades industriais, as fontes de águas como rios, riachos, lagoas e mares recebem cada vez mais poluentes oriundos da atividade humana.

o que é poluição hídrica

A poluição hídrica pode ser entendida como qualquer alteração física, química ou biológica da qualidade de um corpo hídrico, ultrapassando os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes, conforme seu uso (GIORDANO, 2004). Todos os anos são despejados nos corpos hídricos milhões de toneladas de compostos orgânicos sintéticos não biodegradáveis, metais pesados como chumbo, mercúrio, arsênio, cádmio, zinco e cobre, entre outros, e contaminantes biológicos como bactérias, vírus e protozoários.

Países desenvolvidos diminuíram em cerca de 70-90% do lançamento de efluentes industriais, porém menos de 30% dos países em desenvolvimento tratam seus efluentes antes da eliminação para o meio ambiente (TOMITA, 2014).

Figura 18. Poluição gerada pelo despejo inadequado de resíduos industriais.



Fonte: <<http://brasilecola.uol.com.br/biologia/poluicao-aguas.htm>>.

Características dos poluentes industriais

Os poluentes industriais possuem características similares às suas matérias primas e processos industriais, sendo que a concentração de poluentes pode ser determinada pelas perdas no processo ou pelo consumo de água.

A poluição térmica ocorre por meio da perda de calor nos processos de resfriamento e são uma importante fonte de poluição dos corpos hídricos. O aumento da temperatura, por exemplo, é responsável pela alteração da flora e fauna da região no qual este efluente esteja sendo despejado.

A alteração das características sensoriais como cor e odor também são parâmetros indicativos do despejo inadequado dos efluentes. O odor pode indicar a ocorrência de substâncias orgânicas e inorgânicas devido à volatilização de gases, como o gás sulfídrico, com forte odor de ovo podre; ou ainda pode haver presença de aromas, provenientes de indústrias cosméticas e farmacêuticas e solventes orgânicos.

O parâmetro cor também é considerado, sendo indicativo de liberação de corantes naturais ou artificiais provenientes das indústrias de tintas ou coloidais, oriundo da indústria de papel e celulose.

Poluentes sólidos

Os sólidos são poluentes compostos por substâncias dissolvidas ou em suspensão, com partículas com diâmetro inferior a $1,2\ \mu\text{m}$. Podem ser subdivididos em sólidos coloidais e sedimentáveis/flutuantes. Os sólidos coloidais são aqueles mantidos em suspensão devido ao seu baixo diâmetro e pela camada de solvatação que impede o crescimento

dessas partículas (GIORDANO, 2004). Os poluentes sólidos podem ser compostos por matéria orgânica ou inorgânica.

Poluentes sólidos compostos por matéria orgânica

A matéria orgânica é medida pela **demanda bioquímica de oxigênio (DBO)** e **demanda química de oxigênio (DQO)**. Na DBO é medida a quantidade de oxigênio necessária para que os microrganismos consigam degradar a matéria orgânica, enquanto que na DQO, é medida a quantidade de oxigênio necessária para oxidar quimicamente a matéria orgânica.

Os detergentes fazem parte da matéria orgânica e são utilizados industrialmente na limpeza de equipamentos e instalações, além do seu uso sanitário.

As substâncias fenólicas são oriundas principalmente de resinas e desinfetantes, porém podem aparecer como parte integrante de efluentes específicos como os da indústria de papel e celulose.

Já os óleos e graxas são originários de praticamente todas as indústrias, vindo de equipamentos que utilizam óleos hidráulicos, oficinas mecânicas e matérias primas com composição oleosa.

Poluentes sólidos compostos por matéria inorgânica

A matéria inorgânica é composta por sais, óxidos, hidróxidos e ácidos.

Os sais inertes são compostos principalmente de sulfatos e sulfetos, nitratos e nitritos e sais de amônia.

O nitrogênio e o fósforo, provenientes tanto dos esgotos sanitários quanto dos efluentes industriais, são responsáveis pela eutrofização dos corpos receptores.

Os principais metais que podem contaminar as águas são o alumínio, cobre, cromo, chumbo, estanho, níquel, mercúrio, vanádio e zinco.

tratamento de efluentes industriais

O tratamento de efluentes industriais segue 4 etapas, sendo elas o tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário. Cada etapa tem o objetivo da preparação e condicionamento para a etapa posterior.

tratamento preliminar

O tratamento preliminar tem como objetivo evitar a obstrução e danos aos equipamentos de tratamento de efluentes. Esta etapa reduz os sólidos grosseiros em suspensão, por meio do uso de grades, peneiras ou caixas de retenção de areia. Além disso, o efluente é tratado para que ocorra o ajuste de pH.

Gradeamento: é capaz de remover sólidos grosseiros, por meio de limpeza manual ou mecanizada. O espaçamento entre as barras das grades varia entre 0,5 mm a 2 cm.

Figura 19. sistema de gradeamento.



Fonte disponível em: <http://www.laifi.com/laifi.php?id_laifi=7299&idC=87814#>.

Peneiramento: no peneiramento são removidos sólidos com diâmetros superiores a 1 mm, capazes de causar entupimento nos equipamentos. As peneiras mais utilizadas possuem malhas com espaçamento variando entre 0,5 mm a 2 mm.

Caixas de areia: nas caixas de areia, a remoção de partículas é feita pela sedimentação. Os grãos de areia sedimentam devido ao seu tamanho de partícula e vão para o fundo do tanque, enquanto que a matéria orgânica fica em suspensão.

tratamento primário

No tratamento primário, cerca de 40 a 70% de sólidos suspensos e materiais flotantes são removidos por técnicas como sedimentação, coagulação/floculação, flotação e precipitação química.

Sedimentação: a sedimentação é uma etapa de clarificação, aplicada conforme a necessidade do efluente. Nele ocorre a formação de lodos orgânicos, que são rapidamente removidos para reduzir a anarobiose e consequente formação de gases.

Filtração: é o processo de passagem da mistura de sólidos e líquidos por um filtro que é capaz de reter os sólidos em suspensão e permite a passagem da fase líquida.

tratamento secundário

O tratamento secundário ou biológico utiliza tanto microrganismos aeróbios quanto anaeróbios, que são capazes de degradar a matéria orgânica presente. Desse processo obtém-se gases, como o biogás, sólidos inorgânicos e material biológico sedimentável.

No tratamento secundário são utilizadas as técnicas de lodo ativado, lagoa aerada, lagoa de estabilização, filtros biológicos e digestores anaeróbios.

A partir do tratamento secundário já é possível o descarte do efluente, por já possuir padrões sanitários mínimos requeridos pela legislação.

Lagoas aeradas: neste tipo de tratamento, a aeração é mantida de forma que a biomassa mantenha-se na forma líquida e os microrganismos possam atuar de forma homogênea.

Lagoas aeradas facultativas: neste tipo de lagoa ocorre a formação de suspensão de biomassa e a sedimentação. As bactérias aeróbias atuam na suspensão enquanto que as bactérias anaeróbias irão atuar no sedimento.

tratamento terciário

O tratamento terciário de efluentes tem como objetivo o chamado “polimento” das águas residuárias. Este nome é dado, pois esta etapa do tratamento é a mais avançada, produzindo a água de reuso e a água potável

A água de reuso pode ser utilizada tanto na irrigação, quanto no processo produtivo da indústria e para fins urbanos. Para que a água torne-se potável, é necessário a utilização de técnicas bastante onerosas, como por exemplo, a osmose reversa.

Dentro da classificação das técnicas que podem ser utilizadas no tratamento terciário temos as técnicas biológicas, como as lagoas de maturação, técnicas físicas como micro/nanofiltração, osmose reversa e carvão ativado e técnicas químicas como a eletrocoagulação e ozonização.

Lagoas de maturação

As lagoas de maturação são empregadas principalmente para a remoção de coliformes, podendo também ser utilizadas na remoção de nitrogênio e fósforo. É empregada principalmente nos rejeitos oriundos do esgoto sanitário.

A eliminação dos microrganismos se dá pela ação da radiação ultravioleta proveniente da luz solar, aumento do pH da água, temperaturas mais altas que o trato digestório humano e falta de nutrientes.

Figura 20. lagoa de maturação.



Fonte disponível em: <<http://oseas2d2010.blogspot.com.br/2010/05/lagoa-de-maturacao-fase-final-de-todo.html>>.

Processo de separação por membranas semipermeáveis

nanofiltração e microfiltração

Na nanofiltração são utilizadas membranas finas, com poros na ordem de 10^{-9} m. O mecanismo de separação não é apenas da filtração comum, mas envolve parâmetros como solubilidade e difusão. A nanofiltração é utilizada principalmente para a retenção de sulfatos.

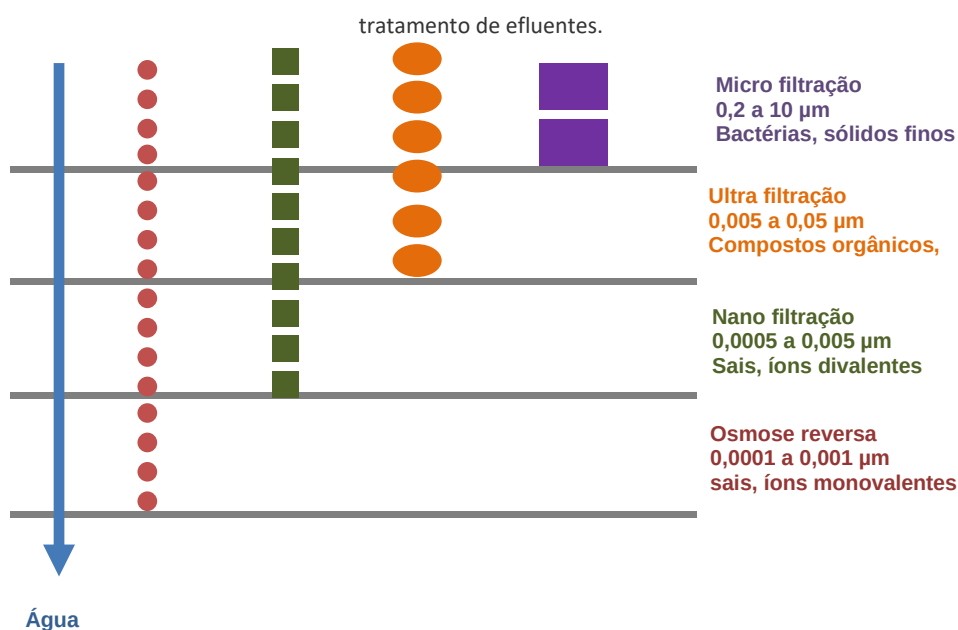
Já a microfiltração é utilizada principalmente na separação de sólidos suspenso na água e na proteção de sistemas de osmose reversa. As membranas de microfiltração são uma barreira segura de retenção de microrganismos e materiais suspensos, permitindo a passagem da água de componentes solúveis.

osmose reversa

A osmose reversa é utilizada principalmente no tratamento de águas pluviais e dessalinização de águas salobras.

O sistema é constituído de membrana de celulose e a separação dos contaminantes se dá pela pressão, que deve ser maior que a pressão osmótica. A aplicação da pressão aumenta a velocidade com que as moléculas do solvente passam pela membrana, sendo aplicada uma força de até 70 atm.

Figura 21. representação esquemática das principais técnicas de membrana semipermeáveis aplicadas no



Fonte: autor .

Adsorção por carvão ativo

O carvão ativo é uma substância adsorvente muito utilizada em tratamentos de efluentes. Ela é formada por carbono microcristalino e possui uma elevada área superficial porosa. Os grânulos de carvão ativos são constituídos por micro, meso e macro poros que são capazes de reter uma gama de compostos orgânicos dissolvidos.

O carvão ativado pode ser empregado como pré-tratamento na osmose reversa, para que não ocorra a saturação da membrana de celulose, na remoção de carga orgânica refratária e na redução da toxicidade crônica decorrente de substâncias orgânicas não biodegradáveis.

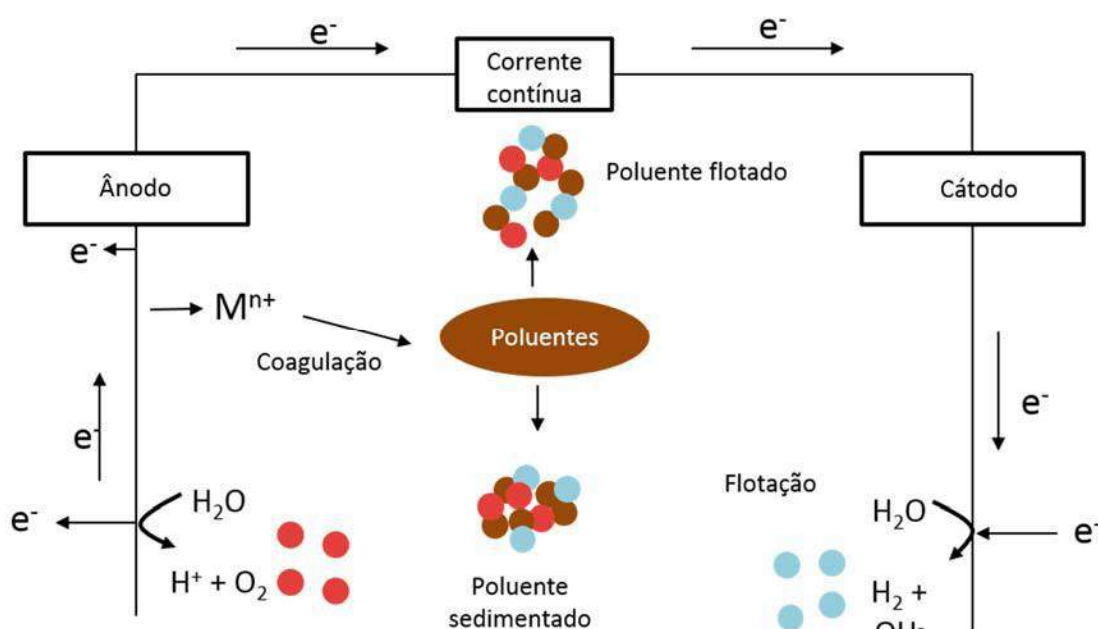
O caráter apolar da superfície do carvão ativo é o fator preponderante na adsorção de moléculas apolares.

Eletrocoagulação

A eletrocoagulação ocorre pela passagem de uma corrente elétrica contínua pela água a ser tratada. Essa corrente desestabiliza a solução, coagulando seus contaminantes.

No ânodo do sistema de eletrocoagulação ocorrerá a formação de espécies catiônicas; no cátodo ocorrerá a formação de hidroxilas que, ao reagirem com os cátions, formarão hidróxidos. Este hidróxido formado irá reagir com os poluentes presentes no meio e precipitará. Mediante a absorção de gás oxigênio e gás hidrogênio provenientes da hidrólise da água, esse precipitado flutuará, sendo retirado por meio de filtração simples.

Figura 22. sistema de eletrocoagulação.



Fonte: autor.

ozonização

A ozonização tem se mostrado um método muito eficaz na descontaminação de efluentes. O ozônio é capaz de reagir com um grande número de compostos orgânicos devido ao seu potencial de oxidação.

O ozônio utilizado no tratamento de efluentes pode ser produzido por três técnicas diferentes, sendo elas: exposição do oxigênio à luz ultravioleta, eletrólise do ácido perclórico e descarga eletroquímica.

A reação envolvida com a decomposição de compostos orgânicos é conhecida como reação direta, onde ocorre o ataque eletrofílico do ozônio molecular às duplas ligações carbono-carbono.

CAPÍTULO 3

destinação de resíduos sólidos



Os resíduos, em geral, são considerados materiais sem utilidade, dispensável provenientes da atividade humana e que devem ser descartados de alguma maneira.



Com o desenvolvimento da sociedade, a quantidade de resíduos gerados pela atividade humana aumentou consideravelmente, e atrelado a esse desenvolvimento, surge o questionamento sobre qual o melhor método para o tratamento e destinação destes materiais sem prejudicar o meio ambiente.

definição e classificação de resíduos

A Norma NB 10004 de 1987, define resíduo como:

“resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível” [ABNT,1987].

Russo (2003), também apresenta uma definição sobre resíduo sólido como: “todos os materiais que não fazendo falta ao seu detentor, este se queira desfazer. Compreende resíduos resultantes da atividade humana e animal, normalmente sólidos, sem utilização ou indesejáveis pelo seu detentor, no entanto com capacidades de valorização”

O termo “lixo” e “resíduo sólido” são usados, muitas vezes, de maneira genérica, entretanto, a organização mundial de saúde possui uma definição de lixo: “qualquer coisa que seu proprietário não quer mais, em um dado lugar e em certo momento, e que não possui valor comercial”, diferenciando assim os dois termos (PNUD, 1998).

Os resíduos sólidos são classificados da seguinte maneira: natureza física, grau de degradabilidade, composição química, matéria orgânica ou inorgânica, origem e periculosidade. Comumente, os critérios de classificação mais utilizados são o grau de

periculosidade em função da origem, sendo o primeiro adotado pelas Normas da NBR e a segunda pelos profissionais da área específica. A tabela seguinte apresenta a classificação dos resíduos sólidos segundo a NBR.

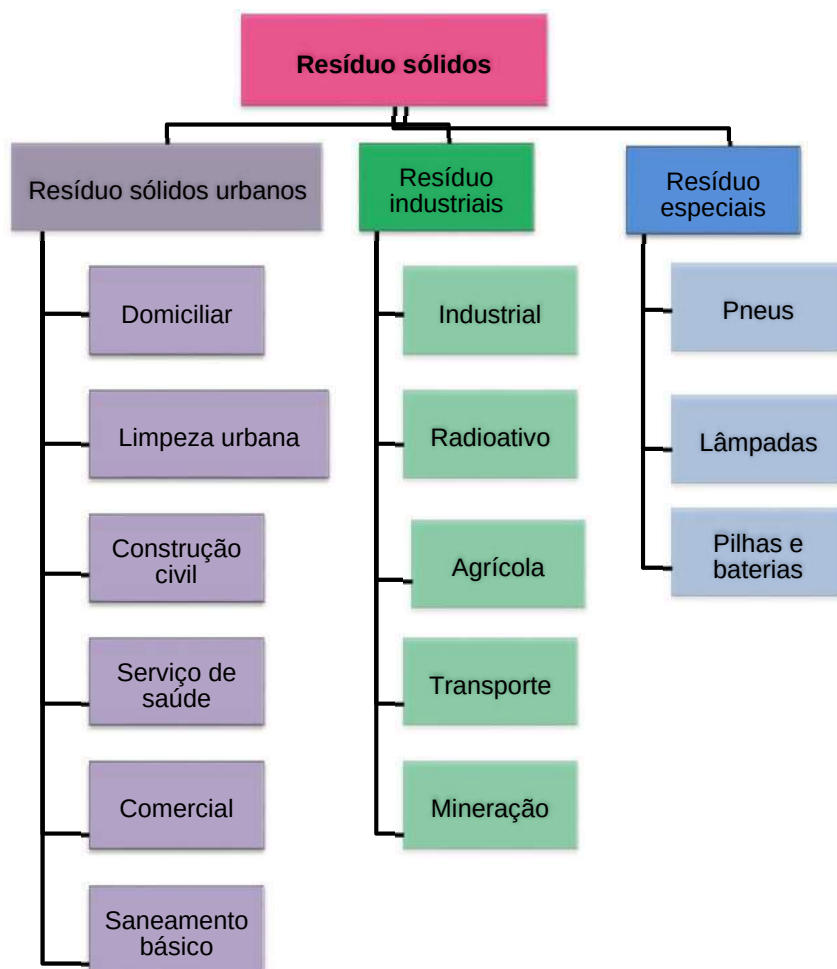
tabela 10. Classificação de resíduos segundo a norma nbr 10004/2004.

Resíduos Classe I Perigosos	Inflamabilidade	Apresentam riscos a saúde pública por meio do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos diversos ao meio ambiente quando manuseados inadequadamente.
	Corrosividade	
	Reatividade	
	Toxicidade	
	Patogenicidade	
Resíduos Classe II – Não perigosos	A- não inerte	Possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos de Classe I – Perigosos – ou Classe II B – Inertes.
	B- inerte	São aqueles que, por suas características intrínsecas não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente.

Fonte: abnt, 1987.

A tabela apresentou a classificação dos resíduos com base de seu processo ou atividade de origem, composição, características físicas, químicas e biológicas. Outro tipo de classificação que os resíduos sólidos recebem é sobre a fonte geradora. A Figura 23 apresenta um esquema sobre essa classificação.

Figura 23. resíduos sólidos e sua origem.



Fonte: adaptado tomita, 2014.

A Figura 23 apresenta a classificação dos resíduos sólidos a partir da fonte geradora, sendo possível verificar que os resíduos são agrupados em três grupos principais: resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais e resíduos especiais.

Em relação aos resíduos industriais, estão incluídos os resíduos agrossilvopastoris, transportes, mineração e os radioativos.

Resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais.

Resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades.

Resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira.

Resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

Resíduos radioativos: assim considerados os resíduos que emitem radiações acima dos limites permitidos pelas normas ambientais. No Brasil, o manuseio, acondicionamento e disposição final do lixo radioativo está a cargo da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN.

gerenciamento ambiental

Devido a globalização em relação as questões ambientais, houve a necessidade de compatibilizar o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental a partir da aplicação de conceitos de gestão ambiental. Desta maneira, a integração da gestão tem como finalidade superar a dicotomia entre o processo de degradação, ações corretivas e a disponibilidade de recursos satisfazendo as necessidades de produção e consumo (TOCCHETTO, 2005).

O processo de gestão torna-se abrangente no momento em que engloba uma visão de previsão e provisão, pois encontrará opções de desenvolvimento para a inter-relação do sistema socioeconômico e o sistema ambiental. Desta maneira, o processo de gestão permanente de recursos, espaço e da qualidade do meio natural e artificial, propiciará o desenvolvimento de estratégias visando à modulação da demanda. Neste processo, a gestão de recursos deve contemplar várias esferas de políticas (industrial, tecnológica, ordenamento espacial, modos de vida e dentre outros), intervenção pública e preferências de consumidores e usuários (independência nacional, emprego, equilíbrio regional, proteção do meio ambiente etc).

A partir da aplicação deste processo de gestão, a preocupação do gerenciamento de resíduos floresceu e a indústria passou a adotar princípios de gestão ambiental (sustentável) que englobam um conjunto de medias e procedimentos, definidos, que visam reduzir e controlar os impactos provenientes da implantação de um empreendimento ao meio ambiente. Neste tipo de gestão, pressupõe uma abordagem que tenha como base alguns princípios apresentados na Agenda 21: diminuir a exploração de recursos naturais, reduzir o impacto ambiental proveniente das diversas atividades, medidas para evitar o descarte de resíduos e reutilização/reaproveitamento do descarte.

Em termos de legislação, o Brasil possui leis e normas específicas, das quais podemos citar: Constituição Brasileira em seu art. 225, que dispõe sobre a proteção ao meio ambiente; a Lei 6.938/1981, que estabelece a Política Nacional de Meio Ambiente; a Lei nº 6.803/1980, que dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial

em áreas críticas de poluição; as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 257/263 e 258, que dispõem respectivamente sobre pilhas, baterias e pneumáticos e, além disso, a questão é amplamente tratada nos Capítulos 19, 20 e 21 da Agenda 21 (Rio-92). Desta maneira, as estratégias ambientais podem ser direcionadas aos processos e aos produtos, sendo considerado um processo ambientalmente equilibrado deverá conter os seguintes objetivos:

- » poluição zero;
- » nenhuma produção de resíduo;
- » nenhum risco para os trabalhadores;
- » baixo consumo de energia; »
- eficiente uso de recursos.

Estas estratégias permitem a integração da Qualidade e o Meio Ambiente visando a prevenção de impactos a partir da inserção de conceitos de ecoeficiência com a adoção de medidas preventivas para a redução de resíduos minimizando a utilização de matérias primas e energia. Como resultado destas estratégias, obtém-se a redução de desperdícios, diminuição de resíduos, racionalização de recursos naturais, aumento da produção e desenvolvimento econômico e social. Visando assegurar a Qualidade Ambiental é preciso prever o ciclo de vida do produto, no momento de sua concepção, identificando a matéria-prima, desenvolvimento do processo produtivo e possíveis soluções para os resíduos.

O ciclo de vida consiste em abranger as três fases da produção: manufatura, uso e reciclagem. Os objetivos do ciclo de vida são:

- » prevenção da poluição;
- » conservação dos recursos naturais;
- » sustentabilidade dos ecossistemas; »
- maior rentabilidade econômica.

Este conceito além de prevenir possíveis impactos de processos e produtor ele permite uma resposta eficaz para atingir a sustentabilidade. Além do ciclo de vida, existem outras estratégias preventivas que são apresentadas a seguir (TOCCHETTO, 2005).

- » Waste Minimization ou simplesmente, Minimização, consiste na redução do uso de matérias primas, de energia e insumos em geral, além da geração de resíduos. Esta prática exige planejamento criterioso, criatividade, mudança de atitude, investimentos em equipamentos e mão de obra e o mais importante, desejo real de enfrentar e resolver o problema. Por meio da minimização é possível reduzir custos de tratamento e disposição dos resíduos, economizar em transporte e armazenamento, reduzir prêmios de seguros e diminuir gastos com segurança e proteção a saúde.
- » O termo “*Best Available Techniques*” – BAT, (Melhores Técnicas Disponíveis) corresponde ao mais avançado e eficiente estágio de uma atividade e procedimento. Indica a forma sustentada de uma determinada prática, a fim de promover os princípios básicos da prevenção, definindo limites de emissão e promovendo a redução de emissões e de impactos. “Técnicas” incluem a tecnologia usada e o caminho, no qual a instalação é definida, construída, mantida e operada. “Disponível” são técnicas desenvolvidas em uma escala em que seja possível a implementação, de acordo com condições técnicas e economicamente viáveis, levando em consideração os custos e vantagens. “Melhor” significa mais eficiente, ou seja, alcançar com êxito um alto nível de proteção do meio ambiente.
- » Fechamento de ciclo ou descarte zero combina estratégias de otimização do processo e tecnologias para recuperação de perdas, como membranas, troca iônica e/ou técnicas de eletrólise. O fechamento de ciclo é recomendado especialmente para os processos de revestimento metálico tipo, cádmio cianeto, cobre ácido, níquel eletrolítico e cromo hexavalente. As tecnologias “descarte zero” são importantes, não somente na eliminação de consequências adversas ao meio ambiente, mas na questão prática ao estabelecer uma linha base de investimentos, relativa ao custo aproximado da poluição.

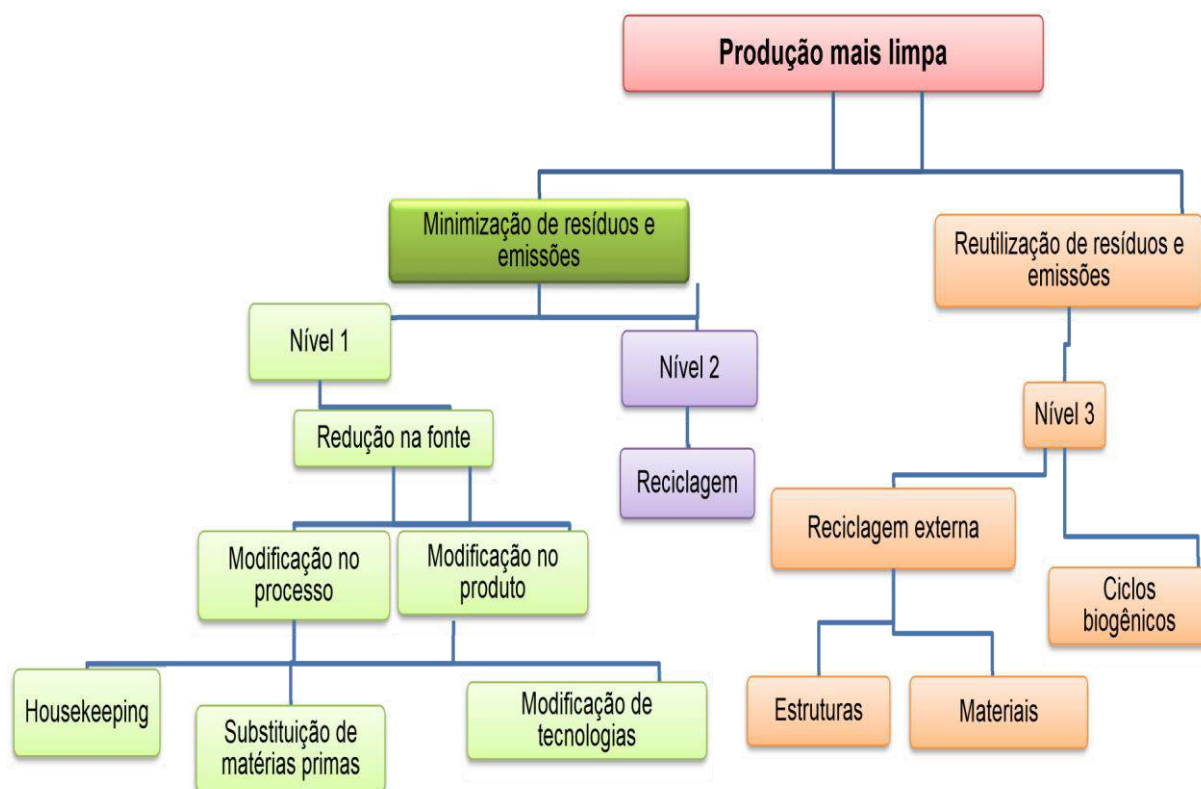
- » Produção Mais Limpa é reconhecida por possibilitar o uso de estratégias para o aproveitamento eficiente dos recursos naturais e para a minimização de resíduos, poluição e riscos, a partir da fonte de origem. Significa perseguir o objetivo de causar o menor impacto possível sobre o meio ambiente, com produtos e processos, desde a obtenção da matéria prima até o descarte, incluindo, também, a reciclagem e o reaproveitamento de peças e outros materiais.
- » Tecnologias Limpas constituem-se em ferramentas fundamentais para a implantação de um sistema de produção, dentro das bases da Produção Limpa. Técnicas eletroquímicas, considerando o setor galvânico, podem ser uma alternativa valiosa para a proteção do meio ambiente, por meio do tratamento dos efluentes integrado ao processo de produção para a minimização de resíduos e compostos tóxicos. A vantagem desta tecnologia está no fato do reagente principal ser o elétron que é um “reagente limpo”, cuja estratégia inclui o tratamento de efluentes, resíduos e o desenvolvimento de novos processos e produtos

Produção limpa

Esta proposta consiste na aplicação continua de estratégias econômicas, ambiental e tecnológica voltados para a produção e obtenção do produto, visando o aumento da eficiência, minimização ou a reciclagem de resíduos gerados em um processo produtivo. Assim, esta proposta induz a inovação nas indústrias alavancando o desenvolvimento econômico sustentado e competitivo contemplando a empresa e a região. As tecnologias ambientais convencionais visam o tratamento de resíduos e emissões provenientes de um processo produtivo, sendo denominadas de “técnicas de fim de tubo”. A Produção mais Limpa integra os objetivos ambientais aos processos de produção, reduzindo a produção de resíduos e as emissões em termos de quantidade e periculosidade.

A Figura 24 apresenta um esquema deste processo.

Figura 24. Fluxograma da Produção limpa.



Fonte: toCChetto, 2005.

A introdução de técnicas de Produção Mais Limpa no processo produtivo pode adotar várias estratégias, visando às metas ambientais, tecnológicas e econômicas, sendo a prioridade definida por cada empresa por meio de seus profissionais e da política gerencial. Assim sendo, em alguns casos os fatores econômicos podem ser o ponto de sensibilização para a definição de estratégias de adaptação de um processo produtivo e, conseqüentemente, a redução de impactos ambientais, ou inversamente, fatores ambientais poderão ser priorizados e os requisitos econômicos poderão se tornar conseqüência deste processo.

CAPÍTULO 4

química verde



O termo Química Verde surgiu em 1991, por John Warner e Paul Anastas, membros da agência ambiental norte – americana e tem a seguinte definição: “desenvolvimento de produtos químicos e processos que buscam a redução ou eliminação do uso e da geração de substâncias perigosas” IUPAC (1993).



Buscar meios para reduzir a produção de substâncias perigosa ao meio ambiente poderá ser um meio eficaz para proteger o meio ambiente das agressões ambientais provenientes da atividade humana.

Conceito de química verde

A definição de Química verde pode ser relacionada como desenho, desenvolvimento e implementação de produtos químicos e procedimentos para reduzir ou eliminar a utilização e geração de substâncias potencialmente nocivas à saúde humana e para o meio ambiente. Este conceito pode ser atribuído às tecnologias limpas, aplicação no meio industrial e em países que possuem a indústria química bem desenvolvida e que seguem controle rígido na emissão de poluentes (LENARDÃO, 2003).

Este conceito traz a ideia de suposição dos processos químicos que geram problemas ambientais possam ser substituídos por alternativas menos poluente ou não poluente. Alguns termos são utilizados para apresentar este conceito: tecnologia limpa, prevenção primária, redução na fonte, química ambientalmente benigna, ou ainda “green chemistry”.

O termo “Green Chemistry”, mais utilizado na atualidade, foi adotado pela IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada) devido à associação do desenvolvimento da química com o desenvolvimento autossustentado. Neste contexto, os produtos e processos da química verde podem ser divididos em três categorias:

- I. o uso de fontes renováveis ou recicladas de matéria prima;
- II. aumento da eficiência de energia, ou a utilização de menos energia para produzir a mesma ou maior quantidade de produto;
- III. evitar o uso de substâncias persistentes, bioacumulativas e tóxicas.

A filosofia da Química Verde está fundamentada nos seguintes princípios:

1. **Prevenção.** Evitar a produção do resíduo é melhor do que tratá-lo ou “limpá-lo” após sua geração.
2. **Economia de Átomos.** Deve-se procurar desenhar metodologias sintéticas que possam maximizar a incorporação de todos os materiais de partida no produto final.
3. **Síntese de Produtos Menos Perigosos.** Sempre que praticável, a síntese de um produto químico deve utilizar e gerar substâncias que possuam pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente.
4. **Desenho de Produtos Seguros.** Os produtos químicos devem ser desenhados de tal modo que realizem a função desejada e ao mesmo tempo não sejam tóxicos.
5. **Solventes e Auxiliares mais Seguros.** O uso de substâncias auxiliares (solventes, agentes de separação, secantes etc.), precisa sempre que possível, tornar-se desnecessário e, quando utilizadas, estas substâncias devem ser inócuas.
6. **Busca pela Eficiência de Energia.** A utilização de energia pelos processos químicos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos e deve ser minimizada. Se possível, os processos químicos devem ser conduzidos à temperatura e pressão ambientes.
7. **Uso de Fontes Renováveis de Matéria Prima.** Sempre uso de técnicas economicamente viáveis, a utilização de matérias primas renováveis deve ser escolhida em detrimento de fontes não renováveis.
8. **Evitar a Formação de Derivados.** A derivatização desnecessária (uso de grupos bloqueadores, proteção/ desproteção, modificação temporária por processos físicos e químicos) deve ser minimizada ou, se possível, evitada, porque estas etapas requerem reagentes adicionais e podem gerar resíduos.
9. **Catálise.** Reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) são melhores que reagentes estequiométricos.
10. **Desenho para a Degradação.** Os produtos químicos precisam ser desenhados de tal modo que, ao final de sua função, se fragmentem em produtos de degradação inócuos e não persistam no ambiente.

- 11. Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição.** Será necessário o desenvolvimento futuro de metodologias analíticas que viabilizem um monitoramento e controle dentro do processo, em tempo real, antes da formação de substâncias nocivas.
- 12. Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes.** As substâncias, bem como a maneira pela qual uma substância é utilizada em um processo químico, devem ser escolhidas a fim de minimizar o potencial para acidentes químicos, incluindo vazamentos, explosões e incêndios.

A diferença existente entre o Desenvolvimento Sustentável e a Química verde está na ausência, no segundo modelo, da interface social e econômica, assemelhando-se ao processo de Gestão Ambiental sendo mais focado e específico.

Aplicação da química verde na indústria

Baseando-se nos 12 princípios da Química Verde, este conceito se assemelha com a Produção Mais Limpa, pois prioriza a não produção de poluentes em relação a ações corretivas. No âmbito industrial, Mestres (2005) descreve em seu trabalho os 12 princípios da seguinte maneira:

1. redução no uso e geração de poluentes químicos nos processos;
2. redução de uso de produtos químicos perigosos;
3. redução dos efeitos dos produtos finais;
4. redução do uso de materiais não renováveis e escassos.

Na indústria química algumas alterações são aplicáveis para minimizar os impactos gerados a partir do processo de produção buscando a sustentabilidade. Para a redução de poluentes recomenda-se a utilização de fontes renováveis e solventes de baixa toxicidade reduzindo a produção de derivados secundários. A redução de produtos de alta periculosidade sugere-se a redução da escala de produção ou a seleção de reagentes mais seguros. Para a redução de efeitos nocivos é sugerido pelo autor à utilização de fonte naturais desenhando produtos recicláveis, neste caso podendo inserir como fonte de energia a biomassa, reduzindo o consumo de energia e água.

O setor responsável pela implantação da Química Verde no ambiente industrial é o setor de P&D, pois está a cargo do desenvolvimento de novos produtos e processos, juntamente com a reinvenção do uso de novos materiais. A inovação deste setor está relacionada ao aumento de escala de produção, redução de custos e inovação dos processos incentivados

pelo aumento da demanda (WARNER; CANNON; DYE, 2004). Desta maneira, para inserir a técnica da Química Verde é preciso existir um aprimoramento nas pesquisas e em documentações que comprovem os resultados positivos desta técnica, novas tecnologias e equipamentos, para incentivar os gestores responsáveis.

Segundo Hjeresen *et al* (2002) a aplicação da Química Verde traz três benefícios para a indústria e para a ciência: benefícios econômicos, ambientais e colaborativas. O benefício econômico é fruto da redução do consumo e desperdício de produtos e identificação de fontes de despesas associadas à produção, motivando os gestores a adotarem a técnica de Química Verde. Em relação ao benefício ambiental está ligado a redução de uso de matérias primas, desperdício, poluição e consumo energético. E o último benefício está ligado a interdisciplinaridade da Química Verde, que é responsável pela existência de colaboração e parcerias, ferramentas importantes para o desenvolvimento da Ciência.

referências

ABEQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. Produtos e aplicações, 2011.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistemas de gestão ambiental – Especificação e diretrizes para uso. NBR ISO 14.001.** Rio de Janeiro, 1996.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Resíduos Sólidos: classificação.** Disponível em: <http://www.sua.pe.gov.br/images/publicacoes/normas/ABNT_NBR_n_10004_2004.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2017.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Introdução a ABNT NBR ISO 14001:2015,** Rio de Janeiro, 2015.

AGENDA 21, **Conferência das Nações Unidas Sobre O Meio Ambiente e Desenvolvimento,** Centro de Documentação e Informação Coordenação de Publicações BRASÍLIA 1A. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/agenda21.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2017.

ALBUQUERQUE, E.L., **Compostos Orgânicos Voláteis na Atmosfera Urbana da Região Metropolitana de São Paulo.** Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 2007.

ALVES, A. F. S. 2017. Avaliação de Riscos Ambientais. São Paulo: UNISA Digital. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/1689987-Antonio-fernando-silveira-alvesavaliacao-de-riscos-ambientais.html>>. Acessado em: 1 fev.2018.

BACTÉRIAS DECOMPOSITORAS E SUA AÇÃO NOS PROCESSOS DE COMPOSTAGEM E LAMAS DAS ETAR's. Disponível em: <http://www.laifi.com/laifi.php?id_laifi=7299&idC=87814#>. Acesso em: 18 dez. 2017.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental** – Quarta Edição. Porto Alegre. Bookman. 2011.

BEZERRA, Maria do Carmo de Lima, BURSZTYN, Marcel, **Ciência e tecnologia para o desenvolvimento sustentável** — Brasília: Ministério do Meio Ambiente; Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis; Consórcio CDS/UnB/Abipti, 2000.

BITAR, O. Y., ORTEGA, R.D. GESTÃO AMBIENTAL. In: OLIVEIRA, A. M. S., BRITO, S. N. A. (Eds). **Geologia de engenharia (ABGE)**, 1998, cap. 32, pp. 499-508.

BMS, Bidwell Management Systems, ISO 14001:2015 Transition Guidance (Structure). Disponível em: <<http://www.bms-services.com/iso-140012015transition-guidance-structure/>>. Acessado em: 22 dez.2017.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, **Poluentes atmosféricos**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentesatmosfericos>>. Acessado em: 21 dez. 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Indicadores ambientais**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/governanca-ambiental/informacao-ambiental/sistema-nacional-de-informacao-sobre-meio-ambiente-sinima/indicadores>>. Acesso em: 14 dez. 2017.

BSI, Environmental Management System, **Comparando a última versão da ISO 14001 com a ISO 14001:2004**. Disponível em: <<https://www.bsigroup.com/.../BRPTBR-iso14001-WP-TransitionGuide14k-PDF.pdf>>. Acessado em: 22/12/2017.

CÁSSIO LYRA (Santos). **Incêndio provoca explosões em área industrial de Santos, SP**. 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2015/04/incendio-atinge-industria-no-bairro-alemoa-em-santos-litoral-desp.html>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

CASTRO, A. H. S.; ARAÚJO, R. S.; SILVA; G. M. M. **Qualidade do ar – parâmetros de controle e efeitos na saúde humana – uma breve revisão**. Holos. 2013. Ano 29, vol 5. pp. 107-121.

CARVALHO, M. B. F., Poluição atmosférica e mudanças climáticas. Disponível em: <http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2009/relatorio/dir/mariana_carvalho.pdf>. Acessado em: 19/12/2017.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Manual (P4.261): orientação para a elaboração de estudos de análise de riscos**. 2003. Disponível em: <<http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/normas/11/2013/11/P4261.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2017.

CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental, 2002.**Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo** -2001. São Paulo.

CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental, **Poluentes**, 2017.
Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes>>. Acesso em: 19/12/2017.

Referências

CEPED. **Derramamento de Óleo na Baía de Guanabara**. Disponível em: <<http://www.ceped.ufsc.br/2000-derramamento-de-oleo-na-baia-de-guanabara/>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

CONSTITUIÇÃO, **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 19 dez. 2017.

FILHO, J., **Poluição do Ar**. Disponível em: <<http://www.luzimarteixeira.com.br/wp-content/uploads/2011/03/poluicao-do-ar-aspectos-tec-e-meio-ambiente.pdf>>. Acesso em: 22/12/2017.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER (FEPAM). **Manual de análise de riscos industriais**. Porto Alegre: FEPAM, 2016. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/central/formularios/arq/manual_risco.pdf>. Acesso em: 19 de dezembro de 2017.

G1 MG. **Barragem se rompe, e enxurrada de lama destrói distrito de Mariana**. 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2015/11/barragemde-rejeitos-se-rompe-em-distrito-de-mariana.html>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

G1 RIO. **Imagem mostra mancha de óleo perto de plataforma na Baía de Guanabara**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2013/09/imagem-mostra-mancha-de-oleo-perto-de-plataforma-na-baia-de-guanabara.html>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

G1. **Ultracargo admite vazamento dias antes de incêndio em Santos, SP**. 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2015/05/ultracargoadmite-vazamento-dias-antes-de-incendio-em-santos-sp.html>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

G1. **Barragem se rompe, e enxurrada de lama destrói distrito de Mariana**. 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/minas-gerais/noticia/2015/11/barragemde-rejeitos-se-rompe-em-distrito-de-mariana.html>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

GIORDANO, Gandhi. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Rio de Janeiro: Revista Abes, 2004.

GREICE VANIN OLIVEIRA (Rio Grande do Sul). **Gestão de Resíduos Químicos**. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/farmacia/wp-content/uploads/2015/10/AulaGestao-de-Residuos-Quimicos-26-08-15.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

GROSJEAN, E.; GROSJEAN, D.; **Formation of Ozone in Urban Air by Photochemical Oxidation of Hydrocarbons: Captive Air Experiments in Porto Alegre, RS**. Journal of the Brazilian Chemical Society. 1998. Vol. 9. nº 2 pp. 131-143.

HJERESSEN, L., Dennis *et al.* **Green Chemistry**: Environment, Economics, and Competitiveness, Corporate Environmental Strategy, v. 9, nº 3, pp. 259-266, ago. 2002.

IBAMA, **APOSTILA DO CURSO SOBRE ESTUDO DE ANÁLISE DE RISCOS E PROGRAMA DE GERENCIAMENTO DE RISCOS**. 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/_14.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2017.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR IMPACT ASSESSMENT. **Principles of environmental impact assessment best practice**. Estoril, 1999.

JUNGSTEDT, Luiz Oliveira Castro. **Direito Ambiental — Legislação**. Thex Editora, Rio de Janeiro, 2002.

KLASSEN, R. D.; MCLAUGHLIN C. P. **The impact of environmental management on firm performance**. Management Science, 42, pp. 1199-1214, 1996.

KRAMER, Maria Elisabeth Pereira, **A questão ambiental e os resíduos industriais**, 2005. Disponível em: <http://www.amda.org.br/imgs/up/Artigo_25.pdf>. Acesso em: 28 jan 2018.

LENARDÃO, Eder João *et al.* **“Green Chemistry” - Os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa**, Química Nova, v. 26, nº 1, 2003.

MARIA FERNANDA ZIEGLER. **ANP autuará Chevron com três multas**. 2011. Disponível em: <<http://ultimosegundo.ig.com.br/ciencia/meioambiente/anpautuara-chevron-com-tres-multas/n1597376999147.html>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

MARTINS, C.R.; ANDRADE, J.B.; **Química atmosférica do enxofre (iv): emissões, reações em fase aquosa e impacto ambiental**, Química Nova. 2002.

Vol. 25, nº 2, pp. 259-272.

MEIO ambiente. Disponível em: <<http://oseas2d2010.blogspot.com.br/2010/05/lagoa-de-maturacao-fase-final-de-todo.html>>. Acesso em: 18 dez. 2017.

MESTRES, R., **Green Chemistry - Views and Strategies**, Environ Sci Pollut Res Int, v. 12, nº 3, 2005.

Referências

PASSARELLI, S. H., **Avaliação de impactos ambientais**. São Paulo, 2011. Color.

Patrícia Busko Di Vitta. **Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (o Sistema GHS)**. Disponível em: <http://www2.iq.usp.br/iqrecicla/pdv_0705.html>. Acesso em: 17 dez. 2017.

PEJON, Osni José; RODRIGUES, Valéria Guimarães Silvestre; ZUQUETTE, Lázaro Valentin. IMPACTOS AMBIENTAIS SOBRE O SOLO. In: CALIJURI, Maria do Carmo;

CUNHA, D. G. F., **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

PIRES, D.O., **Inventário de emissões atmosféricas de fontes estacionárias e sua contribuição para a poluição do ar na região metropolitana do rio de janeiro**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

PNUD. **Educação Ambiental na Escola e na Comunidade**. Brasília: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento/ONU, 1998.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº **257/1999** Data da legislação: 30/6/1999 - Publicação DOU nº 139, de 22/7/1999. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=257>>. Acesso em: 19 dez. 2017.

RUSO, M.A.T., **Tratamento de resíduos sólidos**. Coimbra: Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Coimbra, 2003.

SÁNCHEZ, L. E., **Avaliação de impacto ambiental**. Oficina de Textos: 2015.

SEVÁ FILHO, A.O., **No limite dos riscos e da dominação - A politização dos investimentos industriais de grande porte**, Livre Docência, Depto de Política Científica e Tecnológica, Instituto de Geo - Ciências, Unicamp, Campinas, 1988.

SILVA, F. M. da; LACERDA, P. S. B. de; JONES JUNIOR, J., **DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E QUÍMICA VERDE**. Química Nova, v. 28, nº 1, 2005.

SILVA, A. F e VIEIRA, C. A., **Aspectos da poluição atmosférica**: uma reflexão sobre a qualidade do ar nas cidades brasileiras, Ciência e Sustentabilidade – CeS, Juazeiro do Norte, v. 3, nº 1, pp. 166-189, jan/jun 2017.

SOUZA, R. S. de., Evolução e condicionantes da gestão ambiental nas empresas. **Read – Edição Especial**. Santa Maria, pp. 1-8. dez. 2002.

TOCCHETTO, M. R. L., **GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS**. 2005. 20. Disponível em: <<http://www.blogdocancado.com/wpcontent/uploads/2012/04/gerenciamento-de-residuos-solidos-industriais.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2017.

TOMITA, José Luiz Choiti., **Gestão de Resíduos Sólidos**, Distrito Federal, 2014.

TOMITA, José Luiz Choiti. **Gestão de águas urbanas**. Distrito Federal, 2014.

UNESCO (Org.). **Water for people water for life**. Barcelona: Berghahn Books, 2003.

UOL. **Elettricidade é o setor campeão na emissão de gases de efeito estufa**. 2015. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2015/12/07/elettricidade-e-o-setor-campeao-na-emissao-dos-gases-doefeito-estufa.htm>>. Acesso em: 16 dez. 2017.

VERGNHANINI FILHO, Renato; ETT, Gerhard. **Emissões industriais de poluentes gasosos: a razão para inovação em nossas indústrias. Tratamento de Superfície**, nº 201, pp. 34-39, mar., 2017. Acesso ao artigo no site do Periódico: <http://abts.org.br/images/img-publicacoes/tratamento_de_superficie-201/rts-201>.

ZVEIBIL, Victor Zular et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**,. 2001. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2017.

WARNER, J C et al., **Green chemistry**., Environmental Impact Assessment Review, v. 24, nº 8, pp. 4-9, nov. 2004.



Vazamento de óleo na bacia de Campos destrói toda a vida marinha, dizem ambientalistas. Disponível em: <<http://noticias.r7.com/rio-de-janeiro/noticias/vazamento-de-oleo-na-bacia-de-campos-destroi-toda-a-vida-marinha-dizemambientalistas-20111116.html>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

Gestão Operacional e Otimização de processos

Brasília-DF.

Elaboração

Maria Rosiene Antunes Arcanjo

Produção

Equipe Técnica de Avaliação, Revisão Linguística e Editoração

Sumário

APRESENTAÇÃO	5
ORGANIZAÇÃO DO CADERNO DE ESTUDOS E PESQUISA	6
INTRODUÇÃO.....	8
UNIDADE I	
GESTÃO OPERACIONAL	11

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO À GESTÃO OPERACIONAL	11

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS DA ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO	20

CAPÍTULO 3

PROCESSOS DE GESTÃO NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA	28

UNIDADE II

ESTRATÉGIA DE OPERAÇÕES	37

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO À ESTRATÉGIA DE OPERAÇÕES	37

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE PRODUÇÃO	45

CAPÍTULO 3

MEDIDAS DE DESEMPENHO E FERRAMENTAS PARA TOMADA DE DECISÃO	51

UNIDADE III

GESTÃO DE PROCESSOS	56

CAPÍTULO 1

GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS	56

CAPÍTULO 2

PLANEJAMENTO E CONTROLE DE PRODUÇÃO.....	63

CAPÍTULO 3

GESTÃO DE ESTOQUES	68

UNIDADE IV

ENGENHARIA DE PROCESSOS.....	74
CAPÍTULO 1	

CONCEITOS BÁSICOS DE CONTROLE DE PROCESSOS	74
CAPÍTULO 2	
INSTRUMENTAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS	82
CAPÍTULO 3	
CONTROLE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS	89
UNIDADE V	
CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS	99
CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO AOS CONCEITOS ESTATÍSTICOS	99
CAPÍTULO 2	
PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	113
CAPÍTULO 3	
CONTROLE E OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS	129
CAPÍTULO	434
LEAN PRODUCTION	569
PARA (NÃO) FINALIZAR	579
REFERÊNCIAS	150

Apresentação

Caro aluno

A proposta editorial deste Caderno de Estudos e Pesquisa reúne elementos que se entendem necessários para o desenvolvimento do estudo com segurança e qualidade. Caracteriza-se pela atualidade, dinâmica e pertinência de seu conteúdo, bem como pela interatividade e modernidade de sua estrutura formal, adequadas à metodologia da Educação a Distância – EaD.

Pretende-se, com este material, levá-lo à reflexão e à compreensão da pluralidade dos conhecimentos a serem oferecidos, possibilitando-lhe ampliar conceitos específicos da área e atuar de forma competente e conscienciosa, como convém ao profissional que busca a formação continuada para vencer os desafios que a evolução científico-tecnológica impõe ao mundo contemporâneo.

Elaborou-se a presente publicação com a intenção de torná-la subsídio valioso, de modo a facilitar sua caminhada na trajetória a ser percorrida tanto na vida pessoal quanto na profissional. Utilize-a como instrumento para seu sucesso na carreira.

Conselho Editorial

Organização do Caderno de Estudos e Pesquisa

Para facilitar seu estudo, os conteúdos são organizados em unidades, subdivididas em capítulos, de forma didática, objetiva e coerente. Eles serão abordados por meio de textos básicos, com questões para reflexão, entre outros recursos editoriais que visam tornar sua leitura mais agradável. Ao final, serão indicadas, também, fontes de consulta para aprofundar seus estudos com leituras e pesquisas complementares.

A seguir, apresentamos uma breve descrição dos ícones utilizados na organização dos Cadernos de Estudos e Pesquisa.



Provocação

Textos que buscam instigar o aluno a refletir sobre determinado assunto antes mesmo de iniciar sua leitura ou após algum trecho pertinente para o autor conteudista.



Para refletir

Questões inseridas no decorrer do estudo a fim de que o aluno faça uma pausa e reflita sobre o conteúdo estudado ou temas que o ajudem em seu raciocínio. É importante que ele verifique seus conhecimentos, suas experiências e seus sentimentos. As reflexões são o ponto de partida para a construção de suas conclusões.



Sugestão de estudo complementar

Sugestões de leituras adicionais, filmes e sites para aprofundamento do estudo, discussões em fóruns ou encontros presenciais quando for o caso.



Atenção

Chamadas para alertar detalhes/tópicos importantes que contribuam para a síntese/conclusão do assunto abordado.

6



Saiba mais

Informações complementares para elucidar a construção das sínteses/conclusões sobre o assunto abordado.



Sintetizando

Trecho que busca resumir informações relevantes do conteúdo, facilitando o entendimento pelo aluno sobre trechos mais complexos.



Para (não) finalizar

Texto integrador, ao final do módulo, que motiva o aluno a continuar a aprendizagem ou estimula ponderações complementares sobre o módulo estudado.

Introdução

A rapidez das transformações que dominam o cenário econômico vem alterando de modo substancial a forma como as organizações administram as pessoas e o grande volume de informações e conhecimento com o qual elas precisam passar em suas atividades produtivas (PURCIDONIO *et al.*, 2006). A sociedade contemporânea é testemunha do aparecimento de um novo paradigma socioeconômico que tem como base as informações, o conhecimento e a inovação, o que impulsiona as empresas a direcionarem seus investimentos para recursos informacionais, como redes de comunicação e *softwares*, em detrimento dos tradicionais recursos industriais, como maquinários e equipamentos produtivos. Entre os fatores que decorrem do crescimento dos recursos humanos, destacam-se a aprendizagem organizacional e a gestão do conhecimento. A tarefa de administrar e alterar a vantagem competitiva para a organização de todo esse conhecimento é desafiadora (SILVA, 2004).

A inovação consiste em um dos principais fatores para a geração de vantagem competitiva nas empresas. Não é apenas a oportunidade de crescer e sobreviver, mas também representa seu poder em redefinir seu próprio rumo. A inovação realizada no setor farmacêutico é derivada, sobretudo, de ações de pesquisa e desenvolvimento (P&D), e esse setor é conhecido como aquele em que, de forma tradicional, mais se investe dentro dos outros setores da indústria global (QUEIROZ, 2009). Todavia, com a evolução da própria economia, a indústria farmacêutica brasileira sofreu por atraso tecnológico em consequência de investimentos baixos em P&D e inovação realizada desde décadas passadas (BÜCHLER, 2005).

Neste material, inicialmente será abordada uma revisão que engloba os principais conceitos de gestão operacional, estratégia de operações e gestão de processos. Posteriormente, veremos sobre conceitos de controle de processos, instrumentação em engenharia de processos, controle estatístico de processos, sua otimização e *lean production*. Veremos que a estatística não é somente construção de gráficos e cálculo de médias, visto que as informações numéricas obtidas têm como finalidade a acumulação de informações para a tomada de decisões. Portanto, a estatística deve ser observada como um conjunto de técnicas para planejar experimentos, com consequente obtenção de dados, sua organização, análise e interpretação.

Nesse contexto, este material didático busca tornar mais simples o aprendizado que, muitas vezes, é obscuro para os alunos, pesquisadores e profissionais que estão envolvidos nesses processos.

8

Objetivos

- » Conhecer os conceitos de gestão operacional, assim como os fundamentos de administração da produção.
- » Compreender quais os processos de gestão que existem numa indústria farmacêutica.
- » Conhecer e entender os sistemas de produção, as medidas de desempenho e ferramentas para tomada de decisão.
- » Aprender sobre o funcionamento da gestão da cadeia de suprimentos e de estoques, planejamento e controle de produção.
- » Conhecer os conceitos básicos de controle de processos, instrumentação em engenharia de processos e seu controle estatístico.
- » Compreender a importância da otimização de processos e *Lean Production* no setor farmacêutico.

GESTÃO OPERACIONAL

UNIDADE I

CAPÍTULO 1

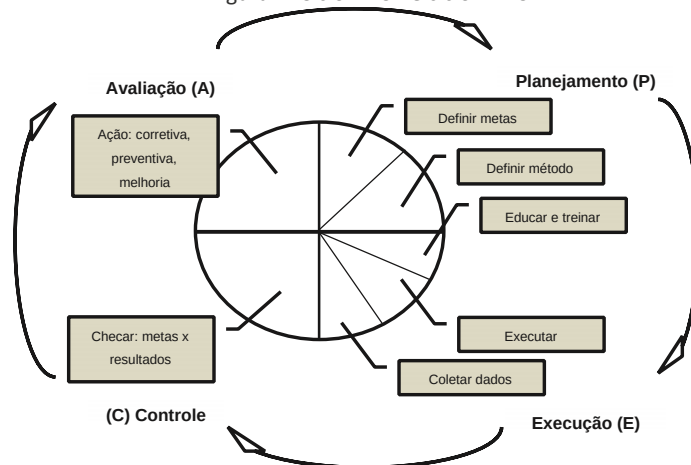
Introdução à gestão operacional

A palavra gestão é sinônimo de administração, ou seja, é um conjunto de princípios, de normas e de funções que objetiva a ordenação dos fatores de produção, o controle da sua produtividade e a sua eficiência, para obtenção de determinado resultado. A gestão pode ser representada por um modelo explicativo que abrange quatro etapas:

- » planejamento;
- » execução;
- » avaliação;
- » controle.

Na figura 1, observe o ciclo de gestão criado por Walter Shewhart, e muito empregado por Deming nos programas de gestão pela qualidade, conforme Walton (1989).

Figura 1. Ciclo PDCA e ciclo PEAC.



Fonte: Adaptada de Campos (1990).

Observando o ciclo PDCA, podemos explicar a finalidade principal de cada etapa:

- » O planejamento proporciona orientações para definição de metas, métodos e ferramentas para que a próxima fase da ação seja efetivada.
- » A execução abrange as atividades preparatórias para habilitar as pessoas, treinando-as e educando-as, com a finalidade de que sejam capazes de executar o que foi pré-estabelecido na fase de planejamento. A fase de execução gera produtos, que são chamados de resultados e o modo como estes foram obtidos. Esses dados podem ser coletados de modo sistematizado e contínuo, ou seja, monitorados; ou de maneira aleatória e pontual, de acordo com as normas na fase de planejamento.
- » A avaliação fornece dados para a próxima fase, o controle, comparando o que foi programado com o que foi alcançado; valorando os desvios encontrados, com identificação das causas relacionadas; e também sugerindo opções de caminhos para que o que foi programado volte a ser executado.
- » A etapa de controle é a última e tem caráter decisório e executivo, pois considera atividades de como rever o planejamento anterior, papel preventivo, tomada de decisão acerca de como corrigir as disfunções apontadas na etapa de avaliação e, às vezes, executa as ações corretivas e de melhorias.

Por definição, gestão operacional é o conjunto de todas as ações que foram programadas e são executadas no processo direto de prestação de serviços públicos. As atividades de Gestão Operacional são realizadas em qualquer organização estatal de prestação de serviços públicos, nas três instâncias – federal, estadual e municipal –, e em organizações não estatais que têm essa atribuição e são realizadas no espaço de execução do modelo de Mintzberg.

Ainda que os termos organizações públicas e organizações estatais sejam empregados como sinônimos, somente as organizações estatais são integrantes da estrutura do Estado. Há outras organizações que prestam serviços públicos além das organizações estatais, mas não são da estrutura do Estado, como as Organizações Não Governamentais (ONGs) e as organizações privadas concessionárias de serviços públicos.

Na prática das organizações prestadoras de serviços públicos, em qualquer instância, sejam elas federais, estaduais ou municipais, é possível observar que, mesmo não

constando de planos e programas, um conjunto de ações deve ser realizado por exigências legais. Adicionalmente, acontecem ações eventuais que não constam dos planos, exigindo que os recursos orçamentários e financeiros para a execução estejam disponíveis.

Quem desempenha o cargo de gestor operacional deve estar preparado para agir nessas condições, ou seja, do trabalho gerencial com ações discricionárias e legais previstas ou não em planos de ação, tendo em mente que há princípios a serem ressaltados.



Caro estudante, para saber mais sobre ações discricionárias e legais, sugerimos a consulta do *link* <<https://www.direitonet.com.br/artigos/exibir/2635/Poder-discricionario-da-Administracao-Publica>>.

Analisando como ocorre o funcionamento de uma organização prestadora de serviços públicos, sendo ela estatal ou não, durante um período estabelecido, é possível notar que certas atuações são contínuas no tempo, denominadas de rotinas. Algumas outras de tempos em tempos se repetem, denominadas de ações sazonais, que apresentam pequenas variações de um tempo de execução para outro.

Por fim, destacamos aquelas que são concretizadas apenas uma vez para resolver algum problema na prestação de serviço, buscando atender diversos públicos, dos quais as especificidades devem ser respeitadas.

Atividades diversas podem ser desenvolvidas por toda organização, e estas conduzem à produção de resultados. Essas atividades em conjunto são denominadas de processos, que trabalham de modo integrado para atingir os objetivos fundamentais do órgão, de maneira direta, relacionados à sua missão institucional.

A Gestão por Processos, ou *Business Process Management* (BPM), é uma abordagem sistemática de gestão que considera os processos de negócios como ativos, que potencializam de modo direto o desempenho da organização, buscando uma organização excelente e rapidez nos negócios. Isso envolve a determinação de recursos necessários, acompanhamento de desempenho, manutenção e gestão do ciclo de vida do processo. Na gestão por processos, os fatores críticos de sucesso estão relacionados ao modo de conduzir a mudança nas atitudes das pessoas ou às perspectivas de processos para avaliação do desempenho dos processos das organizações.

O BPM permite a avaliação, a definição, a execução, o monitoramento e a administração, incluindo o suporte para a interação entre pessoas e aplicações diversas informatizadas. Permite também que as regras de negócio da organização, travestidas no modo de

processos, sejam criadas e informatizadas pelas próprias áreas de gestão, sem intervenção do setor técnico.

Os processos corporativos e o ganho de pontos em produtividade e eficiência são a finalidade desses sistemas. As soluções de BPM são vistas como aplicações cujo principal propósito é medir, analisar e otimizar a gestão do negócio e os processos de análise financeira da empresa.

Classificação dos Processos

Os processos são classificados do seguinte modo:

Por níveis

Macroprocessos

É necessária a compreensão de que os macroprocessos são o conjunto de processos fundamentais para a realização da missão organizacional. Esses processos diretamente relacionados com fornecedores e clientes, buscando soluções integradas de serviços e produtos para alcançar a satisfação das necessidades dos clientes.

- » Fornecedor: indivíduo ou organização que fornece insumos para os processos de uma organização, que podem ser orientações, informações, prestação ou fornecimento de serviços e produtos. No âmbito público, as relações entre organização e fornecedor são regulamentadas por lei e administradas por contrato administrativo com características particulares em relação aos contratos comuns. A principal é a exigência de realização de licitação, só desnecessária em casos que estejam previstos em lei, mediante parecer oficial do setor jurídico da organização.
- » Cliente: pessoas físicas e/ou jurídicas (privadas ou públicas) que usam de maneira direta serviços ou produtos fornecidos por uma organização. Nas organizações públicas, os clientes são chamados de usuários. Os clientes que pedem ou utilizam serviços finais da organização são denominados clientes externos. Já os membros da organização que usam os resultados parciais de processos que envolvem os serviços intermediários ou subprodutos, como insumo em outro processo de natureza interna, são chamados clientes internos. Sendo uma unidade prestadora de serviços no ambiente interno da organização,

aqueles que entram com recurso aos seus produtos/serviços também podem ser chamados de clientes internos.

Processos

Os processos podem ser definidos como conjuntos de ações inter-relacionadas ou interativas que alteram insumos (entradas) em serviços (saídas) ou produtos que têm valor para um conjunto particular de clientes.

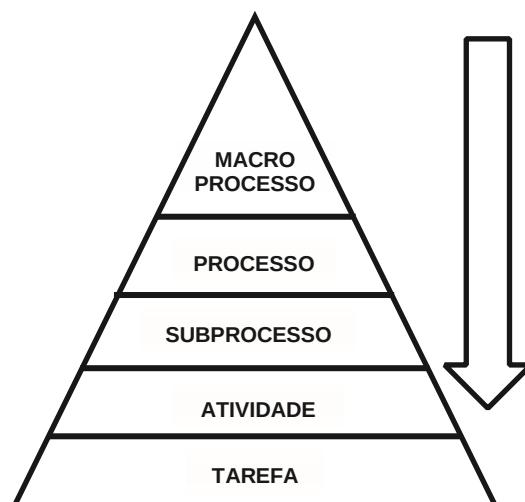
Subprocessos

Os subprocessos são conjuntos de atividades necessárias e suficientes para a realização dos processos. A quantidade de subprocessos depende da complexidade de cada processo. Em um nível com mais detalhes, as atividades de um subprocesso são divididas em tarefas.

- » Etapas são conjuntos de atividades necessárias e suficientes para a execução de cada subprocesso.
- » Atividades são conjuntos de tarefas, com início e fim estabelecidos, encaminhadas para execução das finalidades definidas em cada passo. A centralização, nesse caso, é o que fazer como condição imprescindível para se conseguir o objetivo.
- » Tarefas compreendem a sequência de etapas para realização de uma atividade. As etapas em geral englobam explicações detalhadas sobre como fazer, que fundamentam a construção ou definição de procedimentos.

De modo hierárquico, os processos são apresentados da seguinte maneira (Figura 2):

Figura 2. Processos hierárquicos.



Fonte: Adaptada de Chiavenato (2004).

Por tipo

Processos finalísticos

Processos finalísticos são processos técnicos que compõem as atividades-fim da organização, que estão envolvidos de forma direta no atendimento às necessidades dos clientes ou usuários. Os processos enquadrados nessa categoria estão relacionados com os fundamentos estratégicos da organização: missão, visão de futuro e objetivos estratégicos.

Processos de apoio

Processos de apoio são aqueles que dão suporte às atividades de natureza finalística da organização. Esse tipo de processo está relacionado à gestão dos recursos internos da organização. Por exemplo: processos que envolvem a gestão orçamentária e financeira, a gestão de pessoas, a gestão de aquisições de bens e serviços, assim como o desenvolvimento de tecnologias da informação. Eles se referem também aos processos gerenciais relacionados à definição de sistemas de acompanhamento e avaliação dos resultados alcançados pela organização.

Processos críticos

Os processos críticos são aqueles de natureza estratégica que promovem o sucesso institucional, sendo denominados os principais processos finalísticos, ainda que alguns processos de apoio (processos-meio) possam ser considerados críticos pela relevância ou impacto que têm nos resultados institucionais. Quando não são gerenciados de maneira

adequada, os processos críticos podem impedir ou dificultar a efetivação dos objetivos estratégicos.

A seguir, algumas definições importantes que devem ser consideradas em gestão de processos:

1. Cadeia cliente-fornecedor: a cadeia cliente-fornecedor é relacionada ao conjunto de processos integrados que constituem a organização, que é marcado pelo fato de que um processo ora é cliente do processo que o precede, ora é fornecedor do processo/subprocesso que o sucede.
2. Gerência de processos: é o conjunto de ações sistemáticas, com fundamentos em técnicas e ferramentas de análise, modelação e controle, que buscam a manutenção de uma rotina estável e a implantação de melhorias na qualidade dos processos.

Qualidade dos processos

Foi dito que todo processo tem um objetivo ou ambiciona um resultado. Desse modo, o processo sempre está estruturado em função de objetivos. O alcance desses objetivos ou a obtenção dos resultados é dependente da qualidade dos processos. Se conduzidos de forma correta, os serviços ou produtos gerados devem:

- » contestar a uma necessidade ou utilização definida;
- » satisfazer plenamente os clientes ou usuários para os quais se destinam;
- » atender a determinadas normas ou especificações;
- » envolver preços compatíveis e custos adequados.

Para assegurar a efetividade dos processos, e a sua qualidade, é necessário considerar alguns aspectos e procedimentos, como:

- » Padrão: é o nível de desempenho desejado ou uma referência de comparação em relação ao qual um processo pode ser analisado. Como referencial de comparação para a gerência de processos, podem ser escolhidos: registros de especificações, procedimentos, métodos, habilidades e tecnologias.
- » Requisitos (ou pré-requisitos): estão relacionados às condições que devem ser cumpridas para o sucesso de um processo, serviço ou produto.

- » Requisitos do cliente: são as especificações que definem de forma clara como o cliente deseja receber o produto ou o serviço de seu fornecedor. No caso das organizações públicas, abrange as necessidades fundamentais dos cidadãos ou das demais partes interessadas e importantes para sua satisfação, de modo formal ou informal.
- » Normalização: constitui atividade sistemática para a determinação e o emprego de padrões. É entendida como o processo de formulação e aplicação de regras para alcançar uma ordem no desenvolvimento de uma atividade particular, com a cooperação de todos os envolvidos e para o benefício.
- » Indicadores: é um modo de representação, quantificáveis, de características de produtos e processos, empregados com a finalidade de monitorar e melhorar os resultados.
- » Indicadores de processos: são representações objetivas de particularidades do processo que devem ser acompanhadas no decorrer do tempo para avaliação e melhoramento do seu desempenho.
- » Problema: é a diferença entre a situação do momento (atual) e a situação almejada (proposta). Engloba os resultados ou efeitos não desejados de um processo e, portanto, pode ser considerado como um erro, desvio ou não conformidade. Esses acontecimentos prejudicam a qualidade do processo e de seus resultados e, logo, devem ser notados com atenção pelo gerenciamento responsável.
- » Análise crítica: abrange a avaliação global de um projeto, serviço, produto, informação ou processo organizacional relacionado aos requisitos, cuja finalidade é identificar problemas e propostas de soluções.
- » Memória administrativa: compreende o conjunto de documentos legais, técnicos e históricos, informais e formais, que atendem às exigências legais, às necessidades futuras de referência e ao registro histórico da organização. Esses registros são de grande importância devido ao fornecimento de parâmetros para comparações e para a avaliação dos processos.



Caro estudante, leia mais sobre gestão no *link*: <http://www.ci.esapl.pt/jcms/materiais/Econ%20Gest/Gestao.PDF>>.

CAPÍTULO 2

Fundamentos da administração da produção

Gaither e Frazier (2002) conceituaram a administração da produção como sendo a administração do sistema produtivo de uma organização de transformação de insumos em produtos ou serviços. Slack, Chambers e Johnston (2009) relataram ainda que a produção é a atividade que tem predominância, e busca o gerenciamento dos recursos para transformação. Jacobs, Chase e Souza (2009) salientam que, para o sucesso da empresa, é necessário fazer uma administração de produção com baixo custo que atenda às expectativas dos clientes.

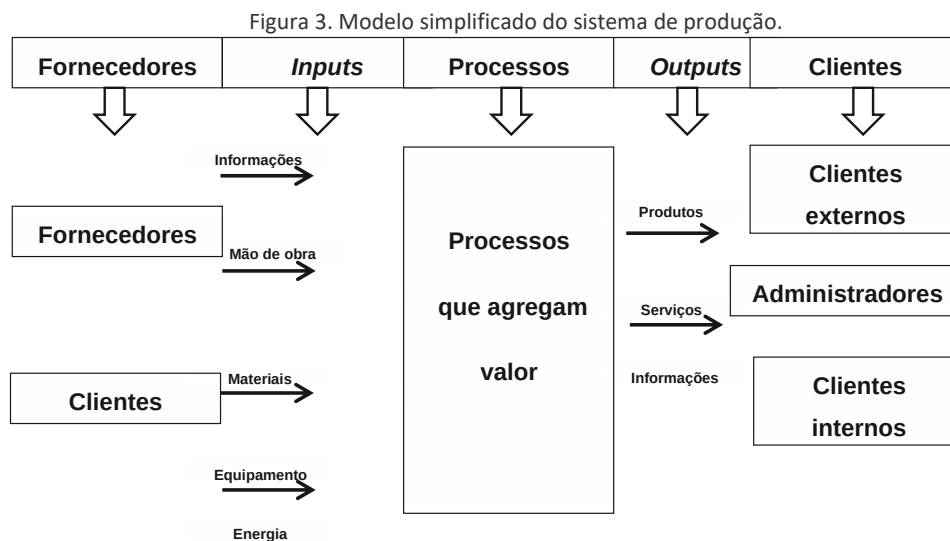
A função produção é importante dentro de uma organização, mas existem outras áreas/funções que influenciam no sistema e que se tornam um complemento para a produção. Slack, Chambers e Johnston (2009) dividem em três as funções centrais para qualquer organização:

- » *marketing*;
- » desenvolvimento de produto ou serviço;
- » produção.

Gaither e Frazier (2002) conceituam *marketing* como o setor responsável em criar a demanda do produto ou serviço disponível, e o desenvolvimento de produto/serviço atua junto com o *marketing* para o desenvolvimento de novos produtos que atendam à demanda do mercado.

Além da diferença ou não das funções no sistema, o tamanho da organização influencia na administração da produção. Um dos problemas em uma empresa de pequeno ou médio porte é a ocorrência de justaposição entre as funções. Como a mesma pessoa pode desempenhar várias funções, nesse caso pode ocorrer uma dificuldade de separação das questões de massa das outras questões. A administração da produção é dividida em atividades de geração de bens ou de serviços. Aplicando um sistema de produção, as atividades são similares no aspecto de transformar insumos em produtos, mas diferem no modo de como são executadas.

As empresas funcionam em um sistema básico, composto por *inputs* ou entradas dos insumos ao processo, por processamento ou transformação desses insumos e por produtos gerados por essa transformação, que serão destinados aos clientes finais. A figura 3 demonstra um modelo simplificado.



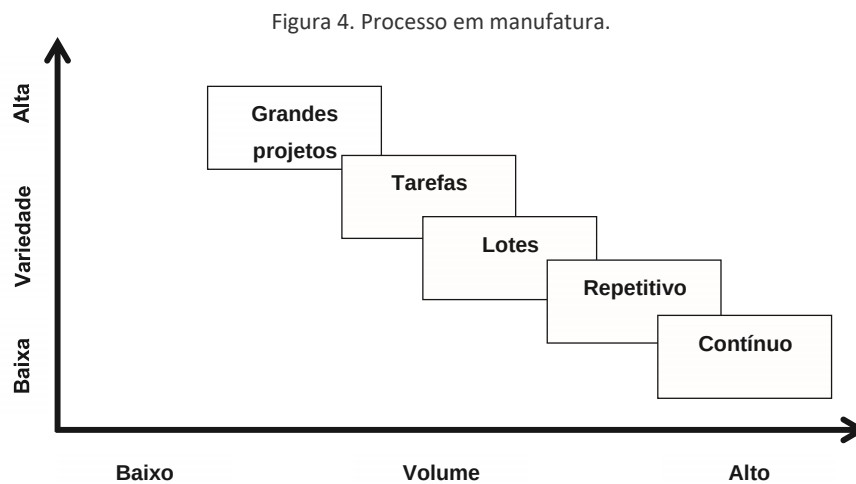
Fonte: Adaptada de Slack, Chambers e Johnston (2009).

Para que exista o processo de transformação, os recursos de entrada são divididos em dois: recursos de entrada a serem transformados e recursos de entrada de transformação. Os “recursos de entrada a serem transformados” são aqueles que sofrem algum tipo de transformação, algum tipo de tratamento ou são convertidos em algum bem ou serviço (por exemplo, materiais, informações e consumidores). Já os “recursos de entrada de transformação” são os que agem sobre os recursos a serem transformados, e como exemplos podem-se citar as instalações com equipamentos, maquinários, funcionários e energia. Para que o sistema produtivo funcione, é necessário que haja a atividade de gerenciar recursos destinados à produção para transformá-los em bens ou serviços, e essa atividade é denominada “Administração da Produção”. Dentro dessa atividade, há várias funções, porém a função central é a de produção, chamada de operações. As pessoas que exercem a responsabilidade de administrar algum ou todos os recursos envolvidos na função produção são os chamados de Gerentes de Produção, porém, dependendo do tipo de atuação que uma organização tem no mercado produtivo, há outros títulos para essa responsabilidade: gerente de operações, gerente de tráfego em empresa de distribuição, gerente de loja em um supermercado, gerente administrativo em um hospital, entre outros (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Tipos de processos produtivos e de serviços

As organizações precisam definir como irão agregar valor aos seus insumos, e essa transformação é denominada “processo” ou “processo de transformação” (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). Dentro do sistema produtivo, pode-se ter produção

de grandes volumes, tipo fábrica de refrigerantes, e de baixos volumes, como a de um grande navio. Também há a produção de baixa variedade de produtos, que vai desde uma empresa que fornece eletricidade (um único produto) até uma empresa que produz projetos arquitetônicos, em que cada projeto é único e, portanto de grande variedade. Essas duas variáveis são dependentes entre si normalmente, ou seja, quanto maior o volume menor é a variedade, e o inverso também se aplica. A definição de como serão realizadas suas tarefas dentro de suas operações dependerá de qual linha de ação as empresas irão seguir no seu processo produtivo. Existem diferentes tipos de processos de manufatura (cinco), por processo de projeto, de tarefas ou *jobbing*, em lotes ou bateladas, de produção em massa e processos contínuos, conforme visto na figura 4 (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).



Fonte: Slack, Chambers e Johnston (2009).

Os processos de projetos possuem como característica um elevado grau de customização e baixo volume. Para Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009), o processo de projeto é uma sequência de operações, e o processo envolvido em cada uma delas é único, feito especificamente para atender às solicitações dos clientes, fazendo com que cada projeto seja exclusivo, apesar de alguns parecerem similares. Como exemplo, pode-se citar a construção de um prédio ou um navio. Os processos de tarefas ou *jobbing*, semelhantemente aos processos por projetos, apresentam variedade alta e volume baixo, porém, no processo de tarefas, os recursos transformadores são dedicados exclusivamente para um determinado produto, enquanto, no processo por projetos, os recursos são compartilhados entre todas as unidades (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). Como exemplo, pode-se citar gráficas e restauradores de móveis.

Os processos em lotes ou bateladas são confundidos com *jobbing* frequentemente, porém os processos em lote não têm a mesma variedade.

Segundo Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009), a diferença fundamental se pauta no fato de os volumes serem maiores, porque os produtos ou serviços iguais ou similares são fornecidos repetidamente. Para Moreira (2008), na produção em lotes é necessário o uso de equipamentos diferenciados, e a sua própria adaptabilidade exige mão de obra especializada, devido às constantes mudanças de calibrações, ferramentas e acessórios. A produção de medicamentos é um exemplo desse processo. Já os processos de produção em massa são aqueles que fabricam alto volume de produtos, porém, com pequena variedade. É também o termo que designa a produção em larga escala de produtos padronizados por meio de linhas de montagem. São processos que tendem a ser automatizados e a produzir produtos com elevado grau de padronização, sendo permitida pouca diferenciação (MOREIRA, 2008). Um exemplo é a produção de veículos das grandes montadoras. Por fim, os processos contínuos são, muitas vezes, associados a tecnologias relativamente inflexíveis, de capital intensivo com fluxo altamente previsível.

De acordo com Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009), são processos de grandes volumes e padronizados com fluxos com operação em 24 horas por dia, para maximizar a utilização e evitar interrupções onerosas. Os exemplos desse tipo de processo são as refinarias e as siderúrgicas. No que diz respeito a operações de serviço, cada tipo de processo tem uma forma diferente de organização da operação para atender a diferentes volumes e variedades. Há três tipos básicos de processos: serviços profissionais, serviços em massa e lojas de serviços. Os serviços profissionais possibilitam altos níveis de customização, e o processo todo busca atender e satisfazer às necessidades particulares dos consumidores. Tal relação com o cliente sugere que um alto tempo de pessoal é desperdiçado no escritório e na linha de frente no atendimento aos clientes. Serviços profissionais têm como base pessoas, as quais buscam melhorar a prestação de serviço, e não o que é fornecido (GAITHER e FRAZIER, 2002). Como exemplos, podem-se citar os consultores de gestão, advogados e arquitetos.

A formatação dos serviços em massa, é apoiada num elevado grau de padronização e rotinização, baseado em pesquisas prévias sobre expectativas dos clientes. Exemplificando esse serviço, citam-se supermercados, aeroportos e empresas de telecomunicação. As lojas de serviços são aquelas que os prestam mediante combinações de atividades do pessoal do escritório e da linha de frente, e o foco passa a ser no produto e no processo de produção. De acordo com Corrêa e Caon (2002), são

definidas como intermediário entre serviços profissionais e serviços de massa. Para Slack, Chambers e Johnston (2009), essas lojas são caracterizadas por níveis de contato com o cliente, customização, volume de clientes e liberdade de decisão do pessoal. Lojas de serviço incluem bancos, *shoppings centers* e hotéis. Compreendendo os sistemas de produção, vale destacar a administração da produção, como veremos a seguir.

Administração estratégica da produção

A estrutura organizacional das empresas, segundo a Teoria Geral da Administração, é chamada de “Pirâmide Organizacional”. O formato da estrutura da pirâmide representa a hierarquia e onde cada função/cargo se encaixa em cada nível. Esta possui três níveis hierárquicos para as atividades denominadas estratégicas, táticas e operacionais (figura 5) (CHIAVENATO, 2004).

Figura 5. Pirâmide da organização.



Fonte: Chiavenato (2004).

O nível estratégico envolve a parte de planejamento bem como os resultados de uma organização. São os profissionais do nível estratégico que trabalham nos objetivos e metas a curto, médio e longo prazo, para que a empresa possa continuar se mantendo e seguindo em frente. O foco do nível estratégico, porém, são os objetivos de longo prazo, cujos resultados têm maior impacto na empresa como um todo. Exige-se mais conhecimento, ideias e conceitos abstratos. O nível estratégico é ocupado por diretores, vice-diretores e assessores (MAXIMIANO, 2007).

O nível tático, também chamado de nível gerencial, está relacionado a departamentos, administração de unidades e afins. Por meio dos profissionais que direcionam equipes diversas, são traçados e cumpridos os objetivos no médio prazo com base no que o nível

estratégico determina. Normalmente, esses objetivos no médio prazo estão intimamente ligados aos departamentos de finanças, vendas, administração, recursos humanos e outros. O relacionamento interpessoal é a competência principal. O nível tático é composto por gerentes de divisão, gerentes de departamento e gerentes de seção (MAXIMIANO, 2007).

O nível operacional comporta, normalmente, profissionais com menos conhecimento técnico e formação escolar ou acadêmica, que realizam atividades cotidianas até mesmo repetitivas. A maior parte dos objetivos em curto prazo é cumprida no nível operacional e, por ser base da pirâmide, também é o nível em que existem mais profissionais trabalhando, a fim de cumprir com as ordens de serviços e entregar os produtos aos seus clientes. Em geral, exige-se mais disposição física para executar tarefas manuais. O nível operacional é composto por supervisores, mestres, líderes de turma, técnicos, operadores, entre outros (MAXIMIANO, 2007). Inicialmente, a empresa deve determinar de forma clara e objetiva qual a sua missão e visão corporativa. A empresa deve determinar sua visão, qual é seu escopo de negócio atual, ou seja, sua missão, o que a empresa quer ser no futuro, aonde ela quer chegar e com que intensidade. Normalmente, a missão e a visão apenas são bem consolidadas após a direção conhecer bem seu mercado e o potencial para o futuro, e dificilmente surgem com o nascimento da organização (TUBINO, 2009). Para que se inicie a produção de qualquer produto (bem e/ou serviço), é necessária uma preparação com antecedência e, para tanto, precisa-se de uma série de atividades para se chegar ao produto ou serviço final. Essa série de atividades é chamada de planejamento estratégico e se inicia na definição de missão/visão; depois, numa estratégia corporativa; na sequência, numa estratégia competitiva, chegando às estratégias funcionais e táticas funcionais; e, por último, em atividades operacionais funcionais.

A estratégia corporativa em grandes empresas divide-se em três níveis: o corporativo, o das unidades de negócios ou competitivo e o funcional. O planejamento estratégico define em que negócios a empresa deverá ter atuação e como irá gerir os recursos para atender às demandas das unidades de produção. Esse tipo de estratégia define em que áreas de negócios a organização deverá atuar. Também deverá definir a quantidade de recursos, onde os adquirirá e como irá distribuí-los para atender às unidades de negócios (TUBINO, 2009).

As estratégias funcionais, que são definidas após as estratégias competitivas, estão na atuação de três grandes grupos funcionais, como *marketing*, produção e finanças. Segundo Tubino (2009), as estratégias funcionais visam definir claramente os critérios de desempenho, seguindo as orientações das estratégias competitivas. Os critérios de

desempenho são agrupados em cinco áreas: custo, qualidade, prazo de entrega, flexibilidade e ético-social. Busca-se, em geral, produzir com o custo mais baixo possível, sempre olhando os custos dos concorrentes e a qualidade, para que possam se diferenciar dos produtos que disputam o mercado. Com relação ao prazo de entrega, procura-se entregar seus pedidos no momento e local exatos, atendendo totalmente a essa expectativa do cliente e observando a atuação do concorrente. É preciso ter a capacidade de atender aos clientes nas variações das demandas de forma ágil e rápida, determinando a flexibilidade e, por fim, produzindo de modo ético, com respeito às leis e aos interesses da sociedade (TUBINO, 2009).

Como estratégia de produção, a organização poderá priorizar um ou mais itens de desempenho – por exemplo, preferir entregar no prazo a ter o menor custo ou a melhor qualidade e não ter o menor custo. A definição dessa priorização deverá ser definida baseada nas necessidades dos clientes (TUBINO, 2009).

Nas primeiras décadas da segunda revolução industrial, a produção era considerada uma área problemática, que era suportada por setores nobres, mas as empresas manufatureiras não podiam deixar de fazer seus produtos. Enquanto o setor de vendas queria lotes pequenos, a produção insistia em lotes grandes; enquanto a engenharia queria desenvolver novos produtos, a produção sempre solicitava alterações para conseguir produzir; enquanto a equipe de vendas queria entregar no prazo, a produção teimava em atrasar os pedidos. As empresas eram obrigadas a manter estoques altos para atender à produção, o que incomodava a área financeira, que queria baixo investimento em matérias-primas e produtos acabados nas prateleiras. Nas últimas décadas, houve uma mudança radical na administração da produção, que teve uma evolução muito superior às demais áreas na administração das empresas (CORREA; GIANESI, 1993). Principalmente após o início da Globalização, quando a concorrência passou a ser com empresas de todo mundo, e não só com as locais, houve a necessidade de uma gestão eficiente e eficaz das empresas, sem a qual havia a possibilidade de não sobreviverem num mercado tão competitivo.

Para Correa e Ganesi (1993), três fatores tornaram a administração estratégica da produção fundamental na sobrevivência das empresas. A primeira é a competitividade, que, com o aumento da produtividade de empresas em países desenvolvidos e as quedas nas barreiras comerciais geradas pela pressão da globalização, está agora em todos os mercados. A segunda é o surgimento de novas tecnologias de processo e gestão da manufatura, que podem reduzir os custos ou melhorar a qualidade radicalmente e praticamente inviabilizar a produção do concorrente. E a terceira e última é ter o entendimento de que a produção possui papel estratégico nas empresas e que, sem essa

valorização, pode não haver futuro, pois concorrentes estão trabalhando muito nessa área. Nesse aspecto, para melhor eficiência do planejamento da produção, há que se considerar a previsão de demanda para garantir o atendimento preciso aos clientes, evitando os desperdícios, como estoques de produtos acabados parados, ou, em um pior caso, a possibilidade de não atender a uma demanda pré-existente por falta de matérias-primas.



Para saber mais sobre Administração Estratégica, sugerimos que você, aluno, acesse o seguinte link: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/189607/mod_resource/content/1/7_Aula_planoestrategia_2014.pdf>.

CAPÍTULO 3

Processos de gestão na indústria farmacêutica

Todas as organizações enfrentam o desafio estratégico da obtenção de lucros sustentáveis e crescimento e estão notando que para encarar esse desafio, é preciso que suas organizações internas estejam integradas no alto nível. Nos anos recentes, diversas empresas priorizaram a criação de subunidades autônomas e estimularam a divisão da empresa em unidades pequenas e empreendedoras. Algumas conseguiram benefícios significativos nessa reestruturação: livres dos controles burocráticos centrais, as unidades autônomas aumentaram a velocidade e a qualidade das respostas às demandas do mercado e aceleraram o processo de inovação.

As empresas conseguiram a redução de custos administrativos e tornaram o processo de governança interno mais transparente e disciplinado. Todavia, a ampliação da autonomia das subunidades também acarretou fragmentação e deficiências na integração interna. As empresas, nos dias atuais, estão preocupadas em como manter a integridade organizacional e a coesão entre as subunidades sem precisar recriar um sistema de planejamento, comando e controle central, ou seja, precisam integrar sem a perda da autonomia e da flexibilidade.

Para as empresas se adaptarem a esse novo contexto, é necessária a aquisição de ferramentas tecnológicas novas, como os sistemas integrados de gestão (*Enterprise Resource Planning*), que possam viabilizar e dar suporte a essas mudanças organizacionais.

Sistema integrado de gestão (ERP)

Os sistemas integrados de gestão (ERP) surgiram para atender a essa demanda. Cumprem o papel de suporte tecnológico à adoção de padrões de troca de dados, possibilitando a implantação de processos amplos e interfuncionais nas organizações. Entretanto, uma organização integrada mediante a gestão eficiente de processos é muito mais do que somente a adoção de sistemas de informação dirigidos a processos. Inclui a adoção de um estilo de gestão que incentive o compartilhamento de informações e o aprendizado, de uma estrutura organizacional que reflita a gestão de processos, entre outros aspectos. A introdução de um sistema de informação é apenas uma parte da transformação necessária.

Gestão da cadeia de suprimentos

Embora tenha suas origens nos anos de 1980, o conhecimento sobre a gestão da cadeia de suprimentos ainda está em discussão no âmbito acadêmico. Seu desenvolvimento teórico está em um nível inicial, tendo pesquisas publicadas que adotam distintas definições com pouca coerência (HARLAND *et al.*, 2006).

O distanciamento entre os estudos acadêmicos e a prática é ainda maior. Gibson, Mentzer e Cook (2005), por exemplo, realizaram uma pesquisa com os associados do *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP), buscando examinar a gestão da cadeia de suprimentos, de acordo com a percepção dos gestores de empresas. Uma vez que a maioria dos associados identifica o caráter estratégico da prática, o estudo ressalta a discrepância entre os modelos e suas aplicações. Segundo Wisner, Leong e Tan (2005), a gestão da cadeia de suprimentos nasceu da necessidade das empresas melhorarem seus custos e otimizarem seus processos, após a implantação de práticas como *Total Quality Management* (TQM) e *Just-in-Time* (JIT), e resultou da evolução de duas áreas internas às empresas: compras e logística. Essas duas funções passaram a ter participação estratégica nas empresas, e as empresas adotaram uma visão sistêmica e holística, na qual formam alianças com seus parceiros para obter melhores resultados (TAN, 2001).

A gestão da cadeia de suprimentos pressupõe parcerias entre membros de uma mesma cadeia com o objetivo de melhoria de desempenho individual e para a cadeia como um todo. O aumento dos resultados é causado pela integração de processos para cada elo, relacionamentos de longo prazo com base na confiança e comprometimento, colaboração entre empresas em decisões e projetos estratégicos e compartilhamento de informação (MENTZER *et al.*, 2001). As empresas adotam, então, uma visão estratégica e sistêmica, cuja cadeia é a unidade de análise. Uma das discussões atuais sobre SCM está relacionada ao enfoque que deve ser dado na sua implantação.

Lambert, Cooper e Pagh (1998) afirmaram que a integração acontece no nível da atividade a ser executada, sendo oito os processos gerenciais ressaltados:

- » relacionamento com cliente: identifica as necessidades e especificações de cada cliente e mede sua lucratividade;
- » serviço ao cliente: tem a função de atendimento do cliente e é seu canal direto de comunicação com a empresa;
- » gestão da demanda: responde por equilibrar a demanda e a capacidade da empresa;

- » atendimento de pedidos: gerenciamento dos pedidos recebidos e acompanhamento das datas e entregas;
- » gerência do fluxo de manufatura: visa à garantia de flexibilidade, custos e qualidade de produtos;
- » compras: responde pelo relacionamento com fornecedores e a entrega de insumos;
- » desenvolvimento de produto e vendas: operacionalização das necessidades dos clientes, seleção dos materiais e fornecedores para um produto novo e desenvolvimento de tecnologia de produção, assim como projetos da estrutura de suprimentos de produto;
- » logística reversa: destinação dos produtos retornados e identificação das oportunidades de melhorias.

De acordo com o citado acima, as empresas se unem para administrar e acompanhar os processos em conjunto, abrangendo várias áreas funcionais e alto fluxo de informação ao longo da rede. O foco está na atividade a ser controlada. Assim, a ação de cada empresa é dependente da cadeia em que está introduzida e da importância da atividade específica que realiza nessa cadeia (LAMBERT; COOPER; PAGH, 1998). Por outro lado, Mentzer *et al.* (2001) apresentam SCM como uma visão estratégica e sistêmica, implantada por duas ou mais empresas, cujo foco é interfuncional e estratégico. Com essa perspectiva, a gestão da cadeia só é inserida quando as organizações a consideram como parte de sua estratégia e dedicam esforços gerais da empresa. A abordagem ressalta a coordenação interorganizacional para administração de forma conjunta das atividades, como fator de vantagem competitiva, requerendo que todos os processos estejam, de alguma forma, integrados (MENTZER *et al.*, 2001).

Gestão de qualidade

A gestão de qualidade é o que determina e faz a aplicação da Política de Medicamentos, isto é, as intenções e direções globais relacionadas à qualidade, de modo formal expressa e autorizada pelos responsáveis da empresa. Dentro do processo de fabricação e de fornecimento de medicamentos, a gestão da qualidade é um instrumento com a função de fiscalizar e normalizar, servindo como base para uma infraestrutura apropriada ou para o sistema da qualidade, englobando, de modo geral, a estrutura da organização, os processos, os procedimentos e os recursos da empresa.

Os fundamentos de boas práticas de fabricação, de garantia e de controle de qualidade são aspectos que estão relacionados dentro da gestão de qualidade e são fundamentais para a fabricação de produtos com qualidade. A garantia da qualidade é referente às providências tomadas em sua totalidade, buscando assegurar que os medicamentos estejam dentro dos padrões decretados pelos órgãos reguladores e pelo mercado, para que possam ser empregados para o consumo da sociedade.

Um sistema de garantia da qualidade, para ser devidamente usado na fabricação de medicamentos, deve garantir que:

- » medicamentos sejam projetados e desenvolvidos considerando a necessidade do cumprimento das BPFs;
- » operações de produção e controle sejam especificadas por escrito e que as exigências de BPF sejam cumpridas;
- » responsabilidades gerenciais sejam especificadas na descrição de cargos e funções;
- » providências sejam tomadas em relação a fabricação, suprimento e emprego correto das matérias-primas;
- » controle de matérias-primas, produtos intermediários, produtos a granel, calibrações e validações sejam realizados;
- » produto acabado seja processado e conferido de forma correta, em conformidade com os procedimentos já definidos;
- » medicamentos não sejam expedidos sem passar pelas pessoas autorizadas e tenham certificado que cada lote de produção foi produzido e controlado em conformidade com os registros e outros fatores importantes da produção, controle e liberação de produtos farmacêuticos;
- » instruções sejam fornecidas e as providências necessárias para assegurar que os medicamentos sejam armazenados, transportados, distribuídos e manuseados sejam tomadas, de modo que seja mantida a qualidade durante o prazo de validade.

Além disso, deve garantir que:

- » tenha um procedimento de autoinspeção e auditoria interna de qualidade que faça a avaliação regular da efetividade e a aplicação do Sistema de Garantia da Qualidade;
- » haja um sistema de treinamento e capacitação contínua dos funcionários de toda a indústria;
- » seja realizada a classificação dos fornecedores de matérias-primas, de acordo com os critérios de qualidade;
- » exista um sistema de rastreamento dos produtos desviados danificados ou falsificados;
- » haja um controle dos pontos de coleta e tratamento de ar e água;
- » revisem-se os Procedimentos Operacionais Padrão todas as vezes que houver alteração nos projetos;
- » haja um canal de parceria dos registros dos produtos aprovados e em processo de aprovação na Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa).

Gestão de estoque e materiais

O segmento de distribuição de medicamentos vem apresentando grandes avanços na área de logística, pois, nos anos recentes, a acirrada competitividade permitiu o emprego de técnicas novas de gestão de estoque, automação de depósitos e, sobretudo, a busca de uma visão integrada dos negócios, abrangendo todas as atividades da cadeia de valor, isto é, da matéria-prima ao consumo final (ALMEIDA, 2011).

O armazenamento de mercadorias prevendo seu uso futuro exige investimento por parte da organização. A correta sincronização entre a oferta e a demanda seria o ideal, de modo a tornar a manutenção de estoques não necessária. Contudo, como é impossível conhecer precisamente a demanda que está por vir e como nem sempre há a disponibilidade dos suprimentos, deve-se haver a acumulação de estoque para garantir a disponibilidade de mercadorias, minimizando os custos totais de produção e distribuição. A gestão de estoques é necessária para que não haja altos custos com os produtos, visando diminuir o capital total investido pela empresa no estoque, além de impedir que os produtos faltem para o cliente (DIAS, 2006).

A gestão de materiais está diretamente ligada à gestão de estoque, na procura da redução das necessidades dos estoques, otimizando-os e reduzindo o capital de giro aplicado, reduzindo o investimento total. Assim, a gestão de materiais busca a melhoria de todas as atividades para uma boa aquisição, armazenamento e distribuição (SILVEIRA *et al.*, 2011).

Gestão do conhecimento e tecnologia

Para o desenvolvimento e aplicação das inovações, as empresas precisam captar conhecimento, uma vez que este possibilita a obtenção de vantagem na competitividade (CUNHA; YOKOMIZO; CAPELLINI, 2009). Nos dias atuais, as empresas atuam sob uma dinâmica complexa fundamentada em inovação, informação, difusão e consolidação das redes de computadores, bem como da tecnologia da informação. O novo paradigma tecnoeconômico faz com que as informações disponíveis sejam ressaltantes para a inovação e para a criação de conhecimento.

Uma organização tem como uma das suas principais matérias-primas a informação, e, se comparável à energia que alimenta um sistema produtivo, o conhecimento funciona agregando valor para organização, baseando-se em tais informações. Na procura por ser diferente diante de cenários econômicos cada vez mais competitivos, as organizações vêm fazendo uso do conhecimento como principal recurso para alcançar seus objetivos, o que chamou a atenção das empresas com relação à importância desse ativo intangível. O estímulo à criação de conhecimento, bem como seu desenvolvimento nos sistemas produtivos, resulta em empresas que desenvolvem em seus funcionários as competências organizacionais que são essenciais para sustentação e crescimento mercado interno (SANTOS; AMATO NETO, 2008).

O conhecimento organizacional é classificado em: explícito e tácito. O conhecimento organizacional explícito está na linguagem escrita formal, como manuais, especificações, procedimentos, gráficos, tabelas, figuras, diagramas, entre outros. Esse tipo de conhecimento é codificado de modo fácil, transmitido entre os indivíduos mediante diversos meios formais dentro das organizações, tanto em papel quanto de maneira eletrônica (CARDOSO; MACHADO, 2008).

A interação entre os dois tipos de conhecimento ocorre por meio de quatro principais processos:

- » a transformação do conhecimento tácito em conhecimento explícito, podendo ser expresso na forma de conceitos, analogias, modelos, hipóteses, descrição por meio de planilhas ou textos;
- » a combinação, que trata somente da interação entre diferentes conhecimentos explícitos;
- » a incorporação do conhecimento explícito no tácito;
- » a socialização, que, em oposto à combinação, refere-se somente de interações entre o conhecimento tácito, englobando trocas de experiências, modelos mentais e habilidades técnicas compartilhadas, e que, de modo geral, ocorre quando há muitos diálogos e comunicação direta boa dentro de uma equipe de trabalho.

É importante notar que cada tipo de conhecimento necessita de uma forma distinta de transmissão: por serem formais, os explícitos não necessitam de muito contato pessoal e direto entre o emissor e o receptor do conhecimento; já os conhecimentos tácitos necessitam de maior proximidade do receptor e emissor para que sejam efetivas sua transferência e sua interação. Os processos de interação do conhecimento ocorrem de forma contínua e passam várias vezes sob as mesmas interações, de forma que uma espiral é formada e serve de apoio para análise e entendimento dos mais diversos modos de criação e disseminação do conhecimento (SILVA, 2004).

A gestão do conhecimento pode ser dividida em duas grandes áreas de conhecimento:

- » a função da gestão de pessoas, para buscar entender o processo de criação e disseminação de conhecimento tácito;
- » a gestão da informação ligada às áreas de tecnologia e ciência da informação, para o desenvolvimento da base de conhecimento codificado.

Gestão de inovação

Jensen *et al.* (2007) definiram duas formas distintas de inovação: a) Ciência, Tecnologia e Inovação, ou *Science, Technology and Innovation* (STI), tem como base a produção e uso do conhecimento técnico e científico codificado. São exemplos de STI: departamento de P&D nas empresas, parcerias com universidades e institutos de pesquisa; b) Fazendo, Usando e Interagindo, ou *Doing, Using and Interacting* (DUI), é um processo informal com base na experiência em grupo e conhecimento prático. São exemplos de DUI: práticas

de treinamento no trabalho, ou treinamento *on-the-job*, grupos de trabalho ad hoc, times de projeto, rotação de trabalho ou tarefa, ou *job and task rotation*. Os autores demonstraram que as empresas que utilizam algum modelo de inovação obtiveram resultados superiores às aquelas que não possuíam. É importante ressaltar que aquelas que utilizam os dois modelos combinados conseguem obter resultados ainda maiores.

Independentemente da forma como a empresa inova, a inovação deve ser visualizada como um processo. Com base nisso, Hansen e Birkinshaw (2007) sugeriram uma cadeia de valor da inovação, proporcionando ao executivo uma visão geral do processo, ou seja, do início ao fim. A principal etapa compreende:

- a. a geração de ideias internas, entre unidades e externa;
- b. a conversão, incluindo seleção de investimentos e desenvolvimento até alcançar os primeiros resultados;
- c. a difusão e disseminação do conhecimento por meio da organização.

A partir do trabalho de Davila *et al.* (2006), destacou-se as regras da inovação:

- a. liderança sólida para definir a estratégia de inovação, organizar agendas inovadoras e incentivar a criação de valor com significado real;
- b. ela deve fazer parte da mentalidade de negócios da empresa;
- c. ela deve estar alinhada com a estratégia de negócios da empresa;
- d. estabelecer um equilíbrio entre criatividade e captação de valor;
- e. neutralizar os anticorpos organizacionais capazes de minar boas ideias pelo simples fato de serem diferentes da rotina;
- f. estabelecer redes de inovação (internas e externas);
- g. corrigir os indicadores e as recompensas, buscando tornar a inovação gerenciável e produzir a conduta apropriada.



Caro estudante, nesta unidade você estudou sobre alguns conceitos de gestão na indústria farmacêutica. Com isso, sugerimos que consulte o texto “Como garantir uma boa gestão na indústria farmacêutica”, disponível em: <<http://blog.procenge.com.br/como-garantir-uma-boagestao-na-industria-farmaceutica/>>.

CAPÍTULO 1

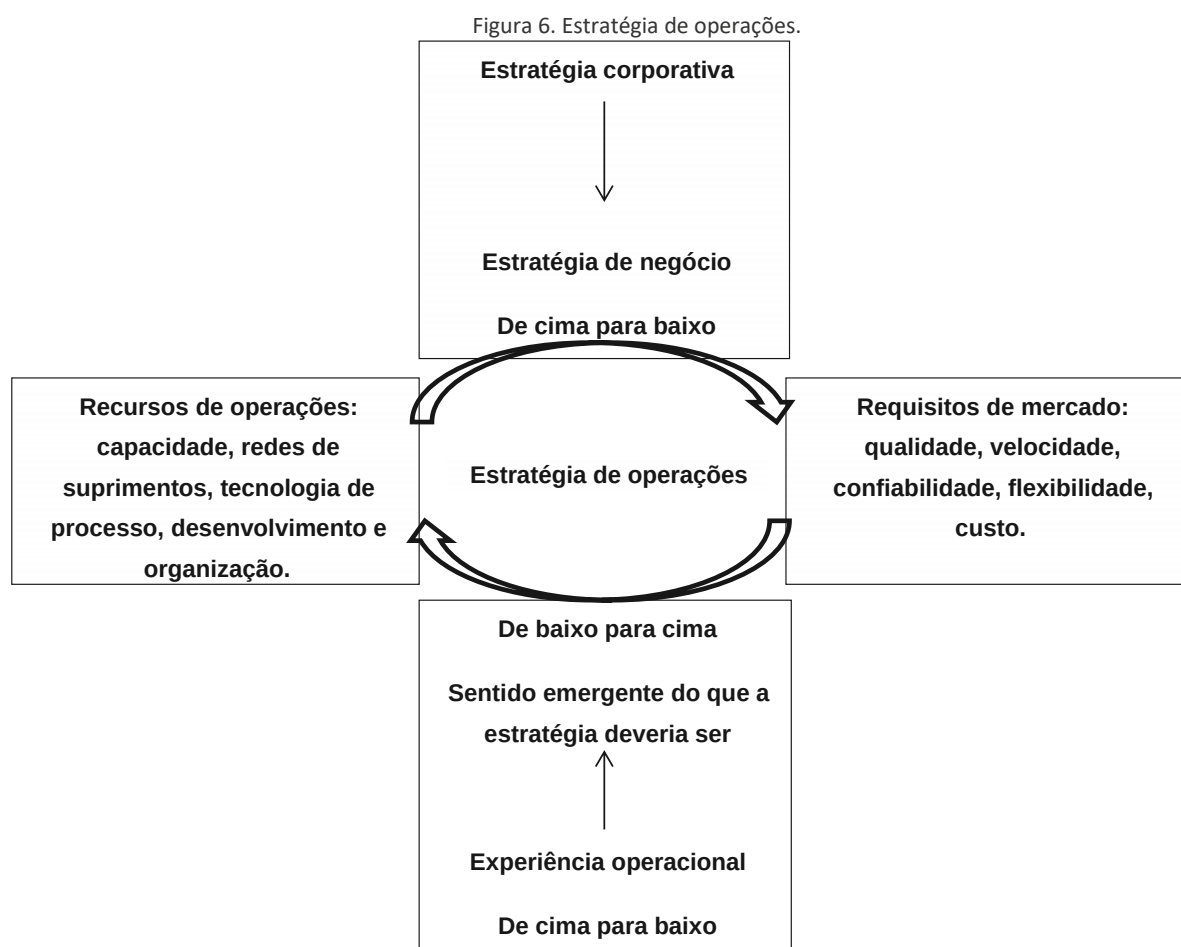
Introdução à estratégia de operações

A gestão de operações trata de todas as atividades relacionadas à entrega de produtos e serviços, desde a compra dos materiais, o processo de transformação até a etapa de distribuição (HAYES *et al.*, 2008). Essas etapas podem ser ilustradas como um processo de transformação, no qual as entradas (*inputs*) são os diversos recursos materiais necessários para a produção, passando posteriormente pelo processo de transformação que, finalmente, entrega saídas (*outputs*), que são os produtos e serviços demandados pelos clientes. O processo de transformação pode ter uma estrutura simples, como os encontrados em pequenas organizações, padarias, oficinas mecânicas e consultórios médicos, e também podem ser extremamente complexos, como os encontrados em redes de *fast food*, varejistas e montadoras.

É nesse momento que a organização necessita de uma estratégia de operações, em que questões como ambiente competitivo, desenvolvimento a longo prazo, processos e recursos de produção devem ser analisadas e geridas a fim de se alcançar vantagens sustentáveis e competitivas. Portanto, a estratégia de operações tem o papel de definir todas as decisões e atividades relacionadas com as operações de produção, que visam trazer vantagens e melhores formas de se alcançar os objetivos gerais da organização (SLACK *et al.*, 2015).

“Operações” é a atividade de gerenciamento de recursos e processos que produz e entrega mercadorias e serviços. Toda organização, não importa de qual setor seja, tem uma função de operações (mesmo se ela não for chamada por esse nome) porque toda organização produz alguma mistura de mercadorias e serviços. Todas as operações transformam entradas de recursos em saídas de produtos e serviços. Isso é chamado de modelo de operações “entrada-transformação-saída”. Algumas entradas de recurso são realmente alteradas ou “transformadas” (normalmente uma combinação de materiais físicos,

informação e clientes). Assim, predominantemente, uma fábrica de televisores processa materiais, uma empresa de contabilidade processa informação, enquanto m teatro processa clientes. Outras entradas de recursos fazem a transformação. Essas são, normalmente, classificadas como instalações físicas (prédios, máquinas, equipamentos, computadores etc.) e recursos humanos (equipe) que opera, suporta e gerencia os processos. A maioria das operações produz produtos e serviços. Mas algumas, tais como uma fundição de alumínio, produzem principalmente produtos – o serviço é periférico. Outras, como uma clínica de psicoterapia, produzem serviços puros (figura 6).



Fonte: Adaptada de Slack *et al.* (2015).

Três níveis de entrada-transformação-saída

O gerenciamento de operações faz uso do modelo entrada-transformação-saída para que os negócios em três níveis sejam avaliados. O nível mais óbvio é aquele do próprio negócio, isto é, a função de operações do negócio. Qualquer operação pode também ser visualizada como parte de uma grande rede de operações. Haverá operações que suprem a rede com os produtos e serviços de que ela precisa para fazer seus próprios produtos e

serviços. E, a menos que trate diretamente com o consumidor final, a operação suprirá clientes que podem suprir seus próprios clientes. Além disso, qualquer operação pode ter vários fornecedores, vários clientes e pode competir com outras operações que produzem serviços semelhantes àqueles que ela mesma produz. Esse conjunto de operações é chamado de rede de suprimentos. Além disso, dentro da operação existirá uma rede de processos. E, dentro de cada processo, existirá uma “rede” de recursos individuais (tecnologia e pessoas). Em cada nível de análise, gerentes de operações devem entender as competências de cada elemento e a relação entre eles. Essa ideia é chamada de hierarquia de operações.

Por meio do gerenciamento de seus recursos e de suas redes em todos os níveis, o gerenciamento de operações pode contribuir para o sucesso de qualquer organização, fornecendo o que o negócio necessita para sobreviver e prosperar (margens mais altas, inovação de produtos, competências únicas etc.), satisfazendo seus clientes. Ele faz isso por meio de quatro objetivos gerais:

- » Pode reduzir o custo de produzir produtos e serviços sendo eficiente na transformação das entradas em saídas.
- » Pode aumentar a receita aumentando a satisfação do cliente por meio da capacidade de fornecer excepcional qualidade, responsividade, confiabilidade e flexibilidade.
- » Pode reduzir o investimento (capital empregado) necessário para produzir o tipo e a quantidade de produtos e serviços requeridos. O gerenciamento de operações pode fazer isso aumentando a capacidade efetiva da operação e sendo inovador no uso dos recursos físicos.
- » Pode formar a base para inovação futura, construindo uma base sólida de competências, habilidades e conhecimento de operações dentro do negócio.

A estratégia de operações está mais relacionada com o processo de transformação total do que com processos individuais, isto é, com o negócio como um todo. Está relacionada com a forma como o ambiente competitivo está se modificando e com o que a operação tem de realizar para atender a desafios atuais e futuros. Está também relacionada com o desenvolvimento a longo prazo de seus processos e recursos de operações de modo que eles possam fornecer a base para uma vantagem sustentável.

Se um negócio não analisa totalmente o impacto estratégico que um gerenciamento eficaz de processos e operações pode ter, está perdendo uma oportunidade. Talvez, de modo

mais significativo, muitos dos negócios que parecem ser de modo competitivo bem-sucedido e que parecem estar sustentando o seu sucesso por mais tempo possuem uma estratégia de operações clara.

As perspectivas sobre estratégia de operações

Visto que não existe consenso sobre o que significa “estratégia”, não existe um acordo universal de como a “estratégia de operações” deveria ser descrita. Diferentes autores têm distintas visões e definições do assunto. Entre elas, surgem quatro “perspectivas”:

1. Estratégia de operações é o reflexo, de cima para baixo, do que todo o negócio ou grupo quer realizar: com certeza, a visão tradicional da estratégia de operações a define como uma das diversas estratégias funcionais que são governadas por decisões tomadas no topo da organização e que estabelecem a direção estratégica global da organização. Essa é a abordagem “de cima para baixo” para o gerenciamento de operações. Assim, se a organização é uma corporação grande e diversificada, sua estratégia de operações consistirá em decisões sobre o tipo de negócios com os quais o grupo quer se envolver, em que parte do mundo ele quer operar, quais negócios adquirir e de quais se distanciar, como alocar o dinheiro entre seus vários negócios.
2. Estratégia de operações é uma atividade de baixo para cima em que melhorias em operações de forma cumulativa montam a estratégia, a qual surge com o passar do tempo a partir de experiências reais. Às vezes, as empresas seguem uma direção estratégica particular porque a experiência continua no nível operacional, no fornecimento de produtos e na prestação de serviços a clientes. Nem sempre há o exame de estratégias alternativas no nível mais alto e a escolha por aquela que fornece o melhor caminho a seguir. Em vez disso, surge um consenso, frequentemente do nível operacional da organização. A tomada de decisão estratégica no nível mais alto, se ocorrer, pode simplesmente confirmar o consenso e fornecer os recursos para aplicá-lo de forma eficaz. Essa ideia da estratégia sendo formada pela experiência com o passar do tempo é, às vezes, chamada de conceito das estratégias emergentes.
3. Estratégia de operações é a tradução dos requisitos de mercado em decisões de operações: a posição de mercado é influenciada (entre outras coisas)

pelos clientes e concorrentes. Ambos, por sua vez, influenciam a estratégia de operações.

4. Estratégia de operações explora as competências dos recursos de operações em mercados escolhidos: a maioria dos recursos das maiores organizações está dentro de sua função de operações.

Nenhuma dessas quatro perspectivas sozinha expressa totalmente o que é a estratégia de operações, mas juntas elas dão uma ideia das pressões que formarão o conteúdo da estratégia.

Estratégias de decisão e tipos de estratégias de operações

Para uma empresa tomar uma decisão ou fazer uma escolha em quais dimensões competir, deve orientar suas decisões e ações internas de forma coerente, para que, ao longo do tempo, essas ações e decisões em conjunto transformem-se em uma fonte de vantagem competitiva. Para facilitar o entendimento, essas decisões foram classificadas em nove categorias (PAIVA, CARVALHO, FENSTERSEIFER, 2004):

1. Capacidade: relaciona-se às decisões a respeito da capacidade das instalações, determinada pela planta, equipamentos e recursos humanos.
2. Instalações: relaciona-se às decisões sobre localização geográfica, tipo de processo produtivo, volume e ciclo de vida.
3. Equipamentos e processos tecnológicos: envolve desde os equipamentos utilizados até os processos de produção.
4. Integração vertical e relação com fornecedores: relaciona-se à decisão entre produzir ou comprar.
5. Recursos Humanos: atua sobre as políticas existentes, para que se mantenham funcionários motivados, trabalhando em equipe e buscando atingir as metas da empresa.
6. Qualidade: o gerenciamento dessa categoria deve especificar como as responsabilidades serão alocadas, que ferramentas de decisão serão utilizadas e quais sistemas de treinamento serão instituídos.

7. Escopo e novos produtos: envolve o gerenciamento e a introdução de novos produtos e de operações a partir da amplitude da mistura de produtos e processos empregados.
8. Sistemas gerenciais: relaciona-se ao suporte às decisões tomadas e sua implementação. Requer planejamento, sistemas de controle, políticas operacionais e linhas de autoridade e responsabilidade.
9. Relação interfuncional: envolve sistemas gerenciais e mecanismos que possibilitam a interação com as diversas áreas funcionais.

Outro importante reforço foi de Wheelwright (1984), que relata a existência de uma hierarquia das estratégias formada por três níveis estratégicos: de negócio, corporativo e funcional, sendo necessário que as decisões nesses níveis estratégicos tenham coerência entre si para a obtenção de um desempenho competitivo satisfatório da empresa.

- » A estratégia corporativa está relacionada à corporação, objetivando gerenciar os recursos corporativos para organizar os diversos objetivos estratégicos da corporação e definir os negócios nos quais a empresa vai fazer participação.
- » A estratégia de negócios está relacionada aos limites de cada negócio, buscando novas oportunidades, analisando as mudanças ambientais e esclarecendo como a empresa manterá uma vantagem competitiva em cada um deles.
- » A estratégia funcional está relacionada com determinada função que dará suporte à vantagem competitiva desejada pela estratégia de negócios e como ela complementará as outras estratégias funcionais.

O estudo de estratégia de operações divide-se em dois:

1. conteúdo da estratégia, que está relacionado no que vai ser decidido;
2. processo da estratégia, que está relacionado em como tais decisões serão obtidas dentro das organizações, envolvendo as etapas de formulação e implementação da estratégia (VOSS, 1995).

Conteúdo da estratégia de operações

O conteúdo da estratégia de produção é conceituado em termos de áreas de decisão, e prioridades competitivas. Após a conceituação das estratégias competitivas da empresa, busca-se, então, a determinação das prioridades competitivas, que devem ser enfatizadas pela função produção e com posterior fase de tomada de decisão, na qual se objetiva a definição de como essa função dará suporte às prioridades competitivas priorizadas, a partir de um conjunto de decisões coerente.

Segundo Porter (2004), em geral as empresas podem adotar três tipos de estratégias competitivas genéricas:

- » Liderança no custo total: busca alcançar a liderança no custo total em uma indústria mediante um conjunto de políticas funcionais orientadas para esse objetivo básico.
- » Diferenciação: diferencia o produto ou o serviço proporcionado pela empresa, criando algo que seja considerado único no campo industrial.
- » Enfoque: busca focar em um dado grupo comprador, um segmento da linha de produtos ou um mercado geográfico.

As prioridades competitivas comumente citadas na literatura são: serviço, custo, qualidade, flexibilidade e desempenho de entregas. A existência de *trade-offs* entre as prioridades competitivas é um tema debatido por diferentes autores, na medida em que a administração dos *trade-offs* existentes é o embasamento para compor uma estratégia ajustada às condições competitivas da empresa.

Os âmbitos de decisão, que objetivam cooperar para o alcance das prioridades competitivas almejadas, podem ser agrupados, segundo a sua natureza, em dois grandes grupos (HAYES *et al.*, 2008):

- » estruturais, que se caracterizam por serem decisões onerosas, de longo prazo e de difícil reversão;
- » infraestruturais, que se caracterizam por serem decisões menos onerosas, de prazos mais curtos e de fácil mobilização.



Caro estudante, mantenha-se atento à leitura desse capítulo, que tratou de assuntos de extrema relevância para entendimentos futuros. Como sugestão de leitura, consulte o *link* a seguir, que aborda um pouco mais sobre estratégias de operações: <http://inf.aedb.br/seget/artigos06/619_ModeloSeget_Pfifer.pdf>.

CAPÍTULO 2

Sistemas de produção

Conforme Chiavenato (1983) e Ballesterio-Alvarez (1990), um sistema é um conjunto de partes (ou elementos ou órgãos) interagentes e interdependentes, isto é, inter-relacionados dinamicamente, que formam um todo unificado e que realizam uma atividade para alcançar mais de um objetivo da finalidade do sistema.

Os sistemas são compostos de entradas (*inputs*), processo de transformação, saídas (*outputs*) e de um subsistema de retroalimentação/realimentação/ *feedback* sobre todo o sistema.

Ao se investigar um sistema, deve ocorrer um estabelecimento no qual o sistema a ser considerado seja o foco de estudo, ou seja, uma empresa como um todo; um procedimento; um setor da empresa; o corpo humano; um órgão do corpo humano. Os sistemas são formados de subsistemas e são constituintes de um sistema maior, chamado ambiente, meio ambiente, meio externo, entre outros.

Produção

Muitas são as formas para a definição de produção:

- I. “Criação de bens e serviços capazes de suprir as necessidades econômicas do homem” (AURÉLIO, 1999).
- II. “Ato ou efeito de produzir, criar, gerar, elaborar, realizar” (AURÉLIO).

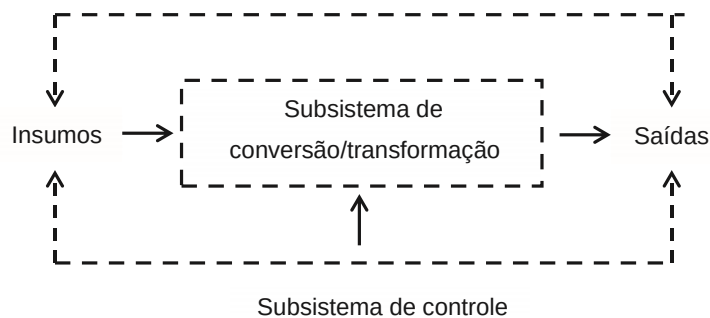
Sistemas de produção

Um sistema de produção pode ser conceituado como um “conjunto de atividades inter-relacionadas englobadas na produção de bens ou de serviços” (MOREIRA, 2000).

Elementos constituintes

Os sistemas de produção transformam insumos (entradas), mediante um subsistema de conversão/transformação, em produtos e/ou serviços, possuindo um subsistema de controle, como se pode visualizar na figura abaixo.

Figura 7. Elementos constituintes da produção.



Fonte: Adaptada de Moreira (2000).

Conforme é possível visualizar na figura 7, os sistemas de produção são compostos de quatro subsistemas, a seguir detalhados, conforme Gaither e Frazier (2002), e Slack, Chambers e Johnston (2009).

Insumos

São recursos que sofrerem uma mudança de modo direto para produtos e que receberam a seguinte classificação:

- a. insumos externos têm a característica informativa e fornecem dados sobre as condições externas ao sistema de produção e informações sobre legislação, política, economia, tecnologia e sociedade;
- b. insumos de mercado também possuem caráter de informação, no entanto fornecem informações sobre: concorrência; produtos; desejos dos clientes;
- c. insumos primários/recursos primários são os insumos que sustentam de modo direto a produção e a entrega de bens e serviços, podendo ser públicos ou não, como os recursos físicos – máquinas, equipamentos, matérias-primas –, recursos energéticos, recursos naturais; recursos humanos; recursos econômico-financeiros.

Subsistema de conversão/modificação

É o subsistema que faz a mudança dos insumos em produtos finais e está ligado às entradas a serem modificadas, podendo ser de:

- » processamento de materiais;
- » processamento de informações;

» processamento de consumidores.

Subsistema de controle

É o conjunto de atividades que busca garantir que programações sejam cumpridas, que padrões sejam estabelecidos, que recursos sejam empregados de modo eficaz e que a qualidade desejada seja alcançada.

Saídas

- » Produtos diretos: são os produtos que originam as receitas do sistema, podendo ser os bens (produtos tangíveis) e os serviços (produtos intangíveis) ou os dois.
- » Produtos indiretos: correspondem a impostos, impacto ambiental, remunerações e salários, desenvolvimento tecnológico, impacto sobre os empregados e a sociedade.

Classificação dos sistemas de produção

A classificação de indústrias pode ser feita em duas categorias, cada uma com subcategoria:

- » Indústrias da categoria contínua: os equipamentos realizam as mesmas operações de modo contínuo, e o material se movimenta com interrupções pequenas entre eles, até chegar ao produto finalizado. Pode se subdividir em:
 - › contínuo puro: é quando há uma só linha de produção; os produtos finais são precisamente iguais e toda a matéria-prima é processada de forma semelhante com a mesma sequência;
 - › contínuo com montagem ou desmontagem: várias linhas de produção contínua que sofrem convergência nos locais de montagem/desmontagem;
 - › contínuo com diferença no final: características de fluxo igual a um ou outro dos subtipos anteriores, contudo o produto final pode apresentar variações.

- » Indústrias intermitentes: os equipamentos apresentam variações frequentes no trabalho, devido à diversidade de produtos fabricados e ao tamanho reduzido do lote de fabricação. Subdividem-se em:
 - › fabricação por encomenda de produtos diferentes: produto conforme as especificações do cliente, e a fabricação se inicia após a venda do produto;
 - › repetida fabricação dos mesmos lotes de produtos: produtos padronizados pelo fabricante, repetição dos lotes de fabricação.

Moreira (2000) definiu duas classificações de sistemas de produção: classificação tradicional e classificação cruzada de Schroeder.

A classificação tradicional está relacionada com o fluxo do produto, agrupando os sistemas de produção em três categorias:

- » Sistemas de produção contínua apresentam sequência linear de fluxo e utilizam produtos padronizados:
 - › produção contínua: um exemplo são as indústrias de processo. Esse tipo de produção tende a ter alto grau de automatização e produção de produtos de alto nível de padronização;
 - › produção em massa: linhas de montagem em larga escala de poucos produtos com grau de diferença de modo relativamente pequeno.
- » Sistemas de produção intermitente:
 - › por lotes: ao final da fabricação de um produto, outros assumem seu lugar nas máquinas, de modo que o primeiro produto só voltará a ser produzido depois de determinado intervalo;
 - › por encomenda: o cliente mostra seu próprio projeto do produto, devendo ser seguidas essas particularizações no momento da fabricação.
- » Sistemas de produção de projetos considerados grandes sem que haja repetição: produto único, não há um fluxo do produto rigoroso, existe

uma sequência preestabelecida de atividades que deve ser seguida, com pouca ou nenhuma repetitividade.

A classificação cruzada de Schroeder considera duas dimensões:

- » Dimensão tipo de fluxo de produto de modo análogo à classificação tradicional.
- » Dimensão tipo de atendimento ao consumidor, na qual existem duas categorias:
 - › Sistemas orientados para estoque: esse tipo de sistema proporciona atendimento rápido e a baixo custo; contudo, a flexibilidade de escolha do consumidor é reduzida. O produto é produzido e armazenado antes da demanda do consumidor.
 - › Sistemas apontados para a encomenda: as operações são conectadas a um cliente de forma particular, discutindo-se prazo de entrega e preço.

Existe também a classificação baseada em como a produção é realizada:

- » fabricado sob medida ou após um pedido;
- » lote ou intermitente (grande variedade, volume diminuído);
- » processo ou contínuo (pouca variedade, grande volume);
- » repetitivo (pouca variedade, grande volume);
- » controlada pelo governo (produtos farmacêuticos, serviços públicos, alimentos).

De maneira mais ampla, as classificações dos sistemas de produção também podem ser realizadas pelo:

- » Grau de padronização:
 - › sistemas que produzem produtos padronizados: apresentam uniformidade em grau alto, sendo produzidos em grande escala;

- › sistemas que produzem produtos após um pedido: desenvolvidos para um cliente em particular.

» Tipo de operação:

- › podem ser processos contínuos (que não podem ser identificados individualmente), processos repetitivos em massa (produção em grande escala de produtos padronizados), processos discretos (que envolvem a produção de bens/serviços que não podem ser isolados, em lotes/unidades, e identificados em relação aos demais).

» Relacionados à natureza do produto:

- › manufatura de bens: quando o produto fabricado é considerado tangível;
- › prestador de serviços: quando o produto produzido é considerado intangível.

Todos os critérios que servem como embasamento para as classificações acima apresentadas se relacionam com os elementos do sistema (entradas, processo de transformação e saídas), de modo que resulta de sua compreensão mais fácil.

Quando o objetivo é selecionar a ferramenta teórica ou procedimento que pode ser utilizado em um dado sistema de produção, algumas classificações se tornam mais importantes do que outras. Contudo, a compreensão global das várias classificações não deixa de ser uma fonte de conhecimento que pode nos levar a assimilar outros conhecimentos com uma facilidade maior.



Caro estudante, sugerimos a leitura de análise de modelos e práticas de planejamento e controle da produção na indústria farmacêutica, disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/prod/v14n1/v14n1a07.pdf>.

CAPÍTULO 3

Medidas de desempenho e ferramentas para tomada de decisão

À medida que a economia se desenvolveu, foram criadas muitas medidas de planejamento e controle, e a análise de desempenho está inserida nestas, influenciando de forma significativa o comportamento de todos os envolvidos nos múltiplos processos no interior de uma organização (LIMA, 2009).

De acordo com Pereira (2001), analisar é o exercício de avaliar e do julgar sobre qualquer situação que ordene um julgamento de fatos, ideias, objetivos, assim como uma tomada de decisão com a finalidade de alcançar uma situação pré-determinada. O autor ainda reporta que avaliação significa o ato de atribuir valor, sendo ele qualitativo ou quantitativo, e desempenho pode ser definido como a realização de uma ou mais atividades.

Segundo Miranda e Silva (2002), três aspectos devem ser avaliados no processo de avaliação de desempenho:

» Por que medir?

» O que medir? »

Como medir?

O questionamento de “por que medir” é respondido com a necessidade das organizações de monitorarem e saberem se as suas ações implementadas estão em conformidade com a missão. É notável que os seres humanos conseguem distinguir com facilidade as diferenças e semelhanças entre os objetos, como formas ou cores. Contudo, essa característica fica limitada quanto maior for a quantidade de objetos a serem considerados.

Semelhante a isso, quando tratamos de dados químicos, com um número alto de conjunto de dados, as técnicas de Reconhecimento de Padrão (RP) utilizam o mesmo conceito, procurando encontrar as similaridades e dissimilaridades no conjunto de amostras que foram submetidas a algum estudo. A pergunta “é possível medir” é referente ao que a informação produzida com a avaliação objetiva obtém de dados, no sentido de auxiliar os usuários na tomada de decisão. Já o “o que medir” é referente à verificação da realização de um objetivo, da estratégia e da missão.

A análise do desempenho possibilita conhecer quem contribuiu para alcançar os objetivos, quando as metas foram alcançadas, quais as principais dificuldades e quais as falhas durante o processo decisório. É definido o objeto de avaliação. O “como medir” refere-se à definição do conjunto de indicadores que irão operacionalizar a avaliação de desempenho, isto é, os indicadores que serão empregados no sistema de diagnóstico do processo decisório organizacional. Nessa perspectiva, os indicadores são uma maneira de mensurar uma situação atual contra um padrão preestabelecido. Os indicadores dão suporte à análise crítica dos resultados, às tomadas de decisão e ao planejamento e controle dos processos da organização (NUINTIN, 2007).

É importante ressaltar que é essencial que os gestores possam ter acesso às informações que admitam estabelecer a ordem de prioridade de consumo dos recursos (físicos, financeiros, humanos e tecnológicos) da empresa, tendo em vista o alcance de seus objetivos estratégicos.

A decisão é definida como o ato de escolher uma entre várias opções com o objetivo de resolver um problema ou responder a alguma oportunidade. Ainda conforme os autores, o processo decisório pode ser definido como o conjunto de etapas ou fases seguidas para efetuar a escolha da alternativa de ação (SANTOS; PONTE, 1998).

Para que o processo decisório consiga alcançar seu objetivo, o tomador de decisão emprega os dados e as informações para a escolha da melhor ou das melhores alternativas depois de conhecida a situação evidenciada pelos indicadores dos modelos de avaliação de desempenho.

A respeito da avaliação de desempenho como suporte ao processo de tomada de decisão, pode-se identificar, na literatura, a existência de modelos gerenciais com várias formulações e interpretações. Iremos abordar o modelo *Balanced Scorecard* (BSC), desenvolvido por Kaplan e Norton, que constitui uma ferramenta para a avaliação de desempenho das organizações.

***Balanced Scorecard* e os mapas estratégicos**

Kaplan e Norton (2000) afirmaram que foi mediante o BSC que as primeiras organizações focalizaram e alinharam suas equipes executivas, unidades de negócio, recursos humanos, tecnologia da informação e recursos financeiros à estratégia da organização.

Por conta disso, tornou-se possível observar a ação das organizações baseando-se em cinco princípios comuns. Esses princípios foram considerados por Kaplan e Norton (2000) como sendo os princípios da organização voltada para a estratégia, sendo:

- » tradução da estratégia em termos operacionais;
- » alinhamento da organização à estratégia;
- » transformação da estratégia em tarefa de todos;
- » conversão da estratégia em processo contínuo;
- » mobilização da mudança por meio da liderança.

Todavia, de acordo com Mosimann e Fischer (1999), para que os resultados globais da empresa possam ser elevados ao máximo, faz-se necessária a existência de um órgão na estrutura empresarial, para administração do sistema e informações econômico-financeiras da empresa, assim como a coordenação dos esforços dos gestores de cada área.

Nesse contexto, os indicadores financeiros e não financeiros propostos no BSC são ajuntados em quatro perspectivas, que estabelecem um diálogo entre os formuladores da estratégia e os *stakeholders* da organização. Com isso, Conforme Herrero Filho (2005), no BSC são identificadas as atividades críticas que geram valor para acionistas, clientes, colaboradores, fornecedores e comunidade. A estrutura do BSC é composta por essas quatro perspectivas. Mediante objetivos, medidas, metas e iniciativas, o BSC procura trabalhar com a visão e a estratégia da empresa sob a ótica dessas perspectivas.

Na ordem abaixo, apresenta-se de forma separada cada uma das perspectivas, segundo Kaplan e Norton (1997):

- » Perspectiva financeira: as medidas financeiras de desempenho trazem uma indicação se a estratégia de uma empresa, sua implementação e execução estão contribuindo para a melhoria dos resultados financeiros.
- » Perspectiva dos clientes: essa perspectiva possibilita que os executivos identifiquem quais tipos de clientes e mercados, nos quais a empresa pode competir, além das medidas do desempenho da unidade nesses segmentos alvo.

- » Perspectiva dos processos internos: os objetivos dos processos internos no BSC destacam os processos, dos quais vários talvez não estejam sendo executados atualmente, que são absolutamente críticos para o sucesso da estratégia.
- » Perspectiva do aprendizado e crescimento: essa perspectiva visa à identificação da infraestrutura necessária, que resulta em crescimento e melhoria, mediante investimento nos colaboradores, no aperfeiçoamento da tecnologia da informação e dos sistemas, e no alinhamento dos procedimentos e das rotinas organizacionais.

Segundo Kaplan e Norton (2004), os mapas estratégicos fornecem ferramentas para comunicar estratégias, processos e sistemas que ajudarão na implementação da estratégia da organização, além de mostrar as relações de causa e efeito, representadas nas quatro perspectivas, pelas quais certas decisões produzem os resultados aspirados.

O mapa evidencia como o trabalho e as atividades estão alinhados com os objetivos primordiais da organização. A divulgação da estratégia, das metas e a relação de causas/efeitos nas quatro perspectivas do BSC orienta o desempenho da organização e cria caminhos novos para conversão de iniciativas e recursos em melhores resultados.

A construção do mapa estratégico começa, geralmente, com a estratégia financeira que aumentará o valor para os acionistas (KAPLAN; NORTON, 2004). Na perspectiva financeira, encontram-se duas estratégias para aumentar o valor para os acionistas: crescimento da receita e aumento da produtividade. Para a organização diferenciar-se dos concorrentes, atraindo, retendo e aprofundando o relacionamento com seus clientes, a perspectiva do cliente apresenta três diferenciadores: excelência operacional, intimidade com o cliente e liderança do produto.

Conforme Kaplan e Norton (2004), o fundamento do mapa estratégico é a perspectiva de aprendizado e crescimento, pois define as competências e habilidades essenciais, as tecnologias e a cultura organizacional necessárias para suportar a estratégia de negócios da organização.

Os passos para a preparação do mapa estratégico são:

- » identificação da visão e da missão da organização. A visão demonstra a posição na qual a organização quer estar no futuro, e a missão justifica a razão da existência da organização;

- » definição da estratégia para o cumprimento da visão e da missão identificadas;
- » identificação dos objetivos estratégicos para cada perspectiva do BSC, com base na estratégia definida;
- » eleição dos indicadores para cada objetivo estratégico e definição das respectivas metas.

Diante do que foi mencionado, o mapa estratégico permite que os integrantes do processo decisório compreendam e melhorem seu entendimento sobre o negócio da organização, aumentando a percepção como o trabalho deles está ligado à estratégia da organização.

Constantemente, as organizações tomam decisões para melhoria de situações ou manutenção para a sua permanência e crescimento no mercado em que fazem suas atividades. Faz-se a utilização de dados, informações e conhecimento para o processo decisório alcançar os objetivos estabelecidos.



Caro estudante, caso você queira ter uma abordagem mais aprofundada sobre as tomadas de decisão que não foram abordadas aqui, consulte o *link*:

<<https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/5222/3520>>.

CAPÍTULO 1

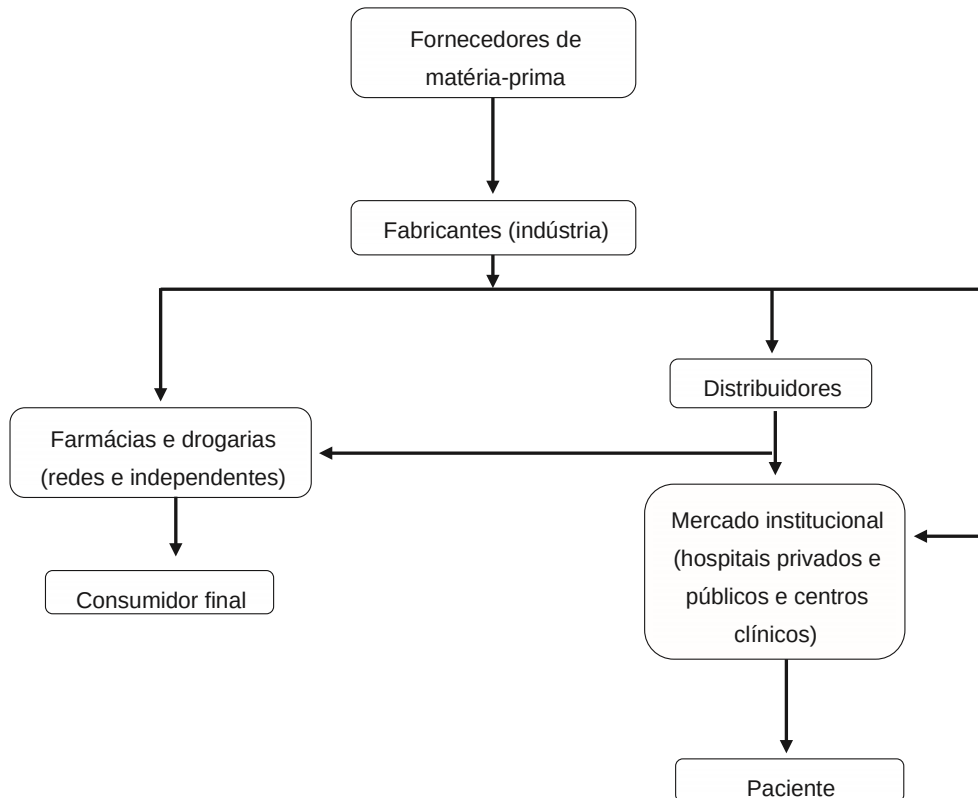
Gestão da cadeia de suprimentos

No ambiente competitivo em que vivemos, o sucesso das empresas não pode ser atribuído somente aos esforços individuais. A aptidão dos administradores em integrarem redes complexas de fornecedores e gerenciarem esses relacionamentos de negócios possibilita a sobrevivência e a competitividade no mercado, adicionando, assim, um valor maior ao consumidor final (LAMBERT; COOPER, 2000).

As empresas não competem como entidades isoladas e autônomas, mas como cadeias produtivas. Todo o processo de agregar valor ao produto, da minimização de custos e da busca da diferença na competitividade pode ser visualizado no decorrer de toda a cadeia produtiva e é dependente de como o fluxo de trabalho e o fluxo de informações são administrados e organizados. As cadeias produtivas são formadas primeiramente pelos fornecedores de matéria-prima, empresas de manufatura, distribuidoras e consumidores. O objetivo da cadeia é a produção, mediante operações entre empresas, de produtos que atendam de modo satisfatório à demanda dos consumidores finais.

Porter (2004) conceitua cadeia de valor como o conjunto de atividades de uma empresa que agregam valor, desde a entrada de matéria-prima até a distribuição de produtos acabados. Esse conceito pode ser empregado para a cadeia produtiva, sendo ainda ampliado para os fornecedores da empresa, os fornecedores dos fornecedores, as várias ligações da cadeia de distribuição, os serviços terceirizados etc. A cadeia produtiva farmacêutica pode ser definida geralmente de acordo com a figura 8. Há quatro elos principais (fornecedores, fabricantes, distribuidores e clientes finais) e algumas segmentações no elo de distribuição.

Figura 8. Cadeia produtiva do setor farmacêutico.



Fonte: Machine e Amaral (1998).

Cadeia de suprimentos

Por definição, a cadeia de suprimentos é um sistema composto de fornecedores de materiais, produtores, distribuidores e clientes integrados por um fluxo de materiais a montante e de informações a jusante.

A gestão dessas múltiplas relações no decorrer da cadeia de suprimentos ganhou popularidade nos estudos acadêmicos e recebeu a denominação de *Supply Chain Management* (SCM), isto é, o gerenciamento da cadeia de suprimentos (LAMBERT; COOPER, 2000).

Nesse contexto, busca-se formar um relacionamento de cooperação entre os membros da cadeia de suprimentos com o aumento da competitividade do canal por completo. Isso acontece a partir de dois princípios fundamentais (BOWERSOX; CLOSS, 2001):

- » a persuasão de que a cooperação irá minimizar os custos, riscos e aperfeiçoar a eficiência dos processos;
- » a busca na diminuição da formação de estoques na cadeia, extinguindo o trabalho que é considerado inútil e duplicado.

A cooperação incluiria as informações compartilhadas (tanto comerciais, quanto estratégicas), admitindo que as empresas fizessem o certo de modo mais rápido e eficiente. Com relação aos estoques, com as permutas de informações e planejamento, as empresas podem abolir ou diminuir o risco de estocagem dos seus produtos. A determinação do estoque deixa de ser preventiva e tradicional e passa a ser por motivos de serviço e econômicos.

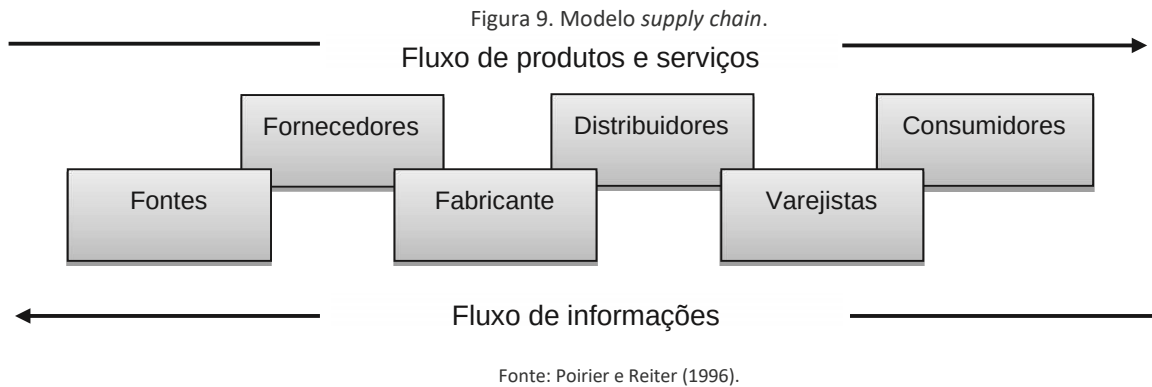
Bowersox e Closs (2001) citam três definições importantes a fim de compreender o funcionamento desses acordos, risco, poder e liderança.

Seguem abaixo a definição de cada um deles:

- » O risco é variável dentro da cadeia, pois algumas empresas dependem mais do sucesso do canal do que outras.
- » As empresas com maior poder relativo possuem a prerrogativa de serem proativas nas iniciativas de cooperação e, simultaneamente, serem receptivas a mudanças. As cadeias de suprimento, tanto quanto as organizações, necessitam de líderes.
- » O papel da liderança na cadeia é garantir que as funções essenciais à integração sejam realizadas e que sejam fundados acordos de absorção e eliminação de funções entre as empresas que fazem do canal. Apesar disso, o sucesso de relacionamentos dentro da cadeia de suprimentos é dependente da superação de múltiplos obstáculos, a não comunicação, o nível baixo de confiança, as mudanças, as diferenças nas culturas das organizações, os sistemas incompatíveis, os formatos de dados incompatíveis, entre outros.

Características da cadeia de suprimentos

Poirier e Reiter (1996) apresentam um modelo de cadeia de suprimentos que demonstra de forma simplificada o fluxo de produtos e serviços e o fluxo inverso de informações. Ele representa de forma genérica e bem didática os *players* de uma cadeia e seus fluxos necessários para a formação de uma organização única com relações de negócios entre várias empresas (figura 9).



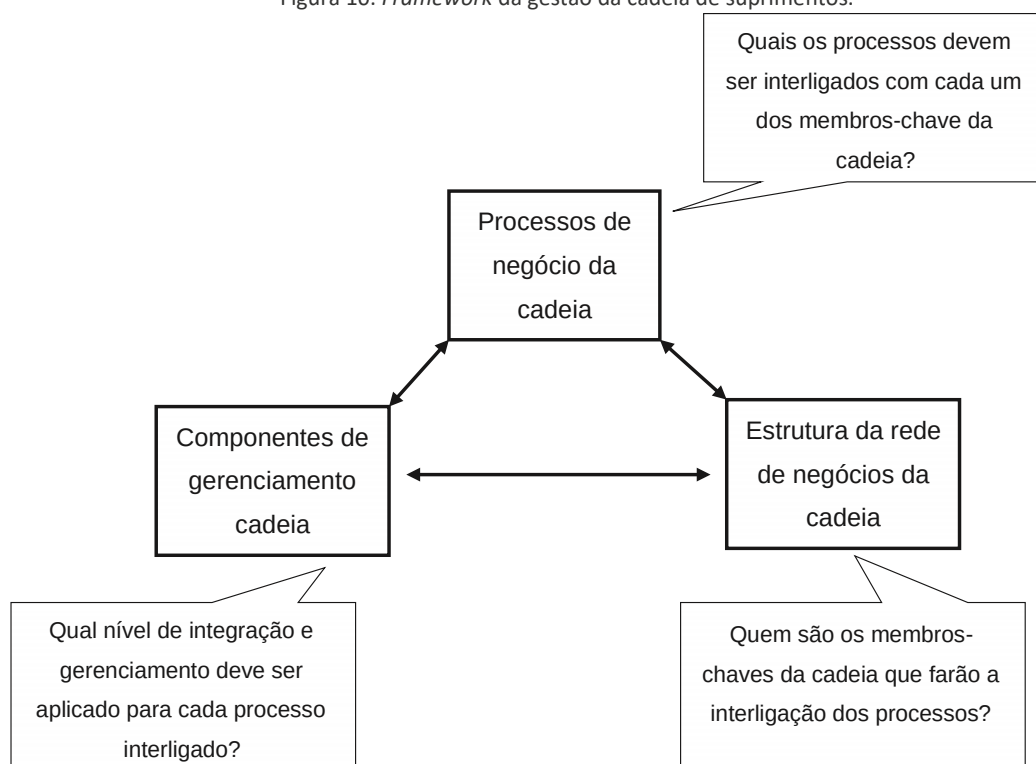
As características principais que fazem a descrição do gerenciamento da cadeia de suprimentos, conforme Cooper e Ellram (1993), são identificadas e resumidas a seguir:

- » gerenciamento dos estoques: organização e distribuição dos estoques;
- » eficácia dos custos: avaliação dos custos e identificação das vantagens;
- » horizonte de tempo: as empresas procuram relacionamentos de longa duração, devido aos valores iniciais investidos e ao amadurecimento das relações;
- » divisão mútua da informação e monitoramento: todos têm acesso às informações, e o monitoramento deve ser realizado em todas as direções;
- » coordenação de muitos níveis do canal: deve haver uma boa estrutura organizacional;
- » planejamento conjunto: todos os membros da cadeia devem participar do planejamento;
- » as filosofias corporativas devem ter compatibilidade: por todas as empresas participantes;
- » quantidade de fornecedores de base;
- » liderança da cadeia: a cadeia de suprimento necessita de um líder para resolução de conflitos internos;
- » divisão dos riscos e das recompensas;

» velocidade das operações: sistemas de informação são utilizados para aumentar a velocidade das operações.

Lambert, Cooper e Pagh (1998) exibiram um *framework* da gestão da cadeia de suprimentos, ligando os três elementos essenciais para a SCM com os questionamentos e decisões-chave a serem tomadas pelo administrador da cadeia. O *framework* pode ser visto na figura 10, e cada elemento é mais bem detalhado nos próximos itens.

Figura 10. *Framework* da gestão da cadeia de suprimentos.



Fonte: Lambert, Cooper e Pagh (1998).

Estrutura da cadeia de suprimentos

Informações, como membros e dimensões estruturais, são necessárias para conhecer e entender a cadeia. Assim sendo, integram a estrutura da cadeia de suprimento. Essa é a primeira etapa de um processo de implantação, já que busca extrair informações primárias com a identificação dos membros da cadeia e com o conhecimento das dimensões estruturais.

A identificação dos membros da cadeia é de fundamental importância, porque nem sempre a inclusão de todos os membros se torna viável, tem que saber analisar quais membros são críticos para o sucesso da empresa e da cadeia como um todo. Uma maneira

de diferenciar quando a cadeia possui vários membros é a classificação entre membros primários e membros de apoio. Os membros primários são as unidades estratégicas de negócios que realmente desempenham atividades operacionais e/ou gerenciais nos processos, e os membros de apoio são empresas que simplesmente fornecem recursos, conhecimento, utilidades ou ativos financeiros para os membros primários (LAMBERT; COOPER, 2000).

As dimensões estruturais se subdividem em: estrutura horizontal que se refere ao número de níveis ou camada de fornecedores e clientes medidos no sentido horizontal. Os fornecedores e clientes diretos são chamados de fornecedores e clientes de primeira camada, e assim por diante; a estrutura vertical se refere ao número de fornecedores e clientes em cada uma das camadas identificadas na estrutura horizontal; e a posição do foco da empresa que é determinada pela posição horizontal mais próxima ou distante do ponto de origem e consumo.

Identificação dos membros da cadeia

É necessário identificar quem são os membros para que haja a determinação da estrutura da cadeia. Não há como integrar e controlar todos os processos interligados com os membros da cadeia, pois é improdutivo (LAMBERT; COOPER, 2000).

Nesse contexto, é relevante que haja a escolha de alguns parâmetros para determinação de quais são os membros críticos para o sucesso da empresa e da cadeia por inteiro, para que haja a alocação dos recursos e a atenção administrativa seja feita de modo correto.

Existem dois tipos de membros: os membros primários e os membros de suporte:

- » Os membros primários são todas aquelas companhias autônomas ou unidades de negócio estratégico que realizam atividades que adicionam valor (operacionais e/ou gerenciais) nos principais processos.
- » Os membros de suporte são todas aquelas companhias que fornecem os conhecimentos, utilidades ou recursos para os membros primários.

Mapa da cadeia de suprimentos

É necessário primeiro mapear os processos individuais da organização e depois sobrepô-los em um mapa da cadeia de suprimentos, pois, na prática, as empresas integram alguns processos-chave selecionados e preferem apenas monitorar outras ligações selecionadas.



Sobre o assunto discutido nesse capítulo, podemos encontrar ainda muito o que estudar. Então, para que você possa compreender melhor sobre a cadeia de suprimentos, consulte o *link* <<http://www.ilos.com.br/web/logistica-na-industria-farmaceutica-desafios-e-oportunidades-naterceirizacao/>>.

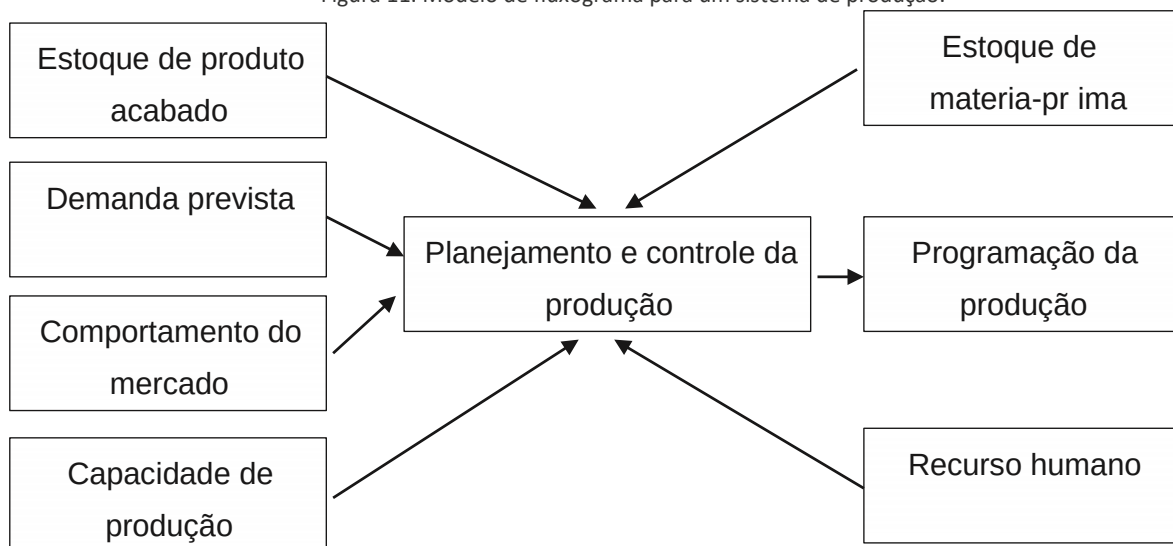
CAPÍTULO 2

Planejamento e controle de produção

Um importante fator do planejamento e controle da produção é que toda empresa deve reconhecer a expectativa do cliente e atender à demanda estipulada mediante o planejamento e organização dos seus recursos produtivos.

Entretanto, o descrito anteriormente sofre com interferências devido às variações não imprevisíveis da demanda, do rendimento do processo e de fatores externos ao comando da empresa. É necessário trabalhar o grupo de recursos produtivos ao mesmo tempo, para que se possa atender a um número mutável de produtos e clientes. A figura 11 mostra as interações de um sistema produtivo para atender a uma solicitação do mercado.

Figura 11. Modelo de fluxograma para um sistema de produção.



Fonte: Adaptada de Davis *et al* (2001).

Este capítulo trata sobre os fundamentos de demanda agregada, planejamento agregado, plano mestre de produção, MRP e MRPII e sequenciamento de produção com capacidade finita. Esses conceitos são a base para o modelo proposto de Programação e Controle de Produção (PCP).

Por definição, o planejamento e controle da produção é um sistema de informação que gerencia a integração dos recursos produtivos de uma empresa e busca atender a uma demanda estabelecida e, de modo simultâneo, elevar ao máximo o lucro da empresa.

A organização deve classificar o planejamento em: a longo prazo, a médio prazo e a curto prazo:

- » O planejamento da produção a longo prazo (PPLP) se dá com tempo maior ou igual a um ano. Nessa fase, faz-se uma avaliação da capacidade produtiva e uma comparação com o planejamento estratégico. É possível criar cenários para 3, 5 e 10 anos, quando se pode ou não avaliar novamente uma possível expansão da capacidade produtiva.
- » O planejamento da produção a médio prazo (PPMP) pode cobrir um período de 3 a 12 meses, sendo que este deve ser revisado e atualizado trimestralmente (DAVIS *et al.* 2001). Ao estabelecer o PPMP, a empresa determina o padrão de utilização de suas instalações e avalia a necessidade de contratar ou não mais recursos humanos ou subcontratar serviços.
- » O planejamento da produção a curto prazo (PPCP) estabelece o que será produzido nas próximas quatro semanas, ou seja, em um curto prazo. Esse período varia de organização para organização em função do processo produtivo, do tempo da produção e da oscilação de demanda, podendo variar de três dias até seis semanas.

Demanda agregada

O processo de planejamento recebe informações do mercado mediante a gestão da demanda. O setor de *marketing* avalia a expectativa do mercado, as ações dos concorrentes e informações históricas, para estabelecer cenários de demanda. Esse estudo engloba incertezas, e uma alternativa para minimizá-las é trabalhar por famílias de produto.

A avaliação da demanda busca criar uma base de trabalho que possibilite maior controle sobre as vendas e acione os planejamentos de produção e financeiro da empresa. Com isso, surgem três princípios fundamentais que a organização deve determinar para a formulação de um plano de vendas:

- » Definição do que vender, afinal toda organização possui restrições para compreender o mercado, e a oferta de um produto errado pode ser o começo de um processo de decadência. Na formulação do seu plano de vendas, a empresa precisa identificar os pontos fortes e fracos de seus produtos, para se posicionar de forma adequada no mercado, fazendo a

identificação de quem são os concorrentes e conhecendo um pouco os seus produtos.

- » Conhecimento da quantidade que poderá ser ofertada no mercado, porque os processos produtivos possuem a capacidade restrita, e a frustração por um pedido aceito e não entregue é muito maior que a recusa de um pedido.
- » Conhecimento de quando o produto poderá ser vendido. Ambientes competitivos e integrados estabelecem cada vez mais precisão em prazos de entrega, pois os clientes não estão preparados para imobilizar capital em estoques a fim de suprir incertezas com o fornecimento.

O planejamento da demanda a longo prazo é a base para determinação das necessidades de investimentos em infraestrutura, seleção, recrutamento, treinamento de novos colaboradores e ajustes de tecnologia de processos. Na análise do comportamento do mercado para um cenário de longo prazo, podem-se identificar fatos que acarretarão ameaças para a empresa.

Planejamento agregado da produção

A organização precisa repassar para os setores produtivos a expectativa de consumo de seus produtos, mediante uma estimação para o mercado em que atua. A partir da demanda calculada, é realizada uma análise dos recursos produtivos para se determinar um Planejamento Agregado da Produção (PAP).

Com o objetivo de atender aos anseios dos clientes com a máxima eficiência e eficácia, alguns fatores devem ser levados em consideração:

- » o estoque de produtos acabado;
- » o quantitativo de mão de obra disponível;
- » os equipamentos instalados, que devem trabalhar sincronizados.

O PAP procura focar a organização na expectativa do cliente, assegurando uma otimização dos recursos produtivos, com o menor custo de processo.

Plano Mestre de Produção

O Plano Mestre de Produção (PMP) estabelece qual o produto e quantidade que deverão ser produzidos ao longo do período correspondente ao planejamento. A atenção nessa

fase do trabalho é assegurar o fluxo do processo produtivo, disponibilizando os recursos produtivos necessários no momento adequado. O objetivo do PMP é atender à solicitação específica do cliente dentro do prazo acordado no pedido.

A partir do PMP, é gerado um mapa de necessidade de matéria-prima para o período que corresponde ao planejamento. Mediante uma análise consistente do estoque de insumos e pedido de compras pendentes de recebimento, é estabelecido um planejamento de demanda para os insumos descobertos pelo estoque e pedidos pendentes.

A flexibilidade para atender a um pedido exige que o PMP faça a determinação de limites para aceitar modificações na composição dos pedidos. A definição desse limite depende do tempo, da flexibilidade do processo produtivo, do nível de integração da cadeia de fornecedores e do projeto do produto.

Planejamento das necessidades de material (MRP) e planejamento dos recursos de manufatura (MRPII)

Um sistema de MRP é composto pela união dos sistemas de produção e controle de estoque. Ele busca o planejamento dos materiais necessários para atender a um PMP instituído e estabelecer as ordens de produção que se fazem necessárias. O MRP vem sendo difundido por muitas companhias que produzem produtos de forma repetitiva em grande escala. A ampliação da capacidade de processamento dos computadores promoveu e baixou o custo do processamento das listas de materiais necessários para produção.

Davis *et al* (2001) reportam os objetivos do MRP sob três campos de visão:

- » estoque: o sistema proporciona encomendar o item correto, na quantidade e na hora correta;
- » prioridades: encomendar com a data determinada e garantir que a data será mantida;
- » capacidade: o planejamento para uma carga completa e acurada.

Com a expansão da economia, as empresas desenvolveram os seus produtos e, como consequência, o número de componentes empregados na produção cresceu. A abertura comercial mundial determinou a possível expansão do número de fornecedores, desenvolvendo um cenário favorável para o investimento em sistema de informações sobre o planejamento de necessidades de materiais.

A adoção de um sistema informatizado de MRP exhibe vários benefícios, compreendendo:

- » níveis de estoque menores;
- » melhor atendimento ao cliente;
- » otimização dos recursos produtivos.

Ao utilizar um sistema de MRP, algumas empresas reportaram uma redução de 40% nos investimentos em estoque.

Planejamento da capacidade

É preciso fazer referência à importância do equilíbrio da capacidade e da demanda para uma empresa. Tal equilíbrio pode acarretar vários benefícios para a organização, como altos lucros e clientes satisfeitos, porém uma combinação não correta entre esses dois fatores pode ser muito desastrosa.

O planejamento da capacidade produtiva pode ser considerado como a conciliação da capacidade agregada da produção com sua demanda agregada.

Definição de capacidade

Capacidade é a quantidade máxima de produtos ou serviços que podem ser fabricados numa unidade produtiva, em um período de tempo estabelecido. De acordo com Slack, Chambres e Johnston (2009), a capacidade de uma operação é o máximo nível de atividade de valor atribuído em tempo estabelecido que o processo pode alcançar sob condições normais de operação.

Algumas operações escolhem trabalhar abaixo de sua capacidade máxima de processamento, ou porque a demanda é insuficiente para atingir sua capacidade ou porque preferem atender de modo rápido à entrada de cada pedido novo. Ao trabalhar em sua capacidade máxima, uma organização se depara com restrições nesse processo, e logo a atividade se torna um gargalo na operação.



Para aumentar seus conhecimentos sobre os assuntos estudados nesse capítulo, sugerimos a consulta do *link* a seguir, que apresenta um arquivo sobre a análise do ciclo de melhoria na rotina do planejamento e controle da produção:

<http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_tn_wic_135_856_17652.pdf> (COELHO E QUELHAS, 2011).

CAPÍTULO 3

Gestão de estoques

Segundo Assaf Neto (2009), “os estoques são materiais, mercadorias ou produtos que são fisicamente mantidos disponíveis pela empresa, com expectativa de ingresso no ciclo de produção, de seguir seu curso produtivo normal, ou de serem comercializados”. O autor indica ainda algumas causas da existência de estoques:

- » Evita a interrupção no fluxo de produção: os estoques asseguram que interferências no fornecimento de matéria-prima não causarão prejuízos para o fluxo das atividades até a resolução do problema.
- » Características econômicas particulares de cada setor: em alguns setores, a produção encontra-se concentrada em determinadas épocas do ano, e a demanda está distribuída ao longo do ano.
- » Perspectiva de aumento imediato do preço do produto: admitindo-se que o ganho obtido por comprar o produto antes da alta mais que compensa os custos de armazenagem.
- » Proteção contra perdas inflacionárias: ocorre quando o mercado de capitais não se encontra completamente desenvolvido e o que se tem de investimento não é considerado adequado.
- » Política de vendas do fornecedor: quando recebe descontos dos fornecedores para adquirir maior quantidade de matéria-prima, o administrador é incentivado a ter maior comprometimento de recursos em estoques.

A boa gestão de estoques passa de modo obrigatório pelo conhecimento de todos os custos que englobam o seu controle, sendo que alguns custos que estão de forma direta conectadas aos estoques podem ser assim divididos em (ROSS; WESTERFIELD; JORDAN, 2002):

- » Custo de ressuprimento (CR): esse item compreende os custos fixos administrativos relativos ao processo de aquisição da quantidade requerida para reposição do estoque. São custos medidos em termos monetários por pedido.

Suponha que Ra seja o número total de unidades vendidas por ano, ou seja, a demanda, e S o custo de pedido individual. Se a empresa encomendar Q unidades de cada vez, precisará fazer Ra/Q ordens de compras, portanto:

$$CR = S \times \left(\frac{Ra}{Q} \right)$$

- » Custos de manter estoque (CM): corresponde a todos os custos necessários para manter certa quantidade de mercadorias por determinado período de tempo. São medidos monetariamente por unidade e por período. Normalmente, para manter estoques, estão inclusos custos de armazenagem e controle, de seguro, impostos, deterioração, obsolescência, furto e custo de oportunidade do capital aplicado em estoques, que significa o custo de investir em outro investimento que não este. Para simplificação da obtenção da fórmula, supõe-se que o custo de manter estoque é diretamente proporcional ao nível de estoque, apesar de essa premissa enfraquecer o modelo aplicado (CHOPRA; MEINDL, 2003).

Seja Q a quantidade encomendada, o nível de estoque ou estoque médio seria, então, igual a $Q/2$. Sendo Ca o custo de aquisição por unidade por ano, e H o custo de armazenagem por unidade por ano, o custo total de manter estoque será:

$$CM = \left(\frac{Q}{2} \right) \times H \times Ca$$

- » Custo total (CT): é a soma dos custos de pedir e o custo de manter estoques:

$$CT = S \times \left(\frac{Ra}{Q} \right) + \left(\frac{Q}{2} \right) \times H \times Ca$$

Na gestão de estoques, há uma relação básica de benefício *versus* custo, porque os custos de manter estoques aumentam com o nível destes, ao passo que os custos de pedir caem. O objetivo fundamental do processo de gestão de estoque passa a ser, portanto, a obtenção de uma quantidade de reabastecimento que minimize esse custo total. Esse é o ponto em que os custos de manter estoque e de ressuprimento são iguais.

O controle de estoques tem o objetivo de minimizar o capital total investido em estoques. Para tanto, faz-se necessário que as políticas de estoque sejam adequadamente definidas pela empresa, determinando qual o tempo de entrega dos produtos ao cliente; até que nível deverá flutuar os estoques para atender a uma alta ou baixa das vendas ou uma alteração de consumo; e definição da rotatividade de estoques. Um setor de controle de estoques deve ser dividido em grupos, cujas funções são:

- » Grupo 1 deve determinar “o que” comprar, armazenar e distribuir, realizando funções de normalização, como: selecionar, padronizar e especificar os materiais, e de classificação/codificação de materiais.
- » Grupo 2 deve determinar “quando” se devem reabastecer os estoques, a periodicidade e determinar “quanto” de estoque será necessário para um período pré-determinado; quantidade de compra.
- » Grupo 3 deve executar as compras e cuidar da venda de materiais não utilizados ou inservíveis (alienação).
- » Grupo 4 deve ser responsável pelo recebimento de materiais, armazenamento e distribuição; logo, realizando funções de armazenamento, movimentação e transporte de materiais e controle de qualidade.

Os indicadores de desempenho utilizados na gestão de estoque podem ser separados em três grupos, segundo Arozo (2002): custo, serviço e conformidade do processo. Os indicadores de custo da gestão de estoque incorrem em dois tipos básicos de custo: o de manutenção do estoque e o relacionado à falta do estoque. Indicadores do grau de serviço são escolhidos pela disponibilidade do medicamento. E, por fim, os indicadores de conformidade de processo permitem explicar o desempenho obtido, o que não é possível nos outros dois indicadores, que só monitoram o resultado (AROZO, 2002).

Gestão de materiais

O gerenciamento de materiais visa satisfazer as necessidades assistenciais do serviço de saúde, sendo responsável pela coordenação e conciliação dos interesses dos pacientes/clientes, da área econômico-financeira e dos fornecedores.

Os pacientes/clientes desejam o material correto, em condições apropriadas de utilização, entregue no lugar certo e a tempo de evitar a sua falta. Podemos, ainda, acrescentar que o usuário gostaria que o tempo despendido na entrega fosse o menor

possível. Já o setor econômico-financeiro deseja adquirir o material ao menor custo e maiores prazos de pagamento; busca uma redução do valor do estoque e não quer que ocorrências relacionadas a materiais (como compras erradas, falta de itens críticos etc.) sejam frequentes. Por fim, os fornecedores desejam fornecer a maior quantidade de material possível, vendê-lo ao maior preço, receber em curto prazo e não ter qualquer responsabilidade futura a respeito da utilização dos itens (SILVEIRA, 2011).

Então, para se obter uma gestão de materiais satisfatória, requer-se um bom controle de estoque e, para isso, devem-se determinar os níveis corretos de estoque, sendo que alguns parâmetros podem auxiliar de forma decisiva a execução de controle.

- » Consumo Médio Mensal (CMM), que pode ser definido como a média dos consumos mensais de cada produto, num certo período.

$$\text{CMM} = \Sigma \text{CM} / \text{NM}$$

Em que: CMM = Consumo Médio Mensal; Σ = Somatória; CM = Consumo de cada mês; NM = Números de meses utilizados para determinação do consumo.

- » Estoque de Segurança (ES) é referente a certa quantidade de materiais que servirá para cobrir eventuais falhas no tempo de espera (MARIAN, 2003).

$$\text{ES} = f(\text{delta TE})$$

Em que: TE = Tempo de Espera.

- » Ponto de Requisição (PR) é um parâmetro de alerta no dimensionamento de estoques. É definido como uma quantidade de produto que, quando atingida, deve gerar novo pedido de compras, evitando posterior ruptura do estoque (DIAS, 2006).

$$\text{PR} = (\text{CMM} \times \text{TE}) + \text{ES}$$

- » Estoque Mínimo (EMI) é a quantidade mínima que se deve manter de cada medicamento ou correlato, enquanto um pedido está se processando (DIAS, 2006).

$$\text{EMI} = \text{CMM} + \text{ES}$$

- » Estoque Máximo (EMX) expressa a quantidade máxima que se deve atingir no estoque, acima da qual não se pretende operar, incorrendo-se no risco de se possuir recursos excessivos investidos em medicamentos e seus correlatos (DIAS, 2006).

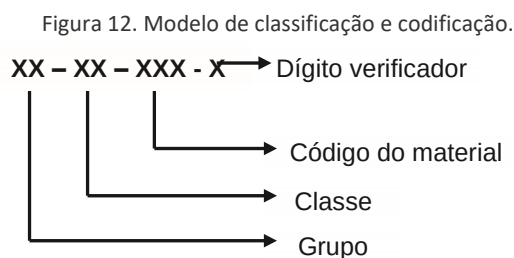
$$EMX = ES + (CMM \times TE) + (CMM \times PR)$$

Codificação dos materiais

Os estoques possuem grande número de movimentações, e os registros devem se manter atualizados. A codificação faz com que cada código corresponda a um produto, e somente a um, e vice-versa. O sistema de codificação não pode depender de critérios pessoais e deve ser expansível, para suportar inclusões de novos itens.

Faz-se necessário um sistema de classificação para qualquer departamento de materiais, pois sem ele não há um controle eficiente dos estoques, procedimentos de armazenagem apropriados e uma operação do almoxarifado de modo correto (DIAS, 2006).

Os sistemas de codificação mais empregados são o alfabético e o alfanumérico. No primeiro, é feita a codificação do material segundo uma letra, sendo empregado um conjunto de letras suficiente para preenchimento de toda a identificação do material. O último é uma combinação de letras e números que possibilitam um número de itens em estoque superior ao sistema alfabético (DIAS, 2006) (figura 12).



Fonte: Dias (2006).

A geração de informações atualizadas sobre quanto e quando é necessário o suprimento de recursos materiais bem como o conhecimento dos custos de aquisição e manutenção dos estoques para atender as necessidades de consumo do fluxo produtivo são vistos como principais resultados do estudo. Comenta-se que tal benefício também pode ser visto como facilitador de uma possível sistematização e padronização da gestão de estoques na empresa. Pode-se destacar também a redução de custos de gestão de estoques, melhorias no sistema de compras, melhorias no sistema de gestão de estoques e nível de atendimento ao cliente, bem como aumento da competitividade

empresarial, como consequência da exposição de dados sólidos, vitais para qualquer empresa que deseja lançar-se competitiva no mercado atual. Ressalta-se também que o conjunto de planilhas técnicas com informações para cada insumo ou grupo de insumos disponibilizado possibilitou que o processo de gestão de estoques se tornasse funcional e dinâmico.



Caro estudante, sugerimos a consulta ao seguinte *link* para aprofundamento dos conhecimentos discutidos nesta unidade: <http://www.saocamilo-sp.br/pdf/mundo_saude/101/10.pdf>.

CAPÍTULO 1

Conceitos básicos de controle de processos

A química industrial abrange processos em engenharia química, farmacêutica, petroquímica, entre outras áreas do conhecimento na indústria de processos químicos. A metodologia disponível para cálculos industriais veio de raciocínios estequiométricos químicos e da utilização da conhecida regra de três. Tornouse possível, apesar das limitações existentes na época, fazer o dimensionamento, o projeto e a seleção dos equipamentos com base nos princípios termodinâmicos relacionados aos balanços de massa e energia. Todavia, com o passar dos anos, partindo de estudos aprofundados sobre os fenômenos de transporte e da teoria de controle de processos, foi possível uma evolução dos métodos matemáticos.

A engenharia de processo e a engenharia de projeto foram, durante um tempo, as principais especialidades dos engenheiros químicos, sendo aplicáveis a todos os segmentos tecnológicos químicos. A otimização da operação de sistemas de pequeno porte até a escala industrial, até mesmo a distância, tornou-se possível com o emprego de equipamentos e instrumentos de sensoriamento e controle remoto, devido aos recursos tecnológicos.

Segundo Perlingeiro (2000), a engenharia de processos químicos surgiu no final da década de 60, devido à necessidade de aprimoramento dos processos industriais relacionados a estrutura, e não somente pelo aprimoramento dos equipamentos, como por exemplo:

- » a dependência entre os equipamentos;
- » a seleção de arranjos alternativos para uma mesma operação;
- » os distintos arranjos possíveis de equipamentos num mesmo processo global.

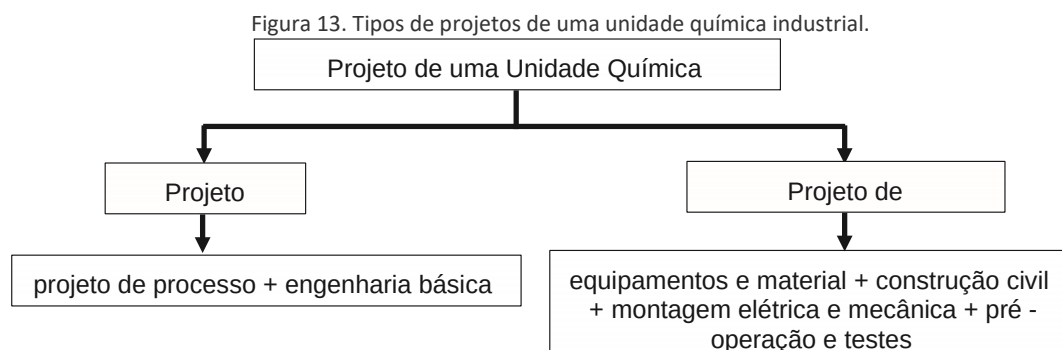
É importante apresentar algumas definições fundamentais bastante utilizadas em controle de processos (SIMAS; LEGGY, 1983):

- » Pacote tecnológico: conjunto de dados emitidos por uma empresa detentora da tecnologia (licenciador) de uma unidade de processo (projeto de processo).
- » Engenharia básica: aquela na qual as dimensões principais dos equipamentos, assim como os fluxogramas, *lay-out* e materiais de construção são determinados. Isso vale ainda para a descrição dos processos, comportamento físico-químico dos reagentes, rendimentos, especificações das matérias-primas, produtos e subprodutos, detalhes sobre as condições do processo, balanço de massa e de energia, sistemas de segurança e sistemas de controle de processos.
- » Projeto básico: conjunto de dados, informações documentos e técnicas que compõem o projeto de processo.
- » Projeto de processo: composto pelos conhecimentos tecnológicos e pela engenharia básica, a qual instrui a execução do projeto de detalhamento e a operação das instalações.
- » Projeto de detalhamento: conjunto de documentos de engenharia que regem a fase executiva do empreendimento, elaborados a partir do projeto básico, visando possibilitar a compra de equipamentos e materiais e a instruir a construção e montagem eletromecânica do complexo industrial.

É importante ressaltar que o projeto básico é determinado pela experiência e pela investigação, sendo que esta última abrange vários aspectos relacionados com a engenharia básica, como: novos usos de materiais de construção, proteção à corrosão e seus aspectos científicos, novos desenhos de equipamentos; alternativas de matérias-primas; alterações na engenharia de processo.

Em indústrias químicas, para a implantação de unidades industriais relacionadas ao projeto de detalhamento, faz-se necessário que profissionais das engenharias civil, mecânica, de tubulações, de manutenção e elétrica estejam envolvidos, além de um de engenharia de processo, que é responsável pelo projeto básico das diversas profissional unidades que constituem um complexo industrial. Já a engenharia de detalhamento

realiza os dimensionamentos, cálculos e desenhos nos mínimos detalhes para a fabricação e para especificações de compras e serviços de montagem (figura 13).



Fonte: Adaptada de Simas e Legey (1983).

Em relação ao pacote tecnológico, sua implantação é realizada normalmente por uma firma de engenharia, que possuem todas as responsabilidades pela execução do empreendimento, que abrange o planejamento global, a seleção de *know-how*, orçamento e controle de custos, projeto, contratação e coordenação de fornecedores e firmas de construção e assistência na partida e operação inicial (QUEIROZ; CEZIMBRA; SIFFERT, 1966).

As instalações industriais químicas podem ser de pequeno, médio e grande porte, sendo elas de três grandezas:

- » Planta ou Unidade Industrial de Processo: é o conjunto de equipamentos e instrumentos de controle de processo que tem como finalidade o tratamento ou produção de um ou mais produtos químicos. Exemplo: unidade industrial de processo para tratamento físico ou químico.
- » Fábrica ou Indústria: é o conjunto de equipamentos e instrumentos de controle de processo que tem como finalidade a produção de um ou mais produtos químicos, ou seja, pode possuir uma ou mais plantas de processo e laboratórios de controle químico da qualidade e unidades auxiliares.
- » Complexo Industrial: é o conjunto de fábricas cativas ou interligadas que poderiam subsistir independentemente, acrescentado de sistemas de utilidades e instalações auxiliares, como: laboratórios, administração, manutenção, garagens, vestiários e refeitório.

Os projetos citados anteriormente completam-se com o projeto de um sistema de controle químico da qualidade de matérias-primas, produtos e rejeitos. A interação convencional das engenharias químicas de processo e projeto básico e de detalhamento está representada nas tabelas 1 e 2. Há alguns anos, admitia-se que a engenharia química, assim como a química industrial, iniciava-se em um laboratório de pesquisas e completava-se em um laboratório de controle químico da qualidade. Atualmente, isso é diferente, pois há também a existência da engenharia de processos químicos, isto é, a engenharia química de processo fornece informações para a engenharia de processos químicos desenvolver uma otimização das instalações ou fazer a seleção destas.

Tabela 1. Etapas iniciais para o desenvolvimento de uma unidade química industrial.

Etapas	Quantidades	Tipos de equipamentos	Espaço físico	Objetivos
Objetivo e concepção inicial				Transformar matérias-primas em produtos
Pesquisa de laboratório	Gramas, mililitros	Vidrarias no geral	Uma bancada	Executar as reações químicas
Desenvolvimento em unidade de bancada	Gramas, mililitros	Vidrarias no geral	Uma bancada	Executar as reações químicas
Desenvolvimento em planta piloto	Quilogramas, litros	Reator, forno, fermentador ou modelo protótipo	Um salão ou galpão	Simular uma planta, definir e otimizar os processos, avaliando o desempenho

Fonte: Adaptada de Zakon e Milfont (1992).

Tabela 2. Etapas em escala industrial para o desenvolvimento de uma unidade química.

Etapas	Quantidades	Tipos de equipamentos	Espaço físico	Objetivos
Engenharia básica	Toneladas, metros cúbicos	Equipamentos projetados	Terreno amplo	Gerar instruções para a execução do projeto de detalhamento
Engenharia de detalhamento		Vidrarias no geral	Uma bancada	Gerar documentos para compras de equipamentos e materiais
Obra		Vidrarias no geral	Uma bancada	Construção, montagem e pré-operação
Operação e produção		Reator, forno, fermentador ou modelo protótipo	Um salão ou galpão	Produção e venda
Sistema de qualidade				Criação ou atualização dos regulamentos de segurança e qualidades dos produtos

Fonte: Adaptada de Zakon e Milfont (1992).

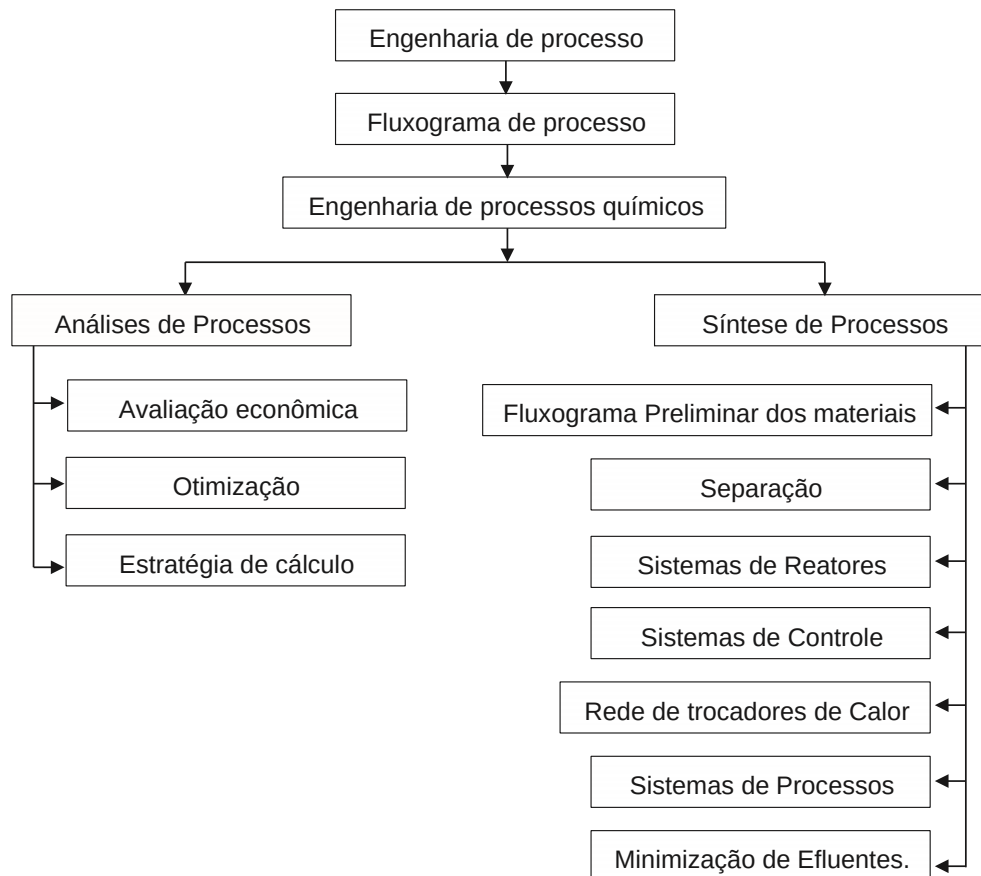
A figura 14 apresenta a distribuição das áreas da engenharia de processos químicos. As necessidades industriais e as mudanças mundiais estão evoluindo baseadas em alguns fatores principais, como: a dinâmica do mercado, a competição globalizada, os progressos tecnológicos e os aportes de novas restrições na legislação ambiental. Devido a isso, aparecem várias mudanças na pesquisa, desenvolvimento, dimensionamento e produção, nas ferramentas e ambientes que os pesquisadores/engenheiros necessitam para assumir essas novas responsabilidades.

A criação de uma unidade de processo químico industrial pode ser considerada como um problema de projeto, e sua resolução segue as seguintes etapas:

- » Escolha de um elemento operacional para executar cada tarefa.
- » Escolha da estrutura do sistema, ou seja, a sequência e a forma de interligação entre seus componentes.
- » Avaliação do desempenho do sistema.

As duas primeiras atividades constituem as etapas de síntese do sistema, e a terceira a análise do sistema (PERLINGEIRO, 2000). A síntese é a etapa criativa do projeto, que consiste na seleção dos equipamentos e na definição do fluxograma (figura 14).

Figura 14. Distribuição das áreas da engenharia de processos químicos.



Fonte: Adaptada de Perlingeiro (2000).

A etapa de avaliação constitui o ato de determinação de um valor e visa a tomada de decisão consciente, que, ao decidir realizar um investimento, não se deixa conduzir pelo empirismo, mas, sim, se apoia em critérios de estrita racionalidade. Segundo Perlingeiro (2000), a avaliação é realizada calculando-se um índice de mérito, geralmente de natureza econômica, que é função das variáveis principais do sistema.

No caso dos processos, o índice de mérito natural é uma função tipo lucro ou custo. Com as dimensões dos equipamentos, podem-se estimar os custos do investimento. Com as demais variáveis, obtêm-se a receita e os custos de produção. Assim sendo, entende-se a engenharia de processos químicos como uma atividade criativa, em que se geram ideias, que são transformadas sob a forma de conjuntos de equipamentos e processos para produzir (antigos) novos materiais ou para agregar maior valor econômico para produtos existentes. A engenharia de processos químicos parte dos resultados laboratoriais para gerar várias hipóteses de fluxogramas de processo. Pode também utilizar como estratégia preliminar um fluxograma de processo advindo da pesquisa laboratorial, contudo independe dessa concepção para seu desenvolvimento.

Os processos industriais (em indústrias químicas, alimentícias, farmacêuticas, têxteis, petrolíferas) são muitos variados e englobam diversos equipamentos (reatores, tanques, trocadores de calor, colunas de separação e purificação, bombas) que exigem o controle preciso e exato das variáveis (temperatura, pressão, vazão, viscosidade, umidade, pH) que determinam o desempenho das operações unitárias (FAVARO, 2012).

Os processos químicos são, por natureza, dinâmicos, ou seja, variam continuamente com o tempo, e isso pode ocorrer tanto por interferências externas quanto por mudanças operacionais. Assim, para atingir os objetivos fundamentais da operação de um processo químico, faz-se necessário que o profissional (engenheiro químico) seja capaz de monitorar e induzir mudanças nas variáveis do processo relacionadas à produção eficiente e segura do produto de interesse. Esses dois fatores são considerados as funções primordiais do sistema de controle de uma operação (SMITH e CORRIPIO, 2008).

Os princípios básicos da operação de um processo químico compreendem os seguintes objetivos:

- » Segurança: as unidades operacionais devem garantir a integridade dos operadores, dos equipamentos e do meio ambiente.
- » Taxa de produção: a quantidade de produto requerida numa planta é sempre estabelecida.
- » Qualidade dos produtos: as especificações dos produtos são de fundamental importância para assegurar sua qualidade e devem ser mantidas para evitar reprocessamento ou até mesmo geração de elevado números de resíduos.
- » Produtividade: quantidade desejada de produtos dentro das especificações para que a operação seja rentável.
- » Restrições operacionais: os equipamentos e as variáveis do processo operacional possuem limites para a operação desejada, então faz-se necessário o atendimento a esses limites.
- » Econômico: produtos finais dentro das especificações com o menor consumo possível de energia e matéria-prima.

A sala de controle de processos é a maior interface entre o operador e a planta. Por meio dessa interface homem-máquina (como, por exemplo, o Sistema Digital de Controle Distribuído – SDCD), as variáveis do processo são apresentadas em fluxogramas, na forma de frontais de equipamentos e em gráficos de tendência. Os sinais que aparecem no sistema digital vêm do campo a partir de instrumentos instalados, como sensores de vazão, de temperatura e de pressão, que são transmitidos para o computador de processo. Já no computador, os algoritmos de controle definem a atuação em variáveis que são manipuladas para manter o processo nas condições desejadas.

Segundo Seborg (2004), as variáveis de processo são as condições externas e internas (estados) que afetam o desempenho do processo operacional. Algumas propriedades controladas são obtidas da medição direta dos estados, mas outras devem ser estimadas. As principais variáveis são:

- » Variável manipulada (MV): variável de entrada ou externa sujeita à ação do controlador para manter a variável controlada no valor desejado. Normalmente, são as vazões do processo operacional.
- » Variável controlada (CV, PV): variável de saída medida (ou estimada) e controlada, para que se possa efetuar a indicação e/ou controle do processo.
- » Perturbação (DV): variável externa ou interna ao processo que age de modo adverso, interferindo na variável controlada.

A escolha dessas variáveis é uma etapa crítica no desenvolvimento do sistema de controle, pois é fundamentada no conhecimento do processo, experiência dos operadores e objetivos de controle (qualidade, segurança e produtividade). Para alcançar esses objetivos, são necessários diversos dispositivos físicos, como sensores e controladores. Assim sendo, as medidas das variáveis controladas (CV) são, então, utilizadas pelos sistemas de controle para determinar ações sobre as variáveis manipuladas (MV), de modo a gerar a resposta desejada, o denominado *set point* (SP – um valor desejado estabelecido previamente como referência de ponto de controle no qual o valor controlado deve permanecer).

O desafio do controle de processos é dominar a dinâmica do processo para que este se mantenha dentro dos limites de segurança e atenda às especificações do produto no nível mais rentável, respeitando as regulamentações ambientais. Nessa linha, surge a

oportunidade de utilizar os conceitos matemáticos (dos mais simples aos mais avançados) para projetar estratégias de controle.



Caro estudante, para melhor compreensão do assunto abordado nesse capítulo, sugerimos a consulta do *link*: <<http://www.dequi.eel.usp.br/~felix/Controle.pdf>>.

CAPÍTULO 2

Instrumentação em engenharia de processos

Segundo Starling (2003), instrumentação é qualquer dispositivo (instrumento), ou conjunto de dispositivos, empregado com a finalidade de se medir, indicar, registrar ou controlar as variáveis de um processo.

Existem instrumentos específicos para medição, indicação, para registro e para controle de uma variável de processo nas instalações industriais. É necessário analisá-los utilizando uma classificação apropriada de acordo com a função que desempenham no processo, que podem ser: elementos primários, instrumento de medição indicador, instrumento de medição registrador, transmissor, transdutor, controlador e elemento final de controle. Esses instrumentos podem ser definidos da seguinte maneira (SENAI, 1999):

- » Elementos primários: parte de um instrumento que primeiro sente o valor da variável de processo. Exemplos: sensores e detectores.
- » Instrumento de medição indicador: instrumento de medição que apresenta uma indicação, ou seja, indica o valor determinado de uma variável de processo. Exemplos: termômetros, manômetros, velocímetros, entre outros.
- » Instrumento de medição registrador: instrumento de medição que fornece um registro da indicação, ou seja, armazena os valores de uma determinada variável de controle. Exemplos: barógrafo, tacógrafo, espectrômetro registrador, entre outros.
- » Transmissor: instrumentos que detectam as variações na variável medida/controlada por meio do elemento primário (que pode ou não fazer parte integrante do transmissor), produzindo uma saída de valor que é proporcional ao valor da variável de processo. Exemplos: transmissor de temperatura, transmissor de pressão, transmissor de vazão, entre outros.
- » Transdutor ou conversor: instrumento que recebe informações na forma de uma ou mais quantidades físicas, modifica essas informações e fornece um sinal de saída padronizado. Exemplo: conversor I/P.

- » Controlador: instrumento que compara a variável medida de processo com um valor de referência preestabelecido pelo operador e que fornece um sinal de saída, visando manter a variável controlada em torno do valor desejado. Exemplos: controlador *single loop* e controlador *multi loop*.
- » Elemento final de controle: instrumentos que variam a quantidade de material ou de energia em resposta ao sinal enviado pelo controlador, visando manter a variável controlada em um valor (ou faixa de valores) predeterminado. Exemplos: válvulas de controle (que manipulam diretamente a vazão de um ou mais fluídos de processo).

As variáveis comumente utilizadas nas plantas de processos são: pressão, temperatura, vazão e nível.

Pressão

É considerada uma das mais importantes variáveis em controle de processos e, por definição, é uma força aplicada ou distribuída sobre uma área ($P = F/A$), em que P = pressão em Pascal/Pa, F = força em Newton/N e A = área em metro quadrado/m²). A grandeza física “pressão” possui um grande número de unidades empregadas para representá-la, sendo o Pascal (Pa) a unidade do Sistema

Internacional.

No quadro 1, são citados alguns medidores e transmissores de pressão que podem ser utilizados para implementar a instrumentação dessa grandeza física.

Quadro 1. Medidores e transmissores de pressão mais utilizados.

Tipos	Instrumentos/Elementos sensores	
Medidores de pressão	Manômetro líquido	Coluna em “U”, coluna reta vertical coluna inclinada
	Manômetro elástico	Tubo de Bourdon, Em C, Espiral Helicoidal, Diafragma, Fole Cápsula
Transmissores de pressão	Pneumáticos	
	Eletrônicos	Capacitivo, <i>Strain gauge</i> Silício ressonante, Piezoelétrico

Fonte: Adaptado de Senai (1999).

Os tipos de medidores de pressão mais utilizados na indústria são os manômetros (instrumentos empregados para indicação local de pressão), que podem ser divididos em líquidos e elásticos. Os manômetros de líquidos (utilizam um líquido como meio para se medir a pressão) são utilizados por diversas indústrias alimentícias, petroquímicas e farmacêuticas. Já os manômetros elásticos baseiam-se na lei de Hooke sobre elasticidade dos materiais, utilizando, assim, a deformação de um elemento elástico como meio para se medir pressão. O tubo de Bourdon é um dos instrumentos mais conhecidos e utilizados (Figura 15).

Os instrumentos de transmissão de sinal de pressão têm como finalidade principal a transformação das variações de pressão detectadas pelos elementos sensores em sinais padrões de transmissão.

Figura 15. Manômetro do tipo Bourdon.



Fonte: <<https://goo.gl/ezVk8R>> (MANÔMETRO, 2019).



Caro estudante, caso queira ter uma abordagem mais aprofundada sobre as bases teóricas desse assunto, consulte o *link* <<https://goo.gl/M1Ksj2>> (SENAI, 2019).

Temperatura

A temperatura é uma grandeza de medição que está diretamente ligada aos processos com transformações físicas, químicas e/ou biológicas, e adicionalmente pode influenciar na pressão, vazão, densidade, entre outras variáveis, sendo, por isso, uma das variáveis mais relevantes no controle de processos. Uma determinada substância pode sofrer alterações em sua composição ou estrutura dependendo de como e quanto suas características podem ser afetadas pela temperatura. Também é válido para qualquer tipo de processo, pois a variação de temperatura pode causar aceleração ou desaceleração da produção, alterações na qualidade do produto final, aumento ou

diminuição na segurança do equipamento ou do pessoal, assim como maior ou menor consumo de energia.

Por definição, a temperatura é considerada o grau de agitação térmica das moléculas. Quanto maior seu valor, maior é a energia cinética média dos átomos. É importante lembrar que todos os corpos são constituídos de moléculas, e que estas se encontram em constante agitação, portanto, quanto mais agitadas estiverem as moléculas, mais quente estará o corpo e vice-versa. A medição de temperatura pode ser dividida em: termometria (medição de temperatura, que abrange as mais diversas temperaturas), pirometria (medição de altas temperaturas, na faixa onde os efeitos da radiação térmica são perceptíveis) e criometria (medição de baixas temperaturas, próximas ao zero absoluto).



A transmissão de calor (recordando que calor é a forma de energia que é transferida por meio da fronteira de um sistema, em virtude da diferença de temperatura) pode ocorrer de três formas distintas (BRAGA FILHO, 2006):

1. Condução: quando a transmissão de calor ocorre pelo contato físico entre duas substâncias, sem transferência de massa. Exemplo: o aquecimento de uma das extremidades de uma barra de ferro com uma chama ocasionará, em poucos instantes, o aquecimento de toda a barra.
2. Convecção: quando a transmissão de calor ocorre com transferência de massa, que se dá pelo movimento da mistura dos fluidos ou sólidos envolvidos. A convecção pode ainda ocorrer de duas formas: natural (quando o movimento das moléculas é provocado apenas pela diferença de densidade dos fluidos quente e frio – um exemplo simples seria o aquecimento de um recipiente com água) e forçada (quando o movimento da mistura ocorre por meio mecânico – exemplo disso seria aquecimento de um recipiente de água com agitação).
3. Radiação: quando a transmissão de calor ocorre por meio de irradiação eletromagnética, sem que se faça necessário o contato físico. Exemplo: o aquecimento de pessoas perto de uma fogueira.

As escalas mais comuns de temperaturas são:

- » Escalas relativas: Celsius ($^{\circ}\text{C}$) e Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$).
- » Escalas absolutas: Kelvin (K) e Rankine ($^{\circ}\text{Ra}$).

Os medidores de temperatura são construídos baseados nos efeitos elétricos ou físicos produzidos sobre uma substância, ou seja, a temperatura é determinada indiretamente. Esses medidores podem ser divididos em: contato direto (são os medidores baseados na lei de expansão volumétrica de um fluido num recipiente fechado) e contato indireto (são os medidores que usam a radiação emitida pelo outro corpo analisado).

Quadro 2. Medidores de temperatura mais utilizados.

Tipos	Medidor de temperatura	
Contato direto	Dilatação de líquidos e gases	Termômetro de vidro, Tudo de Bourdon Termômetro de gás pressurizado Vapor em capilar metálico fechado
		Termômetros bimetalícos
	Termorresistência	Ohmímetro
Contato indireto	Pirômetro óptico	
	Pirômetro fotoelétrico	
	Pirômetro de radiação	

Fonte: Adaptado de Senai (1999).

Os termômetros são os medidores de temperatura mais utilizados nas indústrias, são baseados em bimetálico, e os são sensores do tipo termopar e termorresistência, empregados para a transmissão do sinal de temperatura por meio dos sistemas de controle de processos. É importante salientar que, para a escolha do medidor de temperatura, fatores como as características do processo e as características do instrumento devem ser levadas em consideração para o desempenho eficiente do processo.

Vazão

Por definição, vazão é a quantidade de material (expressa em massa ou volume) que passa por um determinado ponto em uma unidade de tempo. É uma importante variável na operação e controle de processos (DELMÉE, 2003), e pode ser dividida em:

- » Vazão volumétrica: é a relação entre um volume (V) que escoar por uma seção em um determinado intervalo de tempo (t) que este levou para passar pela tubulação ($Q=V/t$). As unidades de volume são medidas em (l , m^3 , ft^3) por unidade de tempo (min , s , h).

» Vazão mássica: é a relação entre uma quantidade de massa de um material (m) que escoar e o tempo (t) que este leva para passar pela tubulação ($W=m/t$). As unidades de massa são (kg, lb, ton) por unidade de tempo (min, s, h).

O quadro abaixo apresenta os principais medidores de vazão usados industrialmente.

Quadro 3. Medidores de vazão mais utilizados.

Tipos	Medidor de vazão	
Medidores indiretos	Perda de carga variável (área constante)	Tubo de Pitot, Annubar Tubo de Venturi, Tubo de Dall Placa de orifício
	Medição por área variável (perda de carga constante)	Rotâmetro
Medidores diretos	Deslocamento positivo do fluido	Disco Nutante Rotativos
	Velocidade pelo impacto do fluido	Tipo turbina
Medidores especiais	Efeito eletromagnético, Ultrassônico, Vortex, em canal aberto, Coriolis.	

Fonte: Adaptado de Santos (2011).

A vazão pode ser medida a partir da pressão diferencial, por isso os transmissores de vazão comumente são por pressão diferencial, baseando-se nos mesmos fundamentos físicos utilizados na tecnologia de medição de pressão. Assim sendo, são empregados os tipos piezoelétrico, a célula capacitiva, *strain gauge*, entre outros. As medições de vazão visam também verificar o consumo ao longo de um tempo predeterminado de um material, usado em um processo industrial. Isto é de extrema importância, pois a quantificação da vazão permite analisar custos futuros para conhecimento dos gastos.



Como podemos observar, esse é um assunto de extrema relevância para os profissionais atuantes na área. Sendo assim, para saber mais sobre os tipos e características dos medidores de vazão, acesse o *link* <<https://goo.gl/fHCL1V>>.

Instrumentos de nível e elementos finais

Por definição, nível é a altura do conteúdo de um reservatório, que poderá ser um líquido ou um sólido. A medição de nível em unidades industriais tem dois objetivos: avaliar os estoques em tanques de armazenamento e controlar processos contínuos.

No primeiro caso, existem sistemas completos de medição produzidos por um mesmo fabricante que são instalados em grandes tanques de armazenamento. Ex.: célula de

carga. Para controle de processos contínuos, existem diversos tipos de sensores e medidores de nível. Existem dois métodos de medição que são usados nos processos em geral: método de medição direta (medição que se faz tendo como referência a posição do plano superior da substância medida) e método da medição indireta (medição que se faz para determinar o nível em função de uma segunda variável). No quadro 4, a seguir, são apresentados os diversos tipos de medidores de nível.

Quadro 4. Medidores de nível utilizados industrialmente.

Tipos	Medidor de nível
Medição direta	Régua ou gabarito, visores de nível, bóia ou flutuador.
Medição indireta	<i>Displacer</i> (empuxo), pressão diferencial, borbulhador, capacitância eletrostática, ultrassônico, por pesagem, por raios gama.

Fonte: Adaptado de Senai (1999).

A ação direta sobre os processos é confiada ao elemento final de controle, que, na maior parte dos casos, é uma válvula de controle, que pode ajustar o fluxo da variável manipulada. A válvula mais usada em controle de processo é a do tipo globo. As válvulas de controle desempenham um papel muito importante no controle automático de modernas indústrias. Outros tipos de elementos finais de controle são: bombas dosadoras, *dampers* e *louvers* (variação de válvula borboleta), hélice de passo variável, motores elétricos para posicionamento de equipamentos que não sejam válvulas.

CAPÍTULO 3

Controle em engenharia de processos

Tipos de controladores

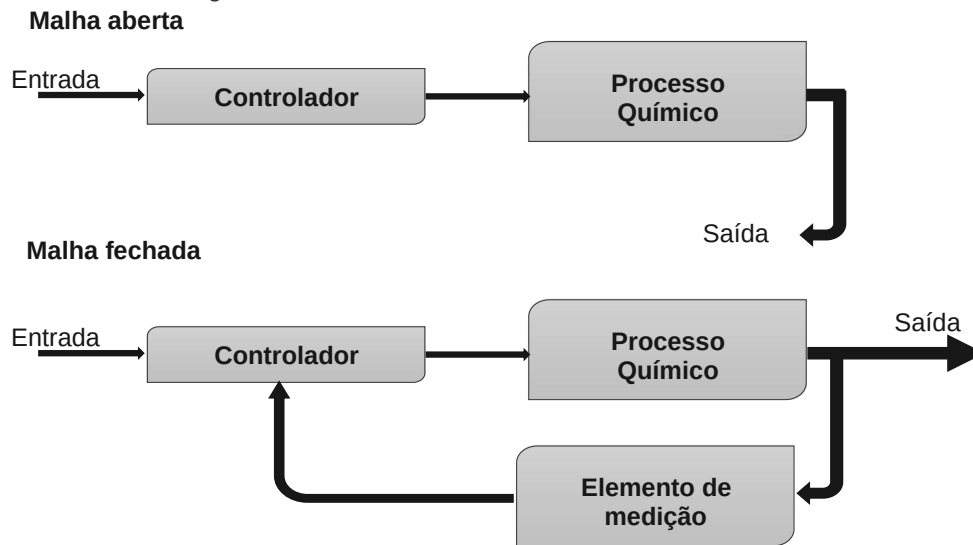
Por definição, controlador é um equipamento que contém a lei de controle, que pode ser um computador, um circuito analógico ou um circuito pneumático. Eventualmente, o papel do controlador pode ser exercido pelo próprio operador. O engenheiro de controle busca descobrir como as variáveis de operação se relacionam e atuar em certas variáveis do processo de forma que as variáveis controladas se mantenham nos níveis desejados (OGATA, 2003).

Os controles podem ser:

- » Manual: o operador efetua o controle de alguma variável (temperatura, pressão, vazão) por meio de sua observação e posteriormente de sua ação manual.
- » Automático: o controle de alguma variável é realizado sem a interferência direta do homem, atuando então de maneira automática.
- » Auto-operado: a energia necessária para movimentar a parte operacional pode ser obtida diretamente, por meio da região de detecção, do sistema controlado.
- » Malha aberta e malha fechada: a diferença entre ambos os controles é determinada pela ação de controle, que é componente responsável pela ativação do sistema para produzir a saída.

Uma malha de controle consiste em um conjunto de equipamentos e instrumentos utilizados para controlar uma determinada variável de processo (saída). O sistema de controle em malha aberta é aquele sistema no qual a ação de controle é independente da saída, ou seja, a saída não tem efeito na ação de controle, ela não é medida nem comparada com a entrada. Já o sistema de controle em malha fechada é aquele no qual a ação de controle depende, de algum modo, da saída, ou seja, a saída possui um efeito direto na ação de controle, sendo sempre medida e comparada com a entrada a fim de reduzir o erro e manter a saída do sistema em um valor desejado (figura 16).

Figura 16. Sistema de controle em malha aberta e malha fechada.



Fonte: elaborada pela autora.

Enquanto os sistemas em malha aberta apresentam menores problemas relacionados a sua estabilidade, o controle em malha fechada tem como vantagem ser relativamente insensível a perturbações externas e alterações de parâmetros do sistema.

Existem quatro tipos de ações básicas de controle que podem ser utilizados isoladamente ou associados entre si e dois modos de acionamento do controlador. O sinal de saída do controlador depende da diferença entre a variável do processo (PV) e o valor desejado para aquele controle (SP ou SV). Assim, dependendo do resultado dessa diferença, a saída pode aumentar ou diminuir. Baseado nisso, um controlador pode ser designado a trabalhar de dois modos distintos:

1. Ação direta (normal): quando um aumento na variável do processo em relação ao valor desejado provoca um aumento no sinal de saída deste.
2. Ação indireta (reversa): quando um aumento na variável do processo em relação ao valor desejado provoca um decréscimo no sinal de saída deste.

O controlador, a partir do erro existente entre o valor medido da saída e o valor desejado, gerará um sinal de controle que tem como objetivo reduzir o erro. A ação de controle é a forma pela qual o controlador produz o sinal de controle. Os controladores a seguir destacam-se pela sua grande aplicação comercial: controladores Liga-Desliga (*ON-OFF*), controladores Proporcionais (P), controladores Proporcionais-Integrativos (PI), controladores Proporcionais-Derivativos (PD) e controladores Proporcionais-Integrativos-Derivativos (PID).

Ação de controle liga-desliga (*on-off*)

Como o próprio nome indica, ela só admite duas posições para o elemento final de controle, isto é: totalmente aberto (100%) ou totalmente fechado (0%). Essa ação em duas posições é considerada a mais simples e a de menor custo, por isso é extremamente utilizada tanto em sistemas de controle industrial como doméstico. Assim, a variável manipulada é rapidamente mudada para o valor máximo ou para o valor mínimo, dependendo se a variável controlada está maior ou menor que o valor desejado. Tais controladores são adequados para processos lentos e que permitem certa flutuação da variável controlada, como no controle de nível líquido de um tanque, que utiliza um flutuado (uma boia, por exemplo) para abrir e fechar o contato do circuito de alimentação da bobina de uma válvula do tipo solenoide. Esse solenoide, se energizado, permite passagem da vazão máxima e, se desenergizado, bloqueia totalmente o fluxo do líquido para o tanque. Assim, esse sistema efetua o controle estando sempre em uma das posições extremas, ou seja, totalmente aberto ou totalmente fechado.

Ação de controle proporcional (P)

Para evitar a oscilação provocada no resultado de controle no tipo de ação liga-desliga anterior, foi desenvolvido um tipo de ação em que a ação corretiva produzida por esse mecanismo é proporcional ao valor do desvio, denominada de ação proporcional. Contudo, esse controle não consegue eliminar o erro de *off-set* (não consegue eliminar totalmente a diferença entre o valor desejado e o valor medido (variável controlada) quando há algum tipo de distúrbio no processo). Como um exemplo simples de controle utilizando apenas a ação proporcional novamente, podemos citar o controle de nível líquido de um tanque, em que a válvula de controle é aberta ou fechada proporcionalmente à amplitude do desvio.

Ação de controle Proporcional-Integrativos (PI)

Ao utilizar o controle proporcional, conseguimos eliminar o problema das oscilações provocadas pela ação *ON-OFF*, porém há o inconveniente da não eliminação do erro de *off-set* sem a intervenção do operador. Essa intervenção é aceitável em pequenos processos, mas não em grandes plantas industriais. Portanto, para resolução desse problema e eliminação do erro de *off-set*, desenvolveu-se uma nova unidade denominada ação integral. A ação integral vai atuar no processo ao longo do tempo enquanto existir diferença entre o valor desejado e o valor medido, de forma lenta, até eliminar por completo o erro.

Ação de controle Proporcional-Derivativos (PD)

Vimos até agora que o controlador proporcional tem sua ação proporcional ao desvio e que o controlador integral tem sua ação proporcional ao desvio *versus* tempo, isto é, eles só atuam em presença do desvio. O controlador ideal seria aquele que evitasse o aparecimento de desvios, o que na prática é praticamente impossível. Contudo, pode ser obtida a ação de controle que reaja em função da velocidade do desvio, ou seja, atuando fornecendo uma correção antecipada do desvio. Logo, no instante em que o desvio tende a acontecer, essa ação fornece uma correção de forma a prevenir o sistema quanto ao aumento do desvio, diminuindo, assim, o tempo de resposta.

Ação de controle Proporcional-Integrativos-Derivativos (PID)

O controle proporcional associado ao integral e ao derivativo, é o mais sofisticado tipo de controle utilizado em sistemas de malha fechada. A proporcional elimina as oscilações; a integral elimina o desvio de *off-set*; e a derivativa fornece ao sistema uma ação antecipativa, evitando antecipadamente que o desvio se torne maior quando o processo se caracteriza por ter uma correção lenta comparada com a velocidade do desvio, dando grande flexibilidade ao projeto de sistemas de controle. Um exemplo do uso desse tipo de controle é em processos com resposta lenta e sem muito ruído, como ocorre na maioria dos controles de temperatura.

No quadro 5, apresentam-se as características de cada tipo de controlador.

Quadro 5. Principais características dos controladores.

Controlador	Características
ON-OFF	» A correção independe da intensidade do desvio. » O ganho é infinito. » Provoca oscilações no processo. » Deixa sempre erro de <i>off-set</i>.
P	» Correção proporcional ao desvio. » Existência de uma realimentação negativa. » Deixa erro de <i>off-set</i> após uma variação de carga.
PI	» Correção depende não só do erro, mas também do tempo em que ele perdurar. » Ausência do erro de <i>off-set</i>. » Quanto maior o erro, maior será velocidade de correção. » No controle integral, o movimento da válvula não muda de sentido enquanto o sinal de desvio não se inverter.
Controlador	Características

PD	» Correção é proporcional à velocidade de desvio. » Não atua caso o desvio seja constante. » Quanto mais rápida a razão de mudança do desvio, maior será a correção.
PID	» Rapidez de operação. » Amortecimento adequado. » Precisão (erros de regime pequenos, ou nulos). » Imunidade a perturbações.

Fonte: Adaptado de Ogata (2003).

Tipos de configuração de controle

O estudo de sistemas de controle aplicados a processos industriais pode ser aperfeiçoado por meio do uso intensivo de ferramentas de simulação e por meio do uso de experimentos executados em aparatos especificamente projetados para esse fim. Particularmente algumas características presentes em diversos sistemas industriais podem ser mais bem compreendidas por meio do projeto de controladores digitais. Estes admitem maior flexibilidade na codificação de algoritmos mais sofisticados e que levam a resultados mais precisos (BEQUETTE, 2005).

Controle *feedback* (ou realimentado)

Esse tipo de sistema tem como objetivo manter a variável controlada próxima do valor desejado a despeito dos distúrbios. Isso é garantido pelo laço de realimentação. Para tanto, assume-se que o sistema esteja em equilíbrio e que ocorra um distúrbio de forma que a variável controlada torne-se maior que o valor de referência. O erro é, então, negativo, e a saída do controlador é reduzida, o que causa o decaimento da saída da planta. Essa realimentação é denominada negativa, porque a variável manipulada (saída do controlador) reage em oposição à variável controlada (saída da planta).

O conceito de realimentação sugere que uma simples malha de controle fechada utilizando um controlador PID seja suficiente para manter o valor de uma variável controlada dentro de limites pré-definidos. Contudo, na prática não funciona assim, pois existem limites. Às vezes, os distúrbios acontecem em tamanha magnitude, ou duram tanto, que um único controlador convencional PID não é capaz de atuar a tempo, e o controle é, então, perdido. Mesmo assim, o controle realimentado é uma importante técnica largamente difundida nos processos industriais. Entre suas vantagens, podem-se destacar:

- » A ação corretiva ocorre assim que a variável controlada desvia-se do ponto de ajuste, independente da fonte ou do tipo de distúrbio.
- » O controlador PID é versátil e robusto. Se as condições mudam, uma nova sintonia do controlador comumente produz um desempenho satisfatório.

Entretanto, o controle realimentado também apresenta certas desvantagens:

- » Nenhuma ação corretiva é tomada até que ocorra o desvio na variável controlada.
- » Ele não oferece ação de controle preditiva para compensar os efeitos de distúrbios conhecidos ou medidos.
- » Existem casos em que a variável controlada não pode ser mensurada *on-line*, e consequentemente esse controle não é realizável.

Exemplo: no controle de aquecimento de água, quando a vazão de vapor é constante o controle será considerado satisfatório, porém, se vazão de vapor variar mesmo que a abertura da válvula permaneça fixa, a temperatura também vai variar.

Controle *Feedforward* (ou alimentação direta)

Esses tipos de sistemas de controle têm ganhado alta aceitação na Engenharia Química nas últimas décadas, pois têm demonstrado suas habilidades para melhorar o controle, devido ao seu caráter antecipativo, que é interessante em face do comportamento dos processos químicos.

O controle *feedforward* objetiva medir as variáveis de perturbação, ajustando a variável manipulada e tomando as ações corretivas a fim de manter a variável controlada em torno do *setpoint*, evitando, assim, a propagação do erro. Nesse tipo de controle, qualquer distúrbio é corrigido imediatamente, antes de afetar a variável controlada. Além disso, a variável controlada não é utilizada, pois, de outra forma, constituiria um controle realimentado. Esse ponto é extremamente relevante, pois mostra como é possível controlar uma variável sem a necessidade de uma medição.

Smith e Corripio (2008) definem essa forma de controle como sendo uma estratégia “proativa”, pois, caso as medições ocorram de forma eficaz e a ação de ajuste seja

realizada corretamente, a variável controlada poderá não ser afetada, permanecendo próxima ao ponto fixo (valor desejado).

O controle *feedforward* puro tem como desvantagem o fato de que irá funcionar somente se forem consideradas características estáticas e dinâmicas do processo (capacitância térmica, resistência térmica), bem como a equação do processo. Ou seja, ele necessita de ferramentas matemáticas específicas para ser realizado quantitativamente. Em determinados casos, não é possível mensurar o distúrbio que entra no sistema. Nesses casos, o controle *feedforward* não é aplicável (MOREIRA, 2014).

Esse tipo de controle possui como vantagens principais:

- » correção do efeito dos distúrbios antes que a saída da planta seja afetada;
- » operação simultânea com o controlador realimentado. Erros grandes devido a distúrbios podem ser reduzidos com pequenos ganhos na malha realimentada.

Apesar das melhorias apresentadas pelo controle *feedforward* em relação ao *feedback*, ele possui algumas desvantagens como:

- » As variáveis de distúrbio precisam ser medidas *on-line*, o que não é viável para diversas aplicações.
- » É um controlador em malha aberta, portanto depende da constância dos parâmetros da planta.
- » A qualidade do controle depende da precisão no modelo do processo, ou seja, precisamos saber como a variável controlada responde a mudanças nos distúrbios e na variável manipulada.

O uso do controle *feedforward* apresenta uma resposta consideravelmente mais rápida que o controle *feedback*. Porém é importante destacar que a implementação e a operação do controle antecipatório necessitam de uma quantidade significativa de engenharia e treinamento e, portanto, não é muito utilizada, ao se comparar com o controle de realimentação (mais simples) (SMITH; CORRIPIO, 2008).

Na prática, o controle *feedforward* é frequentemente empregado em combinação com o controle *feedback*. Nesse caso, o controle *feedforward* é usado para reduzir os efeitos

dos distúrbios medidos, enquanto o controle *feedback* compensa as imprecisões no modelo do processo, erros de medição e distúrbios não mensurados.

Em sistemas não lineares, a adição de um controlador *feedforward* permite um ajuste ótimo do controlador *feedback*, pois a magnitude da perturbação que o controlador *feedback* deve dominar será reduzida pelo primeiro. As ações do controlador *feedforward* não são perfeitas, porque a dinâmica não é perfeita, mas há um melhoramento significativo em cima do controle *feedback* (GUERRA, 2001).

Controle em cascata

Então, por definição, o controle em cascata consiste no uso de duas ou mais malhas de controle por realimentação, que afetam umas às outras (figura 10). O uso mais comum refere-se ao de duas malhas (malha primária e secundária), sendo que a malha secundária é determinada como sendo aquela que responderá mais rapidamente às variações do distúrbio, tendo em vista que está ligada diretamente ao atuador (SMITH; CORRIPIO, 2008).

Essa estratégia de controle é utilizada quando ocorrem muitas perturbações no sistema, sendo necessário que haja uma monitoração mais rigorosa.

As principais vantagens do controle em cascata são:

- » Os distúrbios são corrigidos pelo controlador secundário antes que possam influenciar a variável primária.
- » As variações de ganho na parte secundária do processo são superadas dentro de sua própria malha.
- » O atraso de fase na parte secundária do processo é reduzida de forma mensurável pela malha secundária; dessa forma, a velocidade de resposta da malha primária é melhorada.
- » A malha secundária permite uma exata manipulação do fluxo de massa ou energia pelo controlador primário.

Contudo, é necessário reconhecer que o controle em cascata não pode ser implementado a menos que uma variável intermediária adequada possa ser medida. Muitos processos não podem ser facilmente quebrados dessa forma.

Controle por razão (ou relação)

O controle por razão é um caso elementar de controle por antecipação sendo utilizado, por exemplo, na mistura proporcional de reagente em um reator químico. O controle por razão utiliza uma variável manipulada em relação a outra para satisfazer um objetivo. Esse objetivo é manter a razão das duas variáveis do processo a um valor específico. Geralmente, uma das razões é determinada por outros sistemas da unidade ou fora dela. O objetivo do sistema de controle, então, é manipular a outra razão para que, mesmo que a primeira razão varie, a razão permaneça o mais constante possível.

O controle por razão é um tipo especial de controle *feedforward*, em que uma variável é manipulada em relação à outra para satisfazer um objetivo, que é manter a razão das duas variáveis do processo a um valor específico.

Controle seletivo (ou *override*)

A estratégia de controle seletivo é utilizada quando se tem mais de uma variável de processo a ser selecionada para atuar em apenas um controlador. Esse tipo de controle é usado para melhorar o desempenho de sistemas, para proteger equipamentos de condições operacionais perigosas ou em caso de falhas.

Em sistemas de controle de processo, muitas vezes se torna desejável limitar uma variável de processo em um valor (alto ou baixo), para se evitarem danos ao processo ou a equipamentos. Isso se obtém com o auxílio de seletores de sinal (alto ou baixo). Enquanto a variável está dentro dos limites preestabelecidos, o funcionamento do sistema é normal. Quando o valor da variável ultrapassa um desses limites, o sistema realiza ações determinadas. Ou seja, é uma forma de controle multivariável, em que a variável manipulada pode ser ajustada em qualquer momento, por uma variável, selecionada automaticamente entre diversas variáveis controladas.

O seletor é um dispositivo estático com várias entradas e uma saída. Existem dois tipos de seletores: de máximo e de mínimo (como citado anteriormente). Esse tipo de controle é usado para melhorar o desempenho de sistemas de controle assim como para proteger os equipamentos de condições operacionais que possam fugir muito do padrão e comprometer o processo. O uso de limites altos e baixos para variáveis de processo representa outro tipo de controle seletivo denominado *override*, em que um segundo controlador pode substituir (*override*) ou assumir a partir do primeiro controlador.

Os controles *override* são comumente usados em indústrias de processos, e a maioria das malhas de controle é corrigida com alguns tipos de controles de proteção. Esse tipo de controle é apresentado e discutido na maioria dos livros de controle de processos.

Um exemplo desse tipo de controle é uma coluna de destilação, a qual tem limites inferiores e superiores na entrada de calor para o refeedor da coluna. O nível mínimo assegura estoque líquido nas bandejas, enquanto o limite máximo existe para impedir o início de inundações. Outro exemplo de aplicação é em sistemas de controle de tiragem forçada de combustão para evitar um desequilíbrio entre o fluxo de ar e fluxo de combustível, o qual poderia resultar em condições operacionais perigosas.

As principais aplicações de controladores seletivos são objetivando: proteção de equipamentos, aumento da confiabilidade da malha de controle e otimização do controle do sistema, de modo que a variável com valor mais próximo do valor crítico seja a responsável pelo controle.

Controle *split range* (ou faixa dividida)

Essa configuração baseia-se em um sistema de controle que comanda duas faixas de malha *feedback* para controlar uma única variável de saída. É possível ter controle da temperatura de um reator por meio da manipulação das válvulas de admissão na jaqueta do reator e na serpentina que circula internamente. Portanto, há a ocorrência de atuação em duas variáveis manipuladas para controlar apenas a temperatura do reator.

As aplicações de controladores *Split-range* são largamente utilizadas na indústria, não só em controles de pressão e temperatura, mas também de vazão e nível, podendo atuar de diversas formas, como: atuação sequencial direta ou inversa, *overlapping* (sobreposição e simultâneo).



Caro estudante, você estudou sobre os conceitos de engenharia de processos e sobre a importância de suas etapas. Vale ressaltar que é muito importante que outras fontes sobre o assunto abordado sejam buscadas. Desse modo, sugerimos

a consulta do *link*: http://www.ene.unb.br/adolfo/Lectures/IEM/IEM_2016_Mecatronica_Eng_Quimica.pdf.

CAPÍTULO 1

Introdução aos conceitos estatísticos

A estatística tem sido utilizada pelo homem desde os princípios da existência, mesmo sob formas um pouco rudimentares. Antigamente, era utilizada apenas em problemas que envolviam contagens, como em contagens de animais ou de indivíduos das tribos.

O termo estatística deriva da palavra latina *status* (“coisas de estado”). Essa área há muito tempo adquiriu *status* de ciência, com inúmeras aplicações na maioria das áreas do conhecimento humano. É correto afirmar que atualmente não se pode realizar uma pesquisa científica sem utilizar metodologia estatística. Algumas definições importantes e comumente usadas em estatísticas são:

- » Fenômeno estatístico: qualquer evento analisado, cujo estudo seja possível a aplicação do método estatístico.
- » Dado estatístico: dado numérico que é considerado a matéria-prima sobre a qual se aplicam os métodos estatísticos.
- » População: conjunto total de elementos que possuam pelo menos uma característica comum.
- » Amostra: é uma parcela representativa da população que é avaliada objetivando a obtenção de conclusões sobre a essa população.
- » Parâmetros: são valores singulares que existem na população e que servem para caracterizá-la.
- » Estimativa: um valor aproximado do parâmetro que é calculado com o uso da amostra.

» Atributo: quando os dados estatísticos exibem um caráter qualitativo, o levantamento e os estudos imprescindíveis ao tratamento desses dados são designados de estatística de atributo.

» Amostragem: é o processo de escolha da amostra, sendo a parte inicial do processo.

As regras de amostragem podem ser classificadas em duas categorias gerais:

1. Probabilística: amostragem na qual a seleção é aleatória, de forma que cada elemento tem igual probabilidade de ser sorteado para a amostra.
2. Não probabilísticas: amostragem em que há uma escolha determinada dos elementos da amostra. Os tipos de amostragem podem ser:

» Amostragem aleatória simples: nesse processo, todos os elementos da população têm igual probabilidade de serem escolhidos, desde o início até o completo processo de coleta.

» Amostragem sistemática: trata-se de uma variação da amostragem simples ao acaso, muito conveniente quando a população está naturalmente ordenada, como fichas em um fichário ou listas telefônicas.

» Amostragem estratificada: quando se possui uma população com uma certa característica heterogênea, na qual se pode diferenciar subpopulações mais ou menos homogêneas, chamadas de estratos.

» Mensuração: atribuição de um número a qualidades de um objeto ou fenômeno segundo regras predeterminadas.

» Variável: o conjunto de resultados possíveis de um fenômeno.

Há quatro níveis básicos de mensuração (quatro tipos de variáveis): nominal, ordinal, intervalar e razão.

1. Escala nominal: o nível mais simplicista das escalas de medida, sendo empregada na classificação de objetos ou fenômenos em termos de igualdade dos seus atributos. O exemplo mais simples é formado pela divisão em duas classes, que são identificadas com os números zero ou um, a variável binária (0,1).

2. Escala ordinal: empregada quando os fenômenos ou observações podem ser arranjados segundo uma ordenação. Exemplos: grandeza, preferência, importância, distância, entre outros.
3. Escala intervalar: tem todas as características de uma escala ordinal, porém os intervalos entre os valores são conhecidos, e, assim, cada observação pode receber um valor numérico preciso. A extensão de cada intervalo sucessivo é constante. O ponto zero de uma escala intervalar é arbitrário e não indica ausência da característica medida. Exemplo: numeração dos anos e escalas de temperatura.
4. Escala de razão: semelhante às características de uma escala de intervalo, com a vantagem de que o ponto zero representa uma origem verdadeira (zero indica ausência de fenômeno). É considerada a mais precisa de todas. Exemplo: escala métrica, idades e distância, entre outras.

Segundo o nível introdutório, a estatística pode ser dividida em três grandes categorias:

1. Estatística descritiva, que está relacionada à descrição tabular, gráfica e paramétrica dos dados obtidos experimentalmente, por meio de procedimentos de amostragem ou de experimentos realizados.
2. Probabilidade e estatística matemática, que está relacionada à ocorrência dos eventos e das variáveis aleatórias que os descrevem, fornecendo os fundamentos da teoria estatística.
3. Inferência estatística, está relacionada à estimação por intervalo e por região, é representada através dos testes de hipóteses sobre parâmetros populacionais.

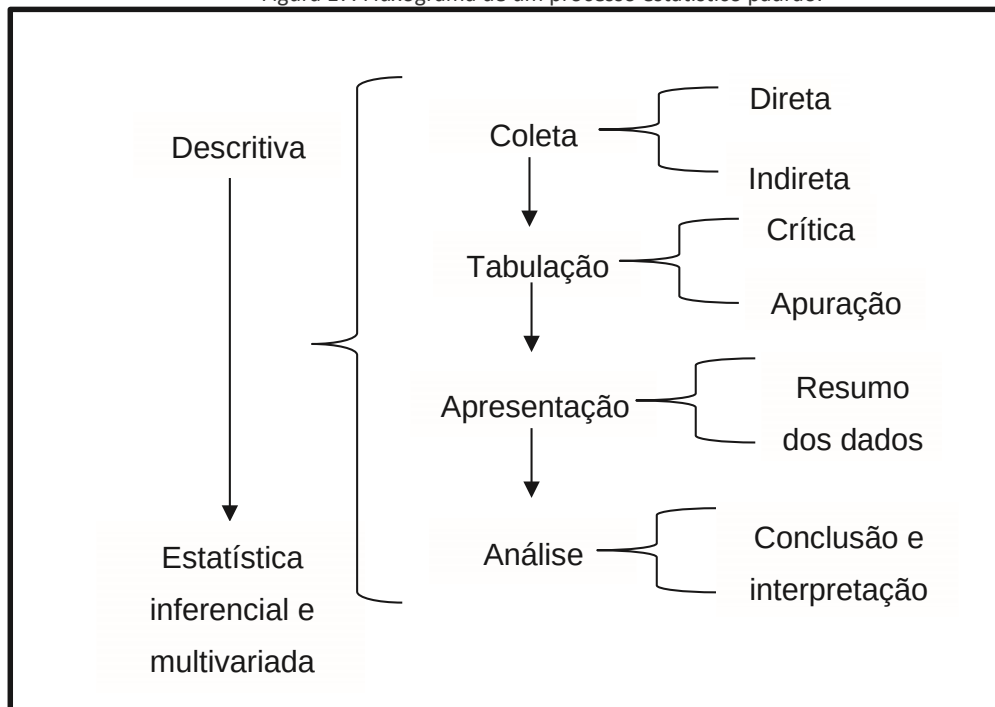
O emprego de grandes números de dados é uma prática comum nessa ciência e, para simplificar seu manuseio, faz-se uso de variáveis. Elas podem ser classificadas em variáveis quantitativas ou numéricas e variáveis qualitativas ou atributos:

- » Variáveis quantitativas ou numéricas são aquelas que descrevem quantidades, ou seja, seus valores são descritos por números. Elas podem ser ainda divididas em discretas (quando assumem um número determinado de valores no campo dos reais, por exemplo, contagens) e em contínuas (em outros casos, admitem valores fracionados). O conceito de variável discreta e contínua é considerado simples, contudo pode causar alguma confusão em tratamentos estatísticos mais elaborados.

- » Variáveis qualitativas ou atributos são aquelas que descrevem qualidades, ou seja, não se utiliza números para descrevê-las. Elas podem ser divididas em ordinais (se os valores agregam a ideia de ordem) e nominais (não agregam a ideia de ordem).

Independentemente da situação estudada, em áreas da medicina, engenharia ou qualquer outra atividade as etapas dos processos estatísticos são semelhantes. Na figura 17, podemos observar de forma detalhada as etapas básicas de um processo estatístico.

Figura 17. Fluxograma de um processo estatístico padrão.



Fonte: Adaptada de Cosentino, Moura Jr., da Costa, 2013. <<https://goo.gl/38ATrT>>.

Coleta de dados

Refere-se à obtenção, à reunião e ao registro sistemático de dados, com o objetivo já pré-definido. A escolha da fonte de obtenção dos dados está diretamente relacionada ao tipo do problema, aos objetivos do trabalho, à escala de atuação e à disponibilidade de tempo e recursos. Existem as fontes primárias (levantamento direto no campo por meio de mensurações diretas ou de entrevistas aplicadas a sujeitos de interesse para a pesquisa e as fontes secundárias (publicações ou registros por outra organização). A coleta de dados secundários é feita por meio de documentos cartográficos. Essas fontes de informação são de extrema relevância.

A coleta dos dados pode ser realizada de forma direta (quando são obtidos diretamente da fonte primária, como os levantamentos de campo por meio de questionários) ou indireta (quando é inferida a partir dos elementos conseguidos pela coleta direta, ou por meio do conhecimento de outros fenômenos que estejam relacionados com o fenômeno em questão).

Tabulação (crítica dos dados e apuração)

A crítica dos dados deve ser realizada cuidadosamente por meio de um trabalho de revisão e correção, denominado de crítica, objetivando a não ocorrência de erros que possam influenciar de maneira significativa nos resultados.

As perguntas dos questionários não entendidas, os enganos evidentes, tais como somas erradas, trocas de respostas, entre outros, são de correção fácil. Contudo, faz-se necessário que o crítico não faça a correção por simples suposição sua, mas sim que tenha chegado à conclusão total do engano.

O processo de apuração consiste no resumo dos dados por meio de sua contagem ou agrupamento. Por meio da apuração, é possível a condensação dos dados, obtendo-se um conjunto compacto de números, o qual possibilita diferenciar o comportamento do fenômeno na sua maioria.

Apresentação

Organização do conjunto de dados de modo prático e racional. Essa organização é denominada de Série Estatística. Sua apresentação pode ser através de tabelas ou gráficos. A apresentação utilizando tabelas consiste em preparar os dados em linhas e colunas distribuídos de modo ordenado, de acordo com algumas regras práticas seguidas pelo Conselho Nacional de Estatística. As tabelas têm a vantagem de conseguir expor, em um só local, os resultados sobre determinado assunto, de modo a se obter uma visão geral mais rápida daquilo que se pretende analisar. Já a apresentação por meio de gráficos consiste numa apresentação geométrica dos dados, isto é, ela permite que o analista obtenha uma visão rápida, fácil e clara do fenômeno e sua variação.

Análise

Obtenção de conclusões que auxiliem o pesquisador a resolver seu problema. A análise dos dados estatísticos está ligada fundamentalmente ao cálculo de medidas, cujo objetivo principal é descrever o fenômeno. Assim sendo, o conjunto de dados a

ser analisado pode ser expresso por números-resumo, que evidenciam características particulares desse conjunto.

Às vezes, é necessário resumir certas características das distribuições de dados por meio de determinadas quantidades, que são denominadas comumente de medidas. Existem medidas de posição e medidas de dispersão, consideradas mais importantes no campo da aplicabilidade prática do cotidiano. Tais medidas têm como objetivo: a localização de uma distribuição e a caracterização de sua variabilidade.

As medidas de posição, também chamadas de Tendência Central, são utilizadas para localizar a distribuição dos dados brutos ou das frequências sobre o eixo de variação da variável em questão. Veremos posteriormente, no capítulo 3 desta unidade, os três tipos principais de medidas de posição:

- » Média aritmética: é obtida somando todos os valores de um conjunto de dados e dividindo o valor encontrado pelo número de dados desse conjunto.
- » Mediana: é uma quantidade que, como a média, também caracteriza o centro de uma distribuição pertencente a um conjunto de dados.
- » Moda: é uma quantidade que, como a média, também caracteriza o centro de uma distribuição, indicando a região das máximas frequências.

As medidas de dispersão ou de variabilidade são consideradas complementos das informações fornecidas pelas medidas de posição. Essas medidas servem para indicar o “quanto os dados se apresentam dispersos em torno da região central”. Desse modo, caracterizam o grau de variação existente em um conjunto de valores.

Os principais tipos de medidas de dispersão são:

- » amplitude, definida como a diferença entre o maior e o menor valor do conjunto de dados;
- » variância, definida como a média dos quadrados das diferenças entre os valores em relação a sua própria média;
- » desvio padrão, definido como a raiz quadrada positiva da variância;
- » coeficiente de variação, definido como o quociente entre o desvio padrão e a média, sendo comumente expresso em porcentagem.

Como dito anteriormente, a estatística pode ser dividida em três categorias: descritiva, probabilidade e inferência.

Estatística descritiva

A estatística descritiva é a etapa inicial da análise empregada para descrever e resumir os dados, com o objetivo de facilitar a compreensão e a utilização da informação ali contida. Dessa forma, na estatística descritiva faz-se necessária a utilização de tabelas, gráficos, diagramas, distribuições de frequência e medidas descritivas a fim de avaliar o formato geral da distribuição dos dados, a verificação da ocorrência de valores não típicos, a identificação de valores típicos que informem sobre o centro da distribuição e a verificação do grau de variação presente nos dados.

Um dos objetivos da estatística é resumir os valores que uma ou mais variáveis podem assumir, para que se tenha uma visão global dessas variáveis. Isso é possível por meio das séries estatísticas que apresentam valores em tabelas e gráficos, fornecendo, de forma mais rápida e segura, informações das variáveis estudadas, permitindo, assim, determinações mais coerentes.

Tabelas

Por definição, é um quadro que resume um conjunto de dados dispostos segundo linhas e colunas de maneira sistemática. Denomina-se série estatística toda tabela que apresenta a distribuição de um conjunto de dados estatísticos em função da época, do local, ou da espécie (fenômeno). Numa série estatística, observa-se a existência de três fatores: o tempo, o espaço e a espécie. Conforme a variação de um desses elementos, a série estatística classifica-se em:

- » Série temporal, histórica ou cronológica: é a série cujos dados estão variando com o tempo.
- » Série geográfica, territorial ou de localidade: é a série cujos dados estão em correspondência com a região geográfica, isto é, o elemento variável é o fator geográfico (a região).
- » Série específica ou categórica: é a série cujos dados estão em correspondência com a espécie, isto é, variam com o fenômeno.

»

- » Séries mistas: são as combinações entre as séries anteriores constituindo novas séries denominadas séries mistas e são apresentadas em tabelas de dupla entrada. Como exemplo, pode-se citar uma Série Temporal-Específica, em que os elementos variáveis são o tempo e a espécie, e o elemento fixo é o local.
- » Série homógrada: é aquela em que a variável descrita apresenta variação discreta ou descontínua. São séries homógradas a série temporal, a geográfica e a específica.
- » Série heterógrada: é aquela na qual o fenômeno ou fato apresenta gradações ou subdivisões. Esse fenômeno varia em intensidade. Exemplo: a distribuição de frequências ou seriação.



É de extrema relevância saber que uma tabela nem sempre representa uma série estatística, pois pode ser um aglomerado de informações úteis sobre um determinado assunto. Fique atento!

Gráficos

Vale ressaltar que a apresentação gráfica é um complemento importante da apresentação em tabelas. A vantagem de um gráfico em relação à tabela está na possibilidade de uma rápida impressão visual da distribuição dos valores ou das frequências ressaltadas. Os gráficos proporcionam uma ideia, a princípio, mais satisfatória da concentração e dispersão dos valores, já que, por meio deles, os dados estatísticos são visualmente interpretáveis. Podemos dizer que os requisitos fundamentais de um gráfico são: simplicidade (deve possibilitar a análise rápida do fenômeno observado), clareza (deve possibilitar interpretações corretas dos valores do fenômeno) e veracidade (deve expressar a verdade sobre o fenômeno notado).

Os gráficos podem ser classificados quanto à forma e ao objetivo.

Os tipos de gráficos quanto à forma são:

- » Diagramas: gráficos geométricos dispostos em duas dimensões. São mais usados na representação de séries estatísticas (gráficos em barras horizontais, barras verticais – colunas, barras compostas, colunas superpostas, em linhas, e em setores).

Cartogramas: é a representação sobre uma carta geográfica. São mais empregados na Geografia, na História e na Demografia.

- » Estereogramas: representam volumes e são apresentados em três dimensões. São usados comumente em representações gráficas das tabelas de dupla entrada.
- » Pictogramas: a representação gráfica consta de figuras representativas do fenômeno. Esse tipo de gráfico tem a vantagem de despertar a atenção de qualquer público, pois possui forma sugestiva. Contudo, apresenta uma visão geral do fenômeno, o que é uma desvantagem, já que não mostra detalhes mais específicos.

Os tipos de gráficos quanto aos objetivos são:

- » Gráficos de informação: objetivam uma visualização rápida e clara da intensidade das categorias ou dos valores relativos ao fenômeno. São gráficos expositivos que procuram dispensar comentários explicativos, isto é, sendo o mais completo possível.
- » Gráficos de análise: objetivam fornecer informações importantes na fase de análise dos dados. Esses gráficos comumente vêm acompanhados de uma tabela e de um texto, destacando os pontos principais revelados pelo gráfico ou pela tabela.

Distribuição de frequências e gráficos

Uma forma eficiente de sumarização se faz necessária para um grande número de dados. Uma das formas comumente utilizadas para resumir e apresentar dados é por meio de tabelas de distribuição de frequências, podendo ser de dois tipos:

- » Classificação simples: representada por tabelas de frequências relacionadas a uma variável. As características dessas tabelas variam de acordo com o tipo de variável em estudo, podendo ser do tipo categórica ou do tipo numérica contínua.
- » Classificação cruzada: existem algumas situações em que é realizado um estudo de duas ou mais variáveis ao mesmo tempo. Com isso, surgem as
- »

distribuições conjuntas de frequências, isto é, relacionadas a duas variáveis, numéricas ou categóricas.

As distribuições de frequências podem ser também representadas graficamente de duas formas diferentes:

- » Histograma: consiste em um conjunto de retângulos contíguos cuja base é igual à amplitude do intervalo, e a altura proporcional à frequência das respectivas classes.
- » Polígono de frequências: que é constituído por segmentos de retas que unem os pontos cujas coordenadas são o ponto médio e a frequência de cada classe.

É importante mencionar também as medidas descritivas, que objetivam a redução de um conjunto de dados observados (numéricos) a um pequeno grupo de valores que deve fornecer toda a informação relevante relacionada a esses dados. Essas medidas podem ser classificadas em quatro grupos distintos:

- » Medidas de localização: indicam um ponto central no qual está localizada a maioria das observações. As medidas mais utilizadas são a média aritmética, a mediana e a moda.
- » Medidas separatrizes: indicam limites para proporções de observações em um conjunto, podendo ser utilizadas para construir medidas de dispersão.
- » Medidas de variação ou de dispersão: informam sobre a variabilidade dos dados. As medidas mais utilizadas são: a amplitude total, a variância, o desvio padrão e o coeficiente de variação.
- » Medidas de formato: informam sobre o modo como os valores se distribuem. As medidas mais utilizadas e precisas são as medidas de assimetria, que indicam se a maior proporção de valores está no centro ou nas extremidades, e as medidas de curtose, que descrevem grau de achatamento da distribuição.

Probabilidade

A probabilidade tem por finalidade descrever os fenômenos aleatórios, isto é, aqueles em que está presente a incerteza. Há dois tipos de modelos matemáticos:

- » Modelo determinístico: é apresentado como um modelo que estipule que as condições sob as quais um experimento será realizado possam determinar o resultado do experimento. O modelo determinístico necessita do uso de parâmetros pré-definidos em equações que definem processos precisos.

Modelos não determinísticos ou probabilísticos: trazem informações sobre a chance ou probabilidade de os acontecimentos ocorrerem.

Os conceitos básicos em probabilidade são experimentos aleatórios, espaço amostral e eventos.

- » Experimento aleatório (W): qualquer processo aleatório, que produza observações, e os resultados surgem ao acaso, podendo haver repetições no futuro.
- » Espaço amostral (S): é o conjunto de resultados possíveis, de um experimento aleatório. O número de elementos pode ser: finito (número limitado de elementos) e infinito (número ilimitado de elementos).
- » Evento: um evento (E) é qualquer subconjunto de um espaço amostral (S).

No conceito empírico de probabilidade, temos que o principal problema da probabilidade consiste na atribuição de um número a cada evento (E), o qual avaliará quão possível será a ocorrência de “E”, quando o experimento for realizado. Uma maneira de resolver a questão seria a determinação da frequência relativa do evento E ($f_r(E)$):

$$f_r(E) = \frac{\text{número de repetições do experimento}}{\text{número de ocorrências do evento}}$$

Sendo assim, a probabilidade pode ser definida como:

$$P(E) = \lim_{n \rightarrow \infty} f_r(E)$$

»

No conceito clássico (*a priori*) de probabilidade, temos que, se existe “a” resultados possíveis favoráveis a ocorrência de um evento “E” e “b” resultados possíveis não favoráveis, sendo estes mutuamente excludentes, então teremos:

$$P(E) = \frac{a}{a+b}$$

No conceito axiomático de probabilidade, define-se como seja (W) um experimento, e seja (S) um espaço amostral associado a (W). A cada evento (E) associa-se um número real representado por P(E), o qual denominaremos de probabilidade de E, satisfazendo algumas propriedades que são conhecidas como axiomas da teoria da probabilidade. Os axiomas, algumas vezes, inspiram-se em resultados experimentais para que a probabilidade possa ser confirmada experimentalmente.

Inferência estatística

Por definição, é um processo de raciocínio indutivo, em que se procura tirar conclusões indo do particular para o geral. É um tipo de raciocínio contrário ao tipo de raciocínio matemático, essencialmente dedutivo. É empregado quando o objetivo é o estudo de uma população, avaliando apenas alguns elementos dessa população, isto é, uma amostra. Por exemplo, numa pesquisa científica, geralmente, o processo ocorre da seguinte maneira: são feitos levantamentos amostrais, e experimentos são realizados com amostras, porém o pesquisador não quer suas conclusões limitadas à amostra com a qual trabalhou. Ao contrário, o objetivo é expandir os resultados que obteve para toda a população. Dessa forma, o pesquisador quer fazer inferência.

Para poder generalizar as conclusões obtidas da amostra para a população, é necessário que a amostra seja representativa da população, e não somente que os dados sejam descritos bem. Isso significa que a amostra deve possuir as mesmas características básicas da população relacionadas às variáveis que se deseja pesquisar. A partir disso, surgiu o conceito de erro provável. A possibilidade de erro é inerente ao processo de inferência, isto é, toda vez que se estuda uma população a partir de uma amostra, existe a possibilidade de se cometer algum tipo de erro de conclusão final. A maior aplicação da Inferência Estatística é fornecer métodos que admitam quantificar esse erro provável. Alguns conceitos fundamentais da Inferência Estatística foram estudados no capítulo 1, como população, amostra e amostragem.

Existem dois tipos de inferência: estimação de parâmetros e testes de hipóteses.

A estimação de parâmetros é realizada com o auxílio de um estimador, isto é, de uma fórmula que descreve o modo de calcularmos o valor de determinado parâmetro populacional. A estimação pode ser dividida em duas partes: estimação por pontos e estimação por intervalos.

- » Na estimação por ponto, o objetivo é usar a informação amostral e apriorística para se calcular um valor que seria, em certo sentido, nossa melhor avaliação quanto ao valor de fato do parâmetro em questão. Na estimativa por intervalo, utiliza-se a mesma informação com a finalidade de se produzir um intervalo que contenha o valor verdadeiro do parâmetro com algum nível de probabilidade. Como um intervalo está plenamente caracterizado por seus limites, a estimação de um intervalo equivale à estimação de seus limites.

- » O teste de hipótese é um procedimento estatístico em que se busca verificar uma hipótese a respeito da população, no sentido de aceitá-la ou rejeitá-la, partindo de dados amostrais, baseados na teoria das probabilidades. Há ainda as hipóteses subjacentes, que são aquelas informações que não se almeja que sejam expostas a testes, e as hipóteses testáveis, que consistem em suposições remanescentes que devem ser testadas. O teste de hipótese é composto de três passos fundamentais: definição das hipóteses, estabelecimento dos limites entre as regiões de aceitação e rejeição, e obtenção do valor amostral do teste estatístico.

Para garantir a independência entre os elementos da amostra, as escolhas devem ser feitas com reposição. Como os valores que compõem a amostra são aleatórios, qualquer função (total, média, variância, entre outros) dos elementos da amostra será também uma variável aleatória. Como as estatísticas são funções de variáveis aleatórias, também são variáveis aleatórias e, conseqüentemente, terão alguma distribuição de probabilidade com média, variância. A distribuição de probabilidade de uma estatística é chamada de distribuição amostral.

Dessa forma, a inferência estatística visa inferir para a população a partir da amostra. Assim, todas as informações que temos sobre a população são advindas da amostra, isto é, trabalhamos efetivamente com estatísticas, que são variáveis aleatórias. Desse modo, é extremamente necessário que conheçamos as distribuições amostrais dessas estatísticas. A média da amostra ($\bar{x}$) é a estatística mais utilizada devido a suas propriedades interessantes.



A inferência estatística é baseada em estatísticas amostrais. A chave para resolver as questões de inferência estatística consiste na caracterização probabilística da estatística amostral utilizada, identificando a distribuição de probabilidades da estatística amostral em causa e apurando os parâmetros importantes dessa distribuição.

O uso generalizado da distribuição normal na estatística deve-se ao Teorema Central do Limite, que apresenta três propriedades básicas:

- » A média da distribuição amostral é igual à média da população, e igual à média de uma amostra quando o tamanho da amostra tende ao infinito (segundo a Lei dos Grandes Números).
- » A forma da distribuição amostral tende a assumir a forma de sino à medida que se aumenta o tamanho da amostra, e aproximadamente normal, independentemente da forma da distribuição da população.

» A forma da distribuição amostral cresce em altura e decresce em dispersão à medida que o tamanho da amostra cresce.

Consideremos uma população com média μ e desvio padrão σ , e selecionemos várias amostras de tamanho n . Para cada uma dessas amostras, pode-se calcular a respectiva média. Pelo Teorema Central do Limite, a distribuição das médias dessas amostras tende para uma distribuição normal com média μ (igual à média da população) e com desvio padrão. O desvio padrão da distribuição das médias amostrais recebe o nome de erro padrão da média.



Caro estudante, você estudou sobre os conceitos de estatística mais utilizados em distintas áreas do conhecimento. Vale ressaltar que é muito importante que outras fontes sobre o assunto abordado sejam buscadas.

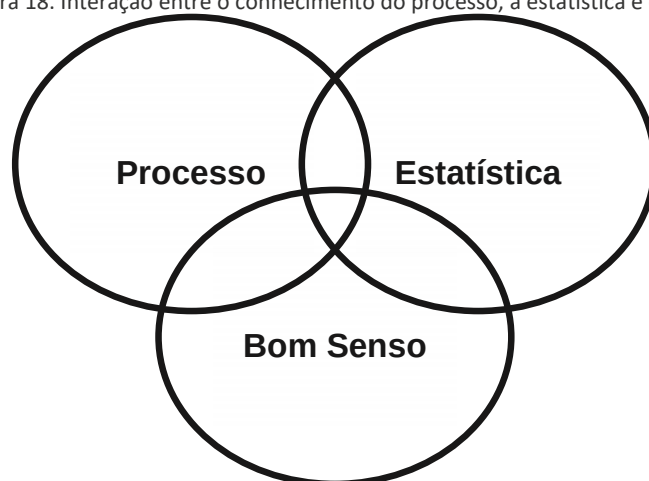
Desse modo, sugerimos a consulta do link: <<https://goo.gl/5QrkE6>>.

CAPÍTULO 2

Planejamento experimental

O aumento da necessidade da otimização de produtos e processos faz com que haja a minimização de custos e tempos, e a maximização de rendimentos, produtividades e qualidade de produtos, levando os profissionais de distintas formações a buscarem metodologias sistemáticas de planejamento de experimentos. Entretanto, para que a metodologia usada em planejamento alcance os objetivos esperados, faz-se necessária uma integração entre o processo, a estatística e o bom senso (figura 18).

Figura 18. Interação entre o conhecimento do processo, a estatística e o bom senso.



Fonte: Adaptada de Rodrigues e Lemma (2009).

Estudos recentes mostram que o modo científico apropriado para realizar um experimento seja o de variar um fator por vez, permanecendo fixos os outros fatores, o que não é necessariamente o ideal. Isso porque essa metodologia requer a realização de muitos experimentos, e isso não possibilita identificar se o efeito pode ser atribuído a um ou outro fator que foi mudado ou a uma combinação particular dos conjuntos de fatores considerados constantes. Por conseguinte, para ter confiança nos resultados obtidos, acrescentam-se mais experimentos. Desse modo, essa metodologia não pode ser utilizada nessa pesquisa que necessita avaliar o efeito de muitos parâmetros e variáveis, o que exigiria uma quantidade muito elevada de experimentos.

O planejamento experimental (também denominado de delineamento experimental) pode ser representado por um conjunto de ensaios estabelecido com critérios científicos e estatísticos, visando avaliar a determinação da influência de diversas variáveis nos resultados de determinado sistema (BUTTON, 2005). Assim, a determinação do número ótimo de experimentos conduz à obtenção de resultados com um dado grau de confiança,

sendo esse objetivo principal dividido em outros objetivos específicos, de acordo com o propósito dos ensaios:

- » determinação das variáveis que mais influenciam nos resultados;
- » atribuição de valores às variáveis influentes buscando a otimização dos resultados;
- » atribuição de valores às variáveis influentes buscando a minimização da variabilidade dos resultados;
- » atribuição dos valores às variáveis influentes buscando a minimização da influência de variáveis incontroláveis.

O emprego dos métodos estatísticos de planejamento experimental permite, entre outras vantagens:

- » a diminuição do número de ensaios sem prejudicar a qualidade da informação;
- » o estudo ao mesmo tempo de várias variáveis, separando seus efeitos;
- » a determinação da confiabilidade dos resultados;
- » a realização da pesquisa em etapas, com acréscimo de novos ensaios quando necessário;
- » a seleção das variáveis que influenciam num dado processo que possui número reduzido de ensaios;
- » o processo estudado pode ser representado por meio de expressões matemáticas e suas conclusões a partir de resultados qualitativos.

Com isso, é extremamente relevante ressaltar que o planejamento experimental é um instrumento de engenharia importantíssimo para melhoria de processos já existentes, assim como no desenvolvimento de novos processos. A utilização dessas técnicas de modo adequado no desenvolvimento do processo permite: melhor produção, uma redução da variabilidade de resultados, assim como redução nos tempos de análise e nos custos envolvidos.

O planejamento experimental sugere o estudo de variáveis por meio de análise multivariada. Tal metodologia permite não só identificar as variáveis que influenciam

positivamente ou negativamente as respostas desejadas, assim como, na influência exercida pela interação entre elas, permitindo a otimização do sistema ou processo sob análise. A análise univariada não permite verificação das interações entre variáveis, uma vez que estas são estudadas uma de cada vez (RODRIGUES; LEMMA, 2015).

O planejamento experimental deve ser fundamentado em uma metodologia estatística a fim de que os resultados possam ser avaliados por meio de métodos estatísticos, levando, assim, a conclusões objetivas. Para a definição dos ensaios em um planejamento experimental, podemos citar três técnicas fundamentais:

1. Réplicas: consiste na repetição de um ensaio sob condições predeterminadas, para obtenção da estimativa do erro experimental, como esse erro influencia nos resultados dos ensaios e, ainda, se esses resultados são diferentes estatisticamente. Também é possível verificar a influência de determinada variável sobre o comportamento de um processo, quando a comparação é feita pela média das amostras.
2. Aleatorização (ou randomização): consiste na sequência dos ensaios aleatória, sendo a seleção dos materiais utilizados nesses ensaios também aleatória. Ao fazer uso de uma sequência aleatória (por exemplo: 8, 5, 9, 1, 12, 3, 7, 4 e 11), os erros experimentais por causa de alguma variável não controlável seriam distribuídos ao longo de todo o procedimento, aleatorizando-o e permitindo sua análise estatística.
3. Blocos: consiste na realização dos experimentos com precisão elevada, com redução da influência de variáveis não controláveis. Um bloco é uma parte do material experimental que possui como atributo o fato de ser mais homogêneo que o conjunto completo do material avaliado. O uso de blocos abrange comparações entre as condições de interesse na experimentação dentro de cada bloco. Na análise com blocos, a aleatorização é limitada à sequência de ensaios interna dos blocos, e não ao conjunto total de ensaios.



Caro estudante, o avanço de um planejamento de experimentos dependerá, na maior parte, de como este é estruturado e como será realizado, assim como a compreensão dos seus objetivos antes de qualquer ação para executá-lo. Montgomery (2012) relatou um roteiro para elaboração de um planejamento de experimentos, composto pelas seguintes etapas utilizadas em estudos atuais:

1. Identificação e definição do problema: depende, na maior parte, da experiência já adquirida no estudo de processos análogos.

2. Seleção dos fatores e dos níveis: é importante verificar como essas variáveis serão controladas nos níveis escolhidos e como eles serão medidos. Por exemplo, quando se deseja averiguar a influência de uma variável específica, deve haver a redução do número de níveis, além da manutenção das outras variáveis influentes em níveis tão constantes quanto possível.
3. Seleção da variável resposta: o critério para essa escolha é de que o erro experimental de medida da variável de resposta seja mínimo, admitindo a análise estatística dos dados, com um número mínimo de réplicas.
4. Seleção do planejamento experimental: a seleção do planejamento envolve o tamanho da amostra (número de repetições), a sequência de execução dos ensaios, necessidade de aleatorização ou do emprego de blocos.
5. Realização do experimento: é de extrema importância monitorar e controlar o processo, para assegurar que tudo esteja sendo realizado segundo o planejamento estabelecido e para que haja a validade experimental deste.
6. Análise dos resultados: faz-se uso de métodos estatísticos, buscando conclusões objetivas. É importante compreender que não é possível afirmar se uma dada variável apresenta ou não determinado efeito, pois esses métodos garantem apenas a confiabilidade e a validade dos resultados, de maneira que se possa fazer a determinação do erro associado nas conclusões.
7. Conclusões: admitirão que decisões sejam adotadas a respeito do processo avaliado em estudo. Uma documentação com o uso de gráficos e tabelas permite que se exibam os resultados obtidos, a análise efetuada, assim como futuras repetições da metodologia empregada, caso necessite.

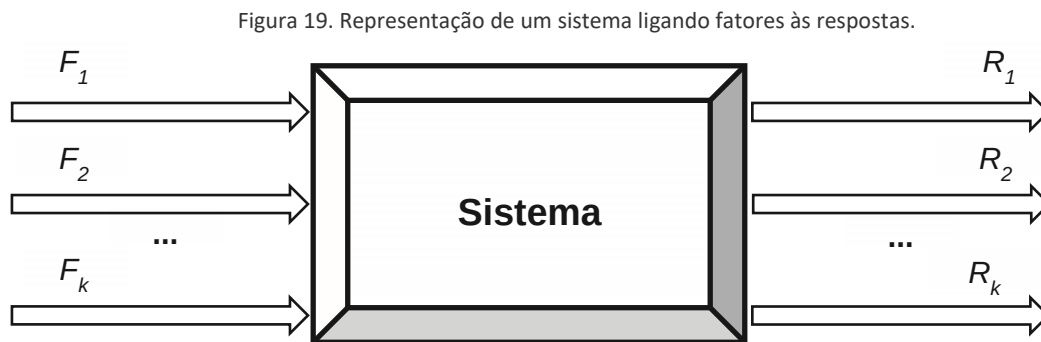
Planejamento fatorial completo

Para executar um planejamento fatorial, faz-se necessário, em primeiro lugar, determinar os níveis em que cada fator será analisado. Isso significa dizer que haverá uma seleção dos valores dos fatores que serão empregados. Em um planejamento fatorial, faz-se necessária a execução de experimentos para todas as possíveis combinações dos níveis dos fatores. Cada experimento, no qual o sistema é submetido, é considerado um ensaio experimental. Por exemplo, possuindo quatro níveis num fator e três no outro, serão necessários $4 \times 3 = 12$ ensaios distintos, e o planejamento é denominado de fatorial 4×3 . Geralmente, se houver n_1 níveis do fator 1, n_2 do fator 2, ..., e n_k do fator k, o planejamento será um fatorial $n_1 \times n_2 \times \dots \times n_k$ de experimentos. Esse é considerado o número mínimo para que se realize um planejamento fatorial completo. A repetição dos ensaios pode ser

realizada objetivando a obtenção de uma estimativa do erro experimental, o que consequentemente aumenta o número total de experimentos.

Havendo k fatores, ou seja, k variáveis controladas pelo experimentador, o planejamento de dois níveis irá requerer a realização de $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ ensaios distintos, sendo denominado, assim, de planejamento fatorial 2^k (BARROS NETO; SCARMÍNIO; BRUNS, 2010).

A figura 19 apresenta um dado número de fatores $F_1, F_2, \dots, F_k$, atuando sobre o sistema estudado, produzindo as respostas $R_1, R_2, \dots, R_k$. O sistema é representado por uma função não conhecida que atua sobre as variáveis de entrada (os fatores) e, como saída, produz as respostas.



Fonte: Adaptada de Barros Neto, Scarminio e Bruns (2010).



Caro estudante, abaixo são apresentadas algumas definições importantes em planejamento de experimentos, caso você ainda tenha dúvidas:

» Fatores ou variáveis independentes: são condições que podem sofrer variações no sistema, como a concentração de reagentes, força iônica, pH, temperatura, pressão, entre outros.

» Níveis: é a faixa de variação que um fator poderá sofrer.

» Resposta ou variável dependente: é a variável de interesse e que sofre a influência dos diferentes fatores ou variáveis independentes.

A seguir, é apresentado um exemplo para ilustrar a execução e a avaliação dos resultados de um planejamento fatorial completo. A partir desse exemplo, serão apresentados alguns conceitos fundamentais que depois poderão ser utilizados em planejamentos envolvendo um número de fatores qualquer.

Planejamento fatorial 2^2

Exemplo: estudar os efeitos do aumento da temperatura e da mudança de catalisador sobre o rendimento de uma reação, mostrando como realizar um planejamento fatorial 2^2 e como avaliar os resultados gerados.

Os níveis escolhidos foram: 40 °C e 60 °C para a temperatura, e A e B para o catalisador. Para realizar o planejamento 2^2 , devemos realizar ensaios e registrar as respostas observadas (os rendimentos, nesse caso) em todas as quatro possíveis combinações dos níveis escolhidos: (40 °C, A), (40 °C, B), (60 °C, A) e (60 °C, B). A lista dessas combinações é apresentada na tabela 3, juntamente com os rendimentos alcançados nos experimentos. Note que todos os ensaios foram realizados em duplicata, produzindo no total oito respostas. Com isso, podemos fazer a estimativa do erro experimental de uma resposta em particular. A extensão desse erro é importante para decidirmos se existem ou não efeitos significativos que possamos atribuir à ação dos fatores.

Cálculos dos efeitos

Observando a tabela 3, quando usamos o catalisador A e aumentamos a temperatura de 40 °C para 60 °C (ensaio 1 e 2), o rendimento médio aumenta de 59% para 90%, ou seja, um aumento de 31%. Quando o catalisador é do tipo B (ensaio 3 e 4), o rendimento aumenta apenas $68 - 54 = 14\%$. Isso mostra que o efeito da temperatura, isto é, o que acontece com o rendimento da reação quando elevamos a temperatura de 40 °C para 60 °C, depende do nível em que o catalisador está. O efeito do catalisador, por sua vez, também depende do nível da temperatura. A 40 °C (ensaio 1 e 3), a mudança de catalisador diminui o rendimento médio em 5%. A 60 °C (ensaio 2 e 4), a redução passa a ser de 22%. Quando o efeito de uma variável depende do nível de outra, como nesse exemplo, dizemos que as duas variáveis interagem e, então, podemos calcular o valor do efeito de interação entre elas.

Tabela 3. Resultado de um planejamento fatorial 2^2 .

Ensaio	Temperatura (°C)	Catalisador	Rendimento (%)		Média
1	40	A	57	61	59
2	60	A	92	88	90
3	40	B	55	53	54
4	60	B	66	70	68

Fonte: Barros Neto, Scarminio e Bruns (2010).

Por definição, o efeito principal da temperatura é a média dos efeitos da temperatura nos dois níveis do catalisador. Usando a letra **T** para representar esse efeito, e sendo y_i a resposta média observada no i -ésimo ensaio, podemos escrever:

$$T = \frac{y_2 + y_4 - y_1 - y_3}{2}$$

$$T = \frac{90 - 59}{2} + \frac{68 - 54}{2} = 22,5\%$$

Esse valor sugere que o rendimento da reação aumenta 22,5%, em média, quando a temperatura passa de 40 °C (nível inferior) para 60 °C (nível superior). Essa conclusão, contudo, não está completa, pois há uma interação entre a temperatura e o catalisador, fazendo-se necessária uma interpretação dos efeitos dos dois fatores juntos, para não deixar dúvidas sobre a interação que existe entre eles.

Podemos reescrever a equação abaixo como a diferença entre duas médias:

$$T = \frac{y_2 + y_4}{2} - \frac{y_1 + y_3}{2}$$

Como y_2 e y_4 pertencem ao nível (+) e y_1 e y_3 pertencem ao nível (-) do fator temperatura, observamos que o efeito principal **T** é a diferença entre a resposta média no nível superior e a resposta média no nível inferior desse fator:

$$T = \bar{y}_+ - \bar{y}_-$$

A expressão acima vale para qualquer efeito principal num planejamento fatorial completo de dois níveis e pode ser considerada como uma alternativa de efeito principal. Para o catalisador, na nossa escolha de sinais, o nível superior corresponde aos ensaios 3 e 4, e o inferior aos ensaios 1 e 2. O efeito principal do catalisador se dará utilizando a equação anterior:

$$C = \frac{y_3 + y_4}{2} - \frac{y_1 + y_2}{2} = 13,5\%$$

O efeito notado é negativo: quando trocamos o catalisador A pelo catalisador B, o rendimento cai 13,5%. Se, por outro lado, na seleção de sinais tivéssemos invertido as posições e colocado o catalisador A, ao invés do B, no nível superior, o efeito calculado teria sido $C = +13,5\%$. Contudo, na prática, a conclusão seria a mesma: há uma diferença entre os rendimentos obtidos com os dois catalisadores, e os resultados do catalisador B

são, em média, 13,5% mais baixos. Não havendo essa interação, o efeito da temperatura deverá ser o mesmo com qualquer catalisador. O efeito da temperatura é +31% com o catalisador do tipo A, mas cai para +14% quando usamos o tipo B. Como na ausência de interação esses dois valores deveriam ser idênticos, podemos tomar a diferença entre eles como uma medida da interação entre os fatores **T** e **C**. Por definição, então, a metade da diferença é o efeito de interação entre os dois fatores. Usando **TxC** para representar esse efeito, temos:

$$TxC \quad TC \quad 14 - 31 \quad \frac{\quad}{2} \quad 8,5\%$$

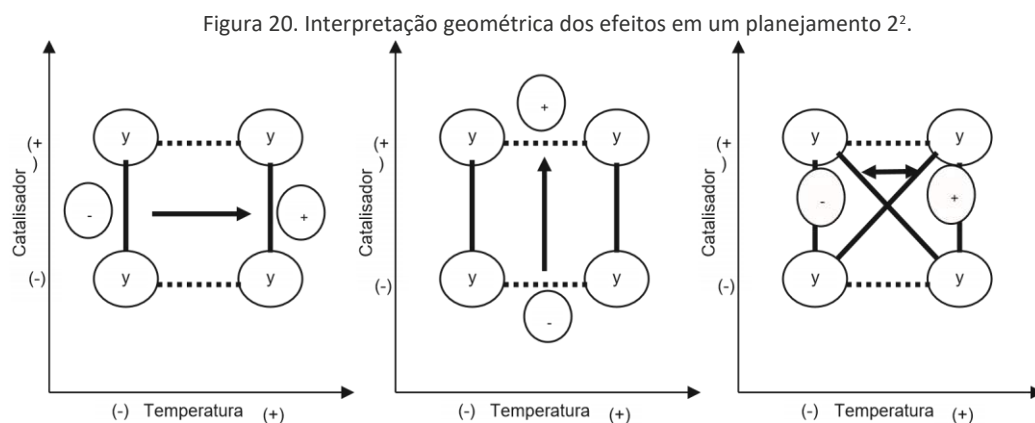
Identificando as respostas segundo os ensaios em que foram obtidas, temos:

$$TC \quad \frac{y_4 y_3}{2} \quad \frac{y_2 y_1}{2} \quad \frac{y_1 y_4}{2} \quad \frac{y_2 y_3}{2}$$

As equações anteriores mostram que, para calcular qualquer efeito, utilizamos todas as respostas observadas. Vale lembrar que cada efeito é a diferença de duas médias, ou seja, metade das observações colabora para uma das médias, e a outra metade aparece na outra média.

Interpretação geométrica dos efeitos

Uma interpretação geométrica aos efeitos que foram calculados pode ser apresentada. Para isso, representamos o planejamento experimental num sistema cartesiano, com um eixo para cada fator. Os quatro ensaios são colocados nos vértices de um quadrado. Os efeitos principais são as diferenças médias entre valores localizados em arestas opostas e perpendiculares ao eixo do fator correspondente. Já o efeito de interação é o contraste entre as duas diagonais, considerando-se positiva a diagonal que liga o ensaio (- -) ao ensaio (+ +).



Fonte: Barros Neto, Scarminio e Bruns (2010).

Estimativa de erro

Os ensaios da tabela 3 foram realizados em duplicata, para a estimação do erro experimental e avaliação dos efeitos significativos estatisticamente, contudo é preciso que a réplica seja uma repetição autêntica de todos os testes realizados. Esse ponto é importante porque, se as repetições forem feitas inadequadamente, os erros irão parecer menores do que na realidade são, e isso pode gerar efeitos significativos onde não existem. Como foram realizadas em duplicatas nas observações individuais, a estimativa combinada da variância de uma observação individual pode ser obtida por:

$$\frac{s_y^2}{2}$$

Usando o valor da estimativa de $s^2=6,5$ no lugar de σ^2 , podemos obter uma estimativa com 4 graus de liberdade, do erro padrão de um efeito desse experimento:

$$sefeito \sqrt{\frac{2}{2}} 1,80\%$$

Interpretação dos resultados

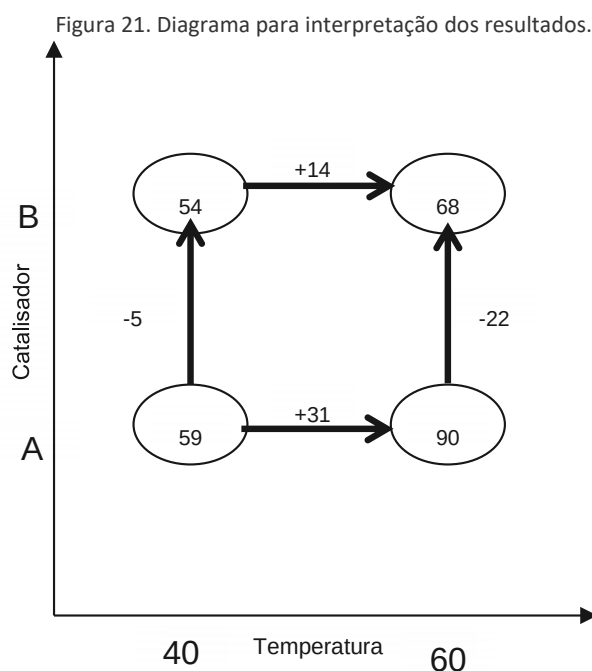
A tabela 4 contém os resultados da análise dos dados da tabela 9, incluindo o rendimento médio global, que também é uma combinação linear de todas as observações. É importante ressaltar que apenas os efeitos calculados significativamente diferentes de zero são considerados. Aplicando o critério de que só consideraremos estatisticamente significativo, com 95% de confiança, um efeito cujo valor seja superior a $t_4 \times s(\text{efeito}) = 2,776 \times 1,8\% = 5,0\%$, vemos que todos eles são significativos.

Tabela 4. Efeitos calculados para o planejamento fatorial 2^2 .

Média global	67,75 ± 0,9
Efeitos principais:	
T	22,5 ± 1,8
C	-13,5 ± 1,8
Efeito de interação	
TC	- 8,5 ± 1,8

Fonte: Barros Neto, Scarminio e Bruns (2010).

Como o efeito de interação é significativo, os principais efeitos devem ser interpretados juntos, com isso traça-se um diagrama contendo as respostas médias em todas as combinações de níveis das variáveis (figura 21).



Fonte: Barros Neto, Scarminio e Bruns (2010).

Portanto, podemos concluir que:

- Aumentando a temperatura, aumentamos também o rendimento da reação, sendo esse efeito mais visível com o uso do catalisador A do que com o uso do catalisador B (+31% contra +14%).
- O rendimento da reação sofre redução se alterarmos o catalisador A pelo catalisador B, e esse efeito é visivelmente mais significativo a 60 °C do que a 40 °C (-22% contra -5%).
- Os maiores rendimentos (90%, em média) foram obtidos utilizando o catalisador A e sob temperatura de 60 °C.



Sobre o assunto discutido nesse capítulo, podemos encontrar ainda conteúdo para estudar. Então, para que você possa compreender melhor sobre planejamentos fatoriais completos, sugerimos a consulta ao *link* <<https://goo.gl/q9CheV>>.

Planejamento fatorial fracionário

Os planejamentos experimentais são planejamentos fatoriais, isto é, as influências de todas as variáveis experimentais de interesse são analisadas, assim como os efeitos de interação entre elas sobre a resposta ou respostas sob análise. Estudando-se as variáveis em pelo menos dois níveis, pode-se determinar os efeitos destas sobre as respostas de interesse. Um planejamento fatorial constituído de 2^k experimentos, apresenta uma

combinação de k variáveis em dois níveis. Quanto maior o número de variáveis investigadas, maior será o número de experimentos necessários para realizar um planejamento fatorial completo (BARROS NETO; SCARMÍNIO; BRUNS, 2010). Uma alternativa de minimizar o número de experimentos realizados é a utilização de planejamentos fatoriais fracionários, ao invés dos fatoriais completos relatados anteriormente.

O fundamento de um projeto fatorial fracionário está baseado em utilizar o fato de que um projeto fatorial é ortogonal e que as interações mais altas não são significativas, isto é, utilizam-se as interações de mais alta ordem para bloquear fatores extras. Portanto, a fração é considerada um subgrupo de todas as combinações possíveis de serem feitas. A análise dos fatoriais fracionários é direta e, em função de sua estrutura, a utilização de um fatorial fracionário não impede a possibilidade de uma complementação posterior de todo o experimento fatorial.

Em um experimento fatorial completo, existem 2^k tentativas experimentais. Na análise de um fatorial completo, temos a média geral, k efeitos principais ($2^k - k - 1$) efeitos de interações. Os 2^k experimentos podem ser empregados para fornecer estimativas independentes de todos os 2^k efeitos. Num fatorial fracionário (a fração $1/2^p$), haverá apenas 2^{k-p} experimentos, logo somente 2^{k-p} estimativas independentes são possíveis. No planejamento de planos fracionários (isto é, na seleção do subgrupo ideal do total das 2^k combinações), o objetivo é manter cada uma das 2^{k-p} estimativas o mais independente possível, isso significa dizer que faz-se necessário manter as estimativas dos efeitos principais e, ainda, as interações de segunda ordem sem tendências. Na tabela 5, mostra-se um exemplo do número de tratamentos dos fatoriais completo e fracionado, para diferentes valores de p , sendo p a ordem de redução do fatorial completo.

Tabela 5. Número de tratamentos para k fatores com dois níveis (completo e fracionário).

k	Fatorial 2^k	Fatorial 2^{k-1}	Fatorial 2^{k-2}	Fatorial 2^{k-3}
2	4	2	1	-
3	8	4	2	1
4	16	8	4	2
5	32	16	8	4

Fonte: Adaptada de Barros Neto, Scarmínio e Bruns (2010).

Logo, chegamos à seguinte conclusão: o tamanho da fração influenciará no possível número de efeitos estimados e, conseqüentemente, no número de experimentos a serem

realizados (RODRIGUES; LEMMA, 2015). Um planejamento fatorial fracionado 2^{5-1} terá metade dos experimentos de um planejamento fatorial completo 2^5 a serem realizados, pois serão realizados $2^4 = 16$ em vez de $2^5 = 32$ experimentos no planejamento fatorial completo.

Montgomery (2012) ressalta justificativas para a utilização das técnicas de experimentos fatoriais fracionados:

- » Na dispersão dos efeitos, isto é, quando vários fatores de controle são avaliados, é provável que o processo sofra influência apenas de alguns efeitos principais e de interação de ordem inferior.
- » A propriedade de projeção: nesse caso, os experimentos fatoriais fracionados podem ser delineados em matrizes maiores, construídas a partir de um subconjunto de fatores significativos.
- » A experimentação sequencial: ocorre quando é possível fazer a combinação das corridas de dois ou mais experimentos fatoriais fracionados.

Os planejamentos fatoriais completos e, principalmente, os fatoriais fracionários podem ser empregados na triagem e na determinação das variáveis significativas que influenciam um determinado processo. Utilizando a metodologia de análise de superfície de resposta, é possível encontrar valores que irão produzir a melhor resposta desejada. Essa metodologia é baseada na criação de modelos matemáticos que descrevem o sistema estudado (TEÓFILO; FERREIRA, 2006).

Planejamento fatorial 2^{k-1}

Vamos considerar o experimento fatorial 2^{3-1} , isto é, a fração um meio do 2^3 (oito tratamentos). Assim, só realizaremos quatro tratamentos:

$$\frac{1}{2} 2^3 = 2^{3-1} = 2^2 = 4$$

A tabela 6 abaixo apresenta os sinais de + e – para o fatorial 2^3 .

Tabela 6. Sinais (+ e -) para o planejamento fatorial 2^3 .

Tratamentos	Efeitos fatoriais						
	I	A	B	C	AB	AC	BC

a	+	+	-	-	-	-	+	+
b	+	-	+	-	-	+	-	+
c	+	-	-	+	+	-	-	+
abc	+	+	+	+	+	+	+	+
ab	+	+	+	-	+	-	-	-
ac	+	+	-	+	-	+	-	-
bc	+	-	+	+	-	-	+	-
(1)	+	-	-	-	+	+	+	-

Fonte: Montgomery (2012).

As rodadas dos planejamentos 2^{3-1} resultam em três graus de liberdade associados aos efeitos principais. Pela tabela 6, obtemos as estimativas dos efeitos principais:

$$\frac{1}{2} \bar{A} a \quad b \quad c \quad abc$$

$$\frac{1}{2} \bar{B} l_a \quad b \quad c \quad abc$$

$$\frac{1}{2} \bar{C} a \quad b \quad c \quad abc$$

As estimativas das interações também podem ser obtidas a partir da tabela 6 – o mesmo ocorre com AC e AB.

$$\frac{1}{2} \bar{BC} a \quad b \quad c \quad abc$$

Assim, a combinação linear de observações na coluna A, l_A dá a estimativa de A + BC. Analogamente, l_B , dá a estimativa de B + AC e l_C , a estimativa de C + AB. Dois ou mais efeitos que tenham essa característica são denominados de aliases. No planejamento 2^{3-1} , A e BC são aliases, bem como B e AC, e C e AB. Os aliases são resultado direto da replicação fracionada.

Se um ou mais fatores de uma fração um meio podem ser omitidos, o planejamento se projetará em um planejamento fatorial completo. Se considerarmos que no máximo dois ou três fatores são importantes, o planejamento 2^{3-1} é um planejamento satisfatório para identificar os fatores significantes, resultando em um experimento mais forte nos fatores ativos que permanecem.

As resoluções dos planejamentos fatoriais fracionados ocorrem de acordo com o padrão de aliases que produzem:

- » Planejamento de resolução III: nesses planejamentos, nenhum efeito principal é aliase de qualquer outro efeito p , principal, mas os efeitos principais são aliases das interações de dois fatores, as interações de dois fatores podem ser aliases umas das outras. O planejamento 2^{3-1} com $I = ABC$ é de resolução III. Usualmente utiliza-se numeral romano subscrito para indicar a resolução de planejamento, assim a fração um meio é um planejamento 2_{III}^{3-1} .
- » Planejamento de resolução IV: nesses planejamentos, nenhum efeito principal é aliase de qualquer outro efeito principal nem de interações de dois fatores, mas as interações de dois fatores são consideradas aliases umas das outras. O planejamento 2^{4-1} com $I = ABCD$ é de resolução 2_{IV}^{4-1} .
- » Planejamento de resolução 5: nesse tipo de planejamento, nem o efeito principal nem a interação de dois fatores são aliases de qualquer outro efeito principal ou interação de dois fatores, mas as interações de dois fatores são aliases das interações de três fatores.

Algumas precauções devem ser ressaltadas para obtenção do máximo de informação na realização do planejamento fatorial. Entre elas, está a necessidade de realizar repetições de alguns ensaios a fim de estimar o erro experimental. É importante que as replicatas sejam repetições autênticas, representando adequadamente o espaço experimental no qual o planejamento fatorial foi desenvolvido. Outra precaução refere-se à realização dos experimentos: todos os ensaios e replicatas previstos no desenvolvimento do fatorial devem ser realizados de forma aleatória. Essas precauções visam evitar distorções estatísticas que possam comprometer a qualidade dos resultados obtidos e dos efeitos calculados para as variáveis estudadas (BRASIL *et al.*, 2007).



A metodologia de resposta (ou RSM, de *Response Surface Methodology*) é uma técnica de otimização com base em planejamentos fatoriais, que foi introduzida por GEP Box nos anos 1950, e tem sido utilizada desde então, apresentando resultados satisfatórios na modelagem de diversos processos industriais. As superfícies de respostas são utilizadas quando as variáveis de resposta são influenciadas por muitas variáveis independentes, e o objetivo é otimizar essas respostas, tendo duas etapas distintas e importantes (BARROS NETO; SCARMÍNIO; BRUNS, 2010):

- » Modelagem: repetições tantas vezes quantas forem necessárias, visando atingir uma região ótima da superfície investida. Normalmente é feita com ajuste de modelos simples (lineares ou quadráticos) e as respostas são obtidas com planejamentos fatoriais.
- » Deslocamento: máxima inclinação de um determinado modelo, ou seja, é a trajetória na qual a resposta varia de forma mais pronunciada.

Exemplificando, temos: o rendimento de um determinado processo é função de dois fatores, x_1 e x_2 , sendo ε o erro observado ou o ruído na resposta y :

$$y = f(x_1, x_2) + \varepsilon$$

O primeiro passo na utilização da metodologia de superfície de resposta é determinar a relação matemática entre a variável de resposta e as variáveis independentes. Se esse polinômio de menor grau ajustar bem a resposta, a função é, então, dada por um modelo denominado de modelo de primeira ordem:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

Se houver curvatura no sistema, então o modelo de segunda ordem ou quadrático deve ser utilizado como apresentado na equação abaixo:

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_j + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} X_j^2$$

A metodologia do uso de superfície de resposta é sequencial, ou seja, quando se está longe do ponto ótimo de resposta, o modelo de primeira ordem é ajustado bem aos dados. Todavia, quando se objetiva otimizar, procura-se uma estratégia eficiente de rapidamente se encontrar as condições operacionais ideais que levem a isso. Uma vez encontrada a possível região onde o ótimo está, um modelo de segunda ordem deve ser adotado. Para obter mais conhecimento sobre esse assunto, acesse <<https://goo.gl/rvrwtc>>.



Para aumentar seus conhecimentos sobre os assuntos estudados nesse capítulo, sugerimos a consulta ao *link* a seguir, que apresenta um arquivo específico sobre isto, elaborado pelos professores Marcus Antonio Viana Duarte e Tatiana Meola <<https://goo.gl/qWgJKx>>.

Lembre-se de procurar por mais informações sobre esse assunto para aprofundamento do tema estudado.

CAPÍTULO 3

Controle e otimização de processos

Diversos autores salientam que o Controle Estatístico de Processo é uma ferramenta utilizada para monitorar qualquer tipo de processo produtivo e, com isso, controlar a qualidade dos serviços ou produtos no momento da sua produção, e não quando eles já estão prontos, o que faz com que o operador consiga minimizar a incidência de qualquer tipo de não conformidade no processo.

“É um método preventivo de se comparar continuamente os resultados de um processo com um padrão, identificando, a partir de dados estatísticos as tendências para variações significativas” (SOMMER, 2000).

Histograma e gráficos de controle

Um histograma é uma relação de intervalos dispostos no eixo X e suas respectivas frequências no eixo Y (SOUZA, 2002). O histograma mostra a distribuição de probabilidade dos dados, para processos industriais, a distribuição normal de dados é a mais desejada. há diferença entre os histogramas e os gráficos de controle. Essa diferença é comprovada já que os gráficos de controle mostram o comportamento de uma variável ao longo do tempo, enquanto os histogramas fornecem uma fotografia da variável num determinado instante, representando uma distribuição de frequência.

Já os gráficos de controle são utilizados para fazer a análise dos dados e identificar as causas especiais existentes em um processo. A partir dos dados obtidos na análise das cartas de controle, pode-se tomar decisões preventivas e controlar possíveis desvios de variabilidade no processo produtivo (MICHEL; FOGLIATTO, 2002).

Os gráficos de controle, também chamados de cartas de controle permitem entender e visualizar resultados/saídas de processos. Caso os processos estejam fora de controle, as cartas ajudam na atuação sobre o processo para estabilização do mesmo. Um dos pontos fortes das cartas de controle é que elas podem ser monitoradas e acompanhadas pelos próprios operadores dos processos, dando a eles a oportunidade de atuarem imediatamente sobre as causas especiais, contribuindo para o ajuste e a estabilização do processo.

Para Ferreira (2004), as cartas de controle utilizadas no controle estatístico de processo podem ser classificadas como gráficos de controle para variáveis ou atributos. Para a escolha adequada do gráfico de controle, é necessário considerar o tamanho da amostra a ser analisada. Para amostras onde $n > 1$ utiliza-se média e amplitude ou média e desvio padrão, porém para amostras onde $n > 10$ é imprescindível empregar gráficos de média e desvio padrão, pois na medida em que n aumenta, a amplitude se torna cada vez mais ineficiente para estimar a variabilidade do processo (FERREIRA, 2004). Ao medir uma variável é necessário monitorar o valor médio ou centralidade, e a variabilidade. Para monitorar a centralidade utiliza-se a carta dos valores médios, e carta de amplitude amostral, variância e o desvio padrão para monitorar a dispersão.

O controle da qualidade depende de quatro elementos fundamentais, que constituem um sistema de controle do processo e que serão apresentados a seguir. O processo em si é uma combinação de equipamentos, insumos, métodos, procedimentos e pessoas, tendo como objetivo a fabricação de um bem ou o fornecimento de um serviço (efeito):

- » O desempenho do processo depende da maneira como ele foi projetado e construído e da maneira como ele é operado. O restante do sistema, que será descrito na continuação, é útil na medida em que contribui para melhorar o desempenho do processo.
- » As informações sobre o desempenho de um processo são obtidas a partir do estudo cruzado dos itens a seguir:
 - › qualidade das características do produto final;
 - › qualidade das características intermediárias;
 - › ajuste dos parâmetros do processo.

As informações sobre o processo são úteis na medida em que alavancam ações de melhoria. Se não se pretende agir sobre o processo, coletar informações é inútil e dispendioso.

- » A coleta de dados e as ações ao longo do processo são orientadas para o futuro, pois permitem detectar o defeito assim que ele é gerado, possibilitando a atuação sobre o processo no momento e local adequado. Essas ações podem envolver: controle sobre as matérias-primas; ajuste nos parâmetros do processo; manutenção periódica; treinamento de

operadores etc. Corrigindo-se o processo, evita-se que novas peças defeituosas sejam produzidas.

- » As inspeções sobre o produto final são orientadas para o passado, pois elas permitem apenas separar o produto conforme do produto não conforme (refugo) que pode eventualmente ser retrabalhado. As inspeções têm algumas vantagens, pois impedem que produtos defeituosos cheguem ao cliente, mas não são uma forma eficiente de ação. Agir sobre o processo é mais eficaz, pois impede que novas peças defeituosas sejam produzidas.

Cartas de controle

O controle da qualidade iniciou na década de 20, nos Estados Unidos, como resultado de avanços na tecnologia de medição e da aplicação industrial das cartas de controle, desenvolvidas pelo Dr. Walter A. Shewhart, da empresa de telefonia *Bell Telephone Laboratories*.

O Dr. Walter Shewhart desenvolveu uma técnica simples, mas poderosa, para fazer a distinção entre causas comuns e causas especiais: as cartas de controle do processo. Ele propôs o uso das cartas de controle para a análise dos dados provenientes de amostragem, substituindo a mera detecção e correção de produtos defeituosos pelo estudo e prevenção dos problemas relacionados à qualidade, visando impedir que produtos defeituosos fossem produzidos.

Variabilidade: causas comuns e causas especiais

variabilidade está sempre presente em qualquer processo produtivo, independente de quão bem ele seja projetado e operado. Se compararmos duas unidades quaisquer, produzidas pelo mesmo processo, elas jamais serão exatamente idênticas.

Contudo, a diferença entre peças pode ser grande, provocando o aparecimento de produtos defeituosos, ou pode ser praticamente imperceptível. Além disso, as fontes de variabilidade podem agir de forma diferente sobre o processo.

Conforme a fonte de variabilidade, o resultado pode ser:

- » pequenas diferenças peça a peça (habilidade do operador, diferenças na matéria-prima etc.);

- » alteração gradual no processo (desgaste de ferramentas, temperatura do dia etc.);
- » alteração brusca no processo (mudança de procedimento, queda de corrente, troca de *set up* etc.).

Para o gerenciamento do processo e redução da variabilidade, é importante investigar as causas da variabilidade no processo. O primeiro passo é distinguir entre causas comuns e causas especiais.

Causas comuns

As causas comuns são as diversas fontes (causas) de variação que atuam de forma aleatória, gerando uma variabilidade inerente do processo. Essa variabilidade representa o padrão natural do processo, pois é resultante do efeito cumulativo de pequenas fontes de variabilidade (causas) que acontecem diariamente, mesmo quando o processo está trabalhando sob condições normais de operação.

Um processo que apresenta apenas as causas comuns atuando é chamado de processo estável ou sob controle, pois apresenta sempre a mesma variabilidade ao longo do tempo.

Devido à variabilidade inerente do processo, as medidas individuais de uma característica de qualidade são todas diferentes entre si, mas, quando agrupadas, elas tendem a formar certo padrão. Quando o processo é estável, esse padrão pode ser descrito por uma distribuição de probabilidade.

Uma distribuição de probabilidade se caracteriza por três parâmetros:

- » Parâmetro de localização: representa a tendência central dos dados – ao lado podem ser vistas duas distribuições com parâmetros de localização diferentes.
- » Parâmetro de dispersão: representa a variabilidade dos dados em torno da tendência central – ao lado podem ser vistas duas distribuições com parâmetros de dispersão diferentes.
- » Parâmetro de forma: representa a forma da distribuição, simétrica, assimétrica, uniforme, exponencial etc. – ao lado podem ser vistas duas distribuições com parâmetros de forma diferentes.

Causas especiais

As causas especiais são causas que não são pequenas e não seguem um padrão aleatório (erros de *set up*, problemas nos equipamentos ou nas ferramentas, um lote de matéria-prima com características muito diferentes etc.) e, por isso, também são chamadas de causas assinaláveis. São consideradas falhas de operação. Elas fazem com que o processo não siga o padrão natural de operação, ou seja, provocam alterações na forma, tendência central ou variabilidade das características de qualidade. Elas reduzem significativamente o desempenho do processo e devem ser identificadas e neutralizadas, pois sua correção se justifica economicamente.

As causas especiais geralmente são corrigidas por ação local e, por isso, são de responsabilidade dos operadores, apesar de algumas vezes a gerência estar em melhor posição para resolver o problema.

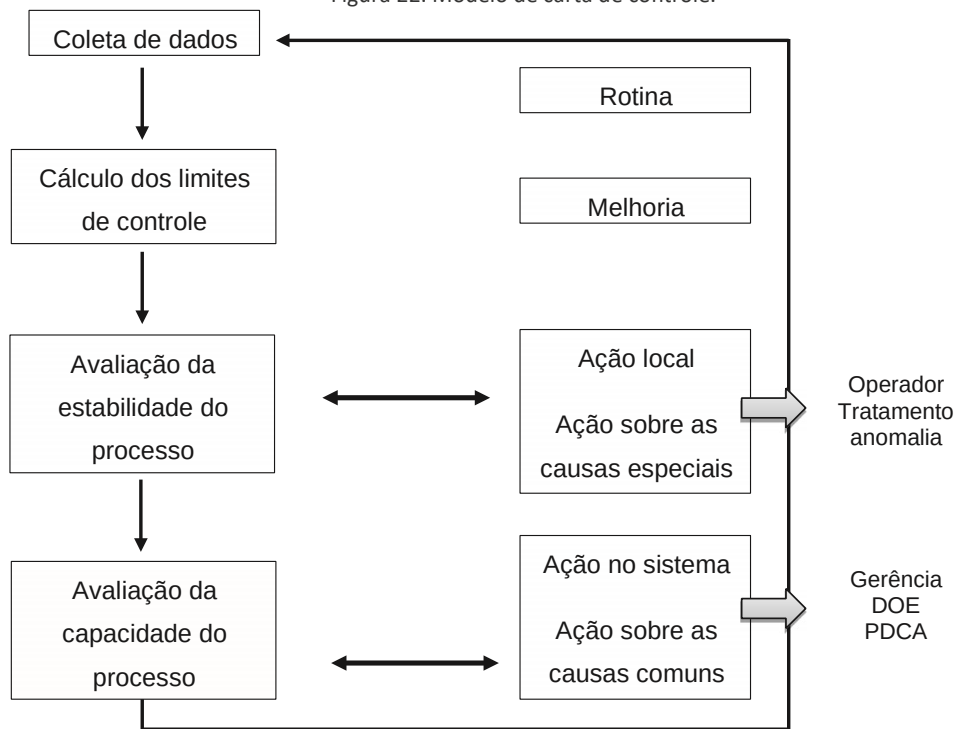
A meta de um sistema de controle do processo é permitir que sejam realizadas decisões corretas referentes a quando agir sobre o processo, pois tanto o excesso de ação quanto a falta de ação são prejudiciais. Assim, a função do sistema de controle do processo é fornecer um sinal estatístico sempre que causas especiais estejam presentes, de forma que ações corretivas possam ser disparadas.

Análise da capacidade do processo

Após a eliminação de todas as causas especiais, o processo estará funcionando em controle estatístico. Um processo em controle estatístico ou estável é aquele que possui variabilidade associada apenas às causas comuns, ou seja, ele segue certo padrão previsível ao longo do tempo. No entanto, esse padrão estável do processo pode ou não ser capaz de produzir peças que atendam às especificações de clientes ou de projeto. Uma vez eliminadas as causas especiais, pode-se, então, avaliar a real capacidade do processo comparando sua variabilidade (associada apenas às causas comuns) com as especificações.

As cartas de controle fazem parte de um procedimento iterativo de melhoria, como se pode visualizar na figura 22. Primeiro, coletam-se dados para calcular os limites de controle, ou seja, define-se qual o padrão de variabilidade natural do processo. Uma vez calculados os limites de controle, faz-se a análise da estabilidade do processo, ou seja, monitoram-se as cartas de controle para identificar a presença de causas especiais. Se o processo não for estável, os operadores devem agir localizadamente no sentido de corrigir as eventuais causas especiais.

Figura 22. Modelo de carta de controle.



Fonte: Adaptada de Ferreira (2004).

Uma vez identificadas e eliminadas as causas especiais, o processo se torna estável e previsível, logo podemos avaliar sua real capacidade de produzir peças que atendam às especificações. Se a variabilidade associada às causas comuns for maior do que a amplitude das especificações, a gerência deve atuar sobre o sistema como um todo para reduzir essa variabilidade.

Como pode ser visto, o procedimento de melhoria da qualidade por meio do controle estatístico acontece em duas etapas principais. Primeiro, eliminando-se as causas especiais para tornar o processo estável e previsível ao longo do tempo. Essa melhoria é conseguida por meio de ações localizadas, efetuadas pelos operadores. Essas ações se justificam economicamente e, em geral, já são suficientes, pois frequentemente se verifica que o processo, uma vez estável, atende às especificações. Segundo, quando necessário, atuando-se no sistema para reduzir as causas comuns de variabilidade. Essa melhoria é de responsabilidade da gerência, pois, em geral, envolvem maiores investimentos que nem sempre se justificam economicamente.

Ou seja, começa-se atuando nas causas especiais que provocam um dano bastante grande ao processo e são relativamente fáceis de bloquear e, apenas quando necessário, atua-se nas causas comuns de variabilidade, que mobilizam maiores recursos.

Vantagens do controle estatístico do processo

O emprego correto das cartas de controle:

- » permite que o monitoramento do processo seja executado pelos próprios operadores;
- » fornece uma distinção clara entre causas comuns e causas especiais, servindo de guia para ações locais ou gerenciais;
- » fornece uma linguagem comum para discutir o desempenho do processo, possibilitando a alocação ótima dos investimentos em melhoria da qualidade;
- » auxilia o processo a atingir alta qualidade, baixo custo unitário, consistência e previsibilidade.

Em um ambiente competitivo, só há espaço para as empresas que adotam uma ótica de melhoria contínua.

Assim, periodicamente é preciso rever as especificações, reavaliar a capacidade do processo e agir sobre o sistema quando necessário.

A melhora da qualidade, representada pela redução da variabilidade do processo, promove, natural e inevitavelmente, um aumento de produtividade. Melhorando a qualidade, os custos diminuem devido à redução de retrabalho, erros e atrasos, e da melhor utilização de tecnologia e matéria-prima. Consequentemente, a produtividade aumenta, possibilitando a captação de mercados. Trabalhando-se continuamente pela qualidade, os novos negócios são mantidos e amplia-se a fatia de mercado.

Implantação do CEP

A implantação de um efetivo e eficaz programa de CEP depende muito da filosofia da empresa, ou seja, o quanto ela está comprometida com a qualidade. Deve ser uma implantação planejada e estruturada, pois é condição necessária e primordial para o sucesso do projeto, caso contrário pode-se ter uma implantação malsucedida em que os resultados colhidos não são satisfatórios ou não exprimem a atual realidade.

O uso de técnicas estatísticas pode reduzir custos, aumentar a produtividade e a qualidade. Conforme citado por Davis (2001), “a alta qualidade não é uma despesa, ela é antes de tudo um custo útil, especialmente quando é dada ênfase à prevenção de defeitos” e, quando se aumenta a produtividade e a qualidade, há uma probabilidade

alta de a empresa melhorar consideravelmente sua participação no mercado, e, com isso, promover o desenvolvimento local e regional.

Basicamente não existem desvantagens na implantação do CEP. O que se pode encontrar são relatos de implantações malsucedidas, por falha em diversos pontos, entre eles:

- » não envolvimento da alta administração, nem dos departamentos e funcionários que deveriam participar do processo;
- » desconhecimento dos conceitos do CEP pela equipe;
- » não investigação da causa-raiz das variabilidades, entre outros.

Para que o CEP seja implantado com sucesso, é necessário que se tenha o envolvimento de todos os indivíduos participantes do processo produtivo, bem como o conhecimento, por parte deles, do controle estatístico. De acordo com Toledo, Canavezi e Soares (2007), para que o CEP seja eficaz são necessários 10% de ação estatística e 90% de ação administrativa.

Otimização de processos – uso de planejamento experimental

A otimização pode promover melhorias econômicas (otimização econômica – OE) e/ou técnicas/operacionais (otimização operacional – OO). A otimização de um determinado processo ou sistema pode ter como benefício um (ou mais de um) dos itens a seguir:

- » minimizar o investimento para uma determinada capacidade operacional a ser instalada;
- » maximizar o lucro total;
- » maximizar o lucro por unidade de produção;
- » minimizar os custos operacionais;
- » minimizar os custos de manutenção;
- » maximizar a produção para uma determinada capacidade operacional instalada;

- » minimizar o consumo de matéria-prima e/ou energia;
- » minimizar a produção de insumos indesejáveis;
- » minimizar o tempo de batelada;
- » minimizar a diferença entre o valor desejado e o valor alcançado.

Porém, devemos sempre nos lembrar de que a otimização tem um custo e, portanto, deve ser otimizada. Em certos casos, o uso de métodos matemáticos de otimização não traz benefícios, por exemplo:

- » quando uma solução razoável pode ser obtida baseada em experiências passadas;
- » quando existe uma prática padrão em uso;
- » quando o tempo necessário para avaliar o problema não contribui para o contexto do projeto global;
- » quando as informações necessárias só podem ser obtidas com grande custo.

O emprego do planejamento de experimentos na indústria farmacêutica não é somente para a otimização de resultados e a redução da variabilidade dos processos, mas também para o aumento do conhecimento sobre os processos críticos.

Todos os processos que tenham impacto potencial na qualidade do produto devem ser previamente validados. A validação consiste na comprovação da constância dos resultados obtidos sob controle de determinadas condições de entrada. Para garantir a robustez dos processos analisados, a validação precisa, por seu turno, seguir processos sistematicamente determinados. Conforme já estabelecido por Alexander (2000), se as técnicas de planejamento e otimização de experimentos são incorporadas nos procedimentos de validação, podem gerar melhor conhecimento do processo e propiciar a exploração de toda sua potencialidade. Os processos envolvidos no caso aqui estudado são processos críticos das etapas de fabricação e embalagem primária de produtos farmacêuticos. São processos que impactam diretamente a qualidade desses produtos.

Validar processos é estabelecer evidências documentadas que assegurem que um processo específico irá consistentemente fabricar um produto de acordo com especificações e características de qualidade predeterminadas. A estrutura do

Planejamento de Experimentos atende plenamente a essas condições. Basta documentar a execução de todas as etapas previstas e comparar o nível de qualidade atingido na composição de parâmetros recomendada ao final do experimento com aquele que se deseja alcançar. Essa comparação pode utilizar um ou mais dos indicadores de qualidade conhecidos.

Qualquer processo farmacêutico que tenha no mínimo dois parâmetros, como temperatura, velocidade ou tempo, para os quais se possa determinar um valor mínimo e um valor máximo, assim como uma resposta igualmente mensurável, com limites de especificação determinados, é passível de ser estudado mediante o uso do DoE. É preciso escolher as faixas de valores dos fatores. Em geral, determinam-se dois níveis de trabalho, um correspondendo ao valor mínimo e outro ao valor máximo. É também frequente o uso de três níveis, quando a esses dois níveis se acrescenta um valor intermediário.

O aumento da necessidade da otimização de produtos e processos faz com que haja a minimização de custos e tempos, e a maximização de rendimentos, produtividades e qualidade de produtos, levando os profissionais de distintas formações a buscarem metodologias sistemáticas de planejamento de experimentos. Entretanto, para que a metodologia usada em planejamento alcance os objetivos esperados, faz-se necessária uma integração entre o processo, a estatística e o bom senso. O planejamento experimental (também denominado de delineamento experimental) pode ser representado por um conjunto de ensaios estabelecido com critérios científicos e estatísticos, visando avaliar a determinação da influência de diversas variáveis nos resultados de um determinado sistema (BUTTON, 2005).

Assim, a determinação do número ótimo de experimentos conduz à obtenção de resultados com um dado grau de confiança, sendo esse objetivo principal dividido em outros objetivos específicos, de acordo com o propósito dos ensaios:

- » determinação das variáveis que mais influenciam nos resultados;
- » atribuição de valores às variáveis influentes buscando a otimização dos resultados;
- » atribuição de valores às variáveis influentes buscando a minimização da variabilidade dos resultados;
- » atribuição dos valores às variáveis influentes buscando a minimização da influência de variáveis incontroláveis.

O emprego dos métodos estatísticos de planejamento experimental permite, entre outras vantagens:

- » diminuição do número de ensaios sem prejudicar a qualidade da informação;
- » estudo de várias variáveis ao mesmo tempo, separando seus efeitos;
- » determinação da confiabilidade dos resultados;
- » realização da pesquisa em etapas, com acréscimo de novos ensaios quando necessário;
- » seleção das variáveis que influenciam num dado processo que possui número reduzido de ensaios;
- » processo estudado representado por meio de expressões matemáticas e suas conclusões a partir de resultados qualitativos.

Com isso, é extremamente relevante ressaltar que o planejamento experimental é um instrumento de engenharia importantíssimo para melhoria de processos já existentes, assim como no desenvolvimento de novos processos. A utilização dessas técnicas de modo adequado no desenvolvimento do processo permite: produção melhorada, redução da variabilidade de resultados, assim como redução nos tempos de análise e nos custos envolvidos.



Caro estudante, caso você queira ter uma abordagem mais aprofundada sobre esse assunto, consulte o estudo de caso disponível em: <<http://www.ufjf.br/baccan/files/2011/05/380-1475-1-PB1.pdf>>.

CAPÍTULO 4

Lean production

O embasamento de *Lean manufacturing* está no emprego de recursos de modo otimizado com a finalidade de assegurar sucesso na gestão de projetos. Sua origem é proveniente do modelo produtivo Toyota Production System (CRISTINA PEDRÃO, 2014).

O Lean foi desenvolvido no Japão, em meados da década de 60, tendo a sua ideia básica e seu desenvolvimento creditado à Toyota Motor Company. O idealista desse sistema foi o vice-presidente da empresa Taiichi Ohno. Esse modelo é distinguido por: um tempo de troca de ferramenta (setup) mínimo, produção *Just-InTime* (JIT), sistemas KanBan, um mínimo de estoque e, por último, uma atitude de “desperdício zero” de cada funcionário.

A redução de desperdícios e a padronização do processo nos apresentam o conceito de Lean como o Sistema Toyota de Produção, ou manufatura enxuta, que surgiu no Japão, após a Segunda Guerra Mundial, época em que o país precisava se reestruturar e não tinha os recursos necessários para fazer uma produção em massa – conceito difundido por Henry Ford no início do século XX que tinha como objetivo reduzir os custos unitários dos produtos por meio da produção em grande escala, da especialização e divisão do trabalho, porém tinha que se trabalhar com altos níveis de estoque e lotes de produção (REZENDE; FREITAS DA SILVA; MIRANDA; BARROS, 2015).

O objetivo da *Lean Manufacturing* é reduzir o tempo entre o momento em que o cliente faz um pedido e o momento da entrega, eliminando todas as perdas dessa cadeia.

Princípios do *lean*

a. Valor

O princípio *valor* pode ter duas óticas diferentes:

- » a ótica do cliente/consumidor que é referente às características do produto/serviço que satisfazem as suas necessidades e expectativas;

- » a ótica dos gerentes e acionistas, que reside no aumento do valor das ações da empresa de modo a assegurar futuros investimentos e financiamentos (GOLDSBY; MARTICHENKO, 2005).

b. Cadeia de valor

O princípio *cadeia de valor* consiste em todas as atividades, desde o planejamento até à comercialização de um produto/serviço, que acrescentam valor a esse produto/serviço para o cliente e, conseqüentemente, para os acionistas (GOLDSBY; MARTICHENKO, 2005). É uma ligação entre as duas óticas de valor, para o cliente e para o acionista.

c. Otimização do fluxo

A otimização do fluxo tem a ver com o processamento o mais fluído possível de um produto/serviço, apresentando somente as atividades que adicionem valor e minimizam os desperdícios desnecessários.

d. Sistema *pull flow*

Esse princípio, tal como já foi introduzido anteriormente, tem como objetivo produzir apenas o que é necessário, sendo a necessidade de produção criada pela procura real do produto. Assim, a venda de um produto funciona como um pedido para a linha de produção de modo a repor esse produto no sistema produtivo com os seguintes objetivos:

- » dependência baixa de inventários;
- » produção em pequenos lotes;
- » sincronização ao longo da cadeia de valor;
- » *lead times* mais curtos;
- » fluxo de produção e de informação mais contínuos.
- » melhoria contínua.

Esse princípio vem da filosofia *Kaizen*, que procura a perfeição por meio da “melhoria contínua”, pois acredita que a perfeição não é possível de alcançar, logo é sempre possível melhorar a partir da situação atual. Esse princípio é transversal a todos os

princípios anteriores, que visam, como um todo, explorar melhores formas de criar valor (WOMACK; JONES, 2004).

e. Perdas

A partir dos cinco princípios *Lean*, a maioria dos autores que abordam temas relacionados com *Lean* identifica o conceito das perdas como fontes de desperdício – *Muda* (WOMACK; JONES, 2004).

Muda é um termo japonês que significa desperdício, é tudo o que acrescenta custos e não acrescenta qualquer valor ao produto. São identificados oito tipos de desperdícios, cuja redução ou eliminação é indispensável para a boa *performance* de uma empresa:

- » Excesso de produção – Quando se produz mais do que o volume de vendas da empresa.
- » Excesso de estoque – Qualquer tipo de estoque ocupa espaço e recursos financeiros; logo é um desperdício a minimizar.
- » Espera – Qualquer tempo de espera, como espera por material, informação ou ferramentas.
- » Transporte/deslocações de produto – O transporte de produto para o cliente e as próprias deslocações do produto dentro da fábrica são vistos como desperdícios, uma vez que, num caso limite de minimização de custos, há sempre consumo de tempo durante o qual o produto não está a sofrer qualquer tipo de intervenção que acrescente valor para o cliente.
- » Movimento – Refere-se a qualquer movimento de uma pessoa, máquina ou informação.
- » Excesso de processos – Esse tipo de desperdício é, muitas vezes, encontrado nos departamentos de gestão das empresas.
- » Não qualidade – Estão incluídos não só defeitos, mas também retrabalhos, pois consomem material e tempo desnecessariamente, de tal forma que, em certos casos mais extremos, o tempo gasto pelo operador para consertar uma peça sai mais caro que o próprio valor da peça em si.

- » Subaproveitamento de ideias e competências – Muitas empresas não cultivam um ambiente de partilha e comunicação de ideias entre todos os colaboradores da empresa, perdendo a oportunidade de possíveis contribuições para a melhoria contínua da *performance* e dos processos da empresa.

A eliminação das ineficiências acima descritas e identificadas conduz à otimização dos três objetivos do *Lean*: eliminando desperdícios (muda) reduzem-se custos; minimizando variabilidade aumenta-se a qualidade dos produtos/serviços; e minimizando inflexibilidade otimiza-se o tempo de entrega ao cliente.

Apesar de a ligação entre perdas e a otimização de objetivos ser lógica, um programa de transformação *Lean* é complexo, uma vez que a identificação das perdas e ineficiências é transversal à organização de toda a empresa e, por isso, implica alterações de processos de fabrico, de comunicação e de toda a gestão inerente à produção e do produto.

Ferramentas e técnicas do *lean manufacturing*

1. Heijunka

Heijunka é um conceito japonês que significa nivelar. Encontra-se, por isso, associado ao nivelamento da produção, com o objetivo de obter um fluxo contínuo de materiais e de informação em toda a organização (GHINATO, 2000), para que os estoques, os custos, os recursos e o tempo ocioso sejam minimizados. Uma vez que a sua aplicação permite produzir com base na procura do cliente, a produção poderá ser muito elevada em certos períodos e mais baixa em outros, no entanto as máquinas, a mão de obra e a matéria-prima mantêm-se disponíveis, existindo, desse modo, um subaproveitamento desses fatores, particularmente quando se verifica uma baixa procura.

2. Sistema *Kanban*

Termo da língua japonesa, *kanban* significa cartão e o seu principal objetivo é coordenar a produção de acordo com as necessidades de cada produto. É uma ferramenta que serve para atingir a produção JIT (MONDEN, 1983), organizando a sequência de acordo com os princípios do JIT, produzindo os produtos nas quantidades e nos momentos necessários, e, para isso, o sistema *Pull* (puxado) é de suma importância, para evitar a acumulação de peças entre postos de trabalho e estoques finais de produtos finais indesejados.

O sistema *kanban* “puxa” o processo de produção, em que o processo subsequente retirará as partes do processo precedente (PINTO, 2009).

Existem dois tipos de sistemas *kanban* (PINTO, 2009): *kanban* de produção (é utilizado quando se pretende indicar que o processo produtivo pode começar a produzir um determinado produto) e *kanban* de transporte (é utilizado quando se deseja avisar, de forma prévia, o estágio anterior da necessidade de material em estoque e transferência deste para o devido destino).

3. Metodologia 5S

A metodologia 5S surgiu no Japão baseando-se na organização do local de trabalho com o objetivo de torná-lo mais seguro, mais organizado e mais limpo, contribuindo para a eliminação de desperdícios (torna o desperdício conhecido), para a redução de custos e de estoques, para uma melhoria da produtividade e qualidade. Desse modo, os 5S são cinco palavras, que, em japonês, começam pela letra “s”, de forma sequencial (PINTO, 2009):

- » *Seiri* (Organização) – Nessa fase, o trabalho começa a ser colocado em ordem, para que se utilize só aquilo que for necessário e aplicável. Todos os itens desnecessários devem ser removidos da área de trabalho (materiais, máquinas, equipamentos etc.), deixando, no ambiente de trabalho, apenas os materiais e equipamentos necessários.
- » *Seiton* (Arrumação) – Depois dos itens desnecessários terem sido descartados, deve-se proceder à arrumação dos itens que permaneceram no posto de trabalho. Deve-se, assim, realizar a identificação e a organização dos itens de acordo com a sequência de trabalho, de modo que o material mais utilizado fique perto do operador, para seja encontrado facilmente (MONDEN, 1983).
- » *Seiso* (Limpeza) – Essa etapa consiste em manter o local de trabalho limpo, pois ajuda a criar um ambiente agradável, evitando a criação de lixos e de desperdícios.
- » *Seiketsu* (Normalização) – Significa que se devem normalizar os trabalhos e a organização do espaço, seguindo as regras anteriormente estabelecidas.

- » *Shitsuke* (Autodisciplina) – Nessa última etapa, pretende-se que seja garantida a manutenção da metodologia, certificando-se, assim, que as etapas anteriores estão sendo cumpridas, procurando o seu constante melhoramento.

4. Kaizen

A filosofia *kaizen* teve a sua origem no Japão e significa melhoria contínua, envolvendo toda a gente da organização, incluindo gerentes e trabalhadores (IMAI, 1996).

O *kaizen* tem como objetivo a procura da melhoria contínua dos processos em busca da perfeição, para a criação de valor e a eliminação de desperdícios (MELTON, 2005).

No entanto, a aplicação dessa filosofia não é fácil nem rápida, uma vez que deve ser vivenciada pelos colaboradores dia a dia. Para aplicá-la de forma efetiva, a organização deve possuir um profundo conhecimento de seus processos. Dessa forma, fica mais fácil a identificação de desperdícios, ou seja, potenciais melhorias do processo.

O *kaizen* baseia-se na ideia de que o mais ativo existente numa organização são os trabalhadores e o *gemba*.

Segundo Imai (1996), *gemba* é o local onde se cria valor e se resolvem os verdadeiros problemas, com a finalidade de aumentar a produtividade, referindo a importância na eliminação dos desperdícios no *gemba*, em vez do aumento de investimento com a missão de adicionar valor.

Em 1950, Edwards Demings introduziu uma ferramenta simples, descrevendo o modo como a melhoria contínua deve ser implementada para que seja eficaz (PINTO, 2008). Essa ferramenta é conhecida por ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*).

- » *Plan* (Planejar) – Nessa etapa, é feita uma análise dos problemas e de suas causas. São definidos quais os objetivos a atingir, e é realizada uma análise cuidadosa para encontrar as causas de origem. As ações de melhoria definidas nessa fase são atribuídas a um líder, que fica encarregado de apresentar uma resolução dentro de uma data limite.
- » *Do* (Executar) – É a fase na qual ocorre a execução do plano que ficou definido anteriormente. Para isso, é essencial que todos estejam envolvidos para garantir que as ações implementadas estejam de acordo com o planejado.

- » *Check* (Verificar) – Nessa fase, verifica-se se todas as ações tomadas estão de acordo com os objetivos definidos, ou se é necessário repensar o caminho definido.
- » *Act* (Atuar) – Na última fase, é necessário decidir se as ações tomadas são as que melhor enquadram na organização; caso o objetivo seja atingido, as decisões tornam-se efetivas e adota-se o padrão; caso contrário, atua-se de modo a corrigir as causas que não permitiram que o objetivo fosse atingido.

O ciclo PDCA é um método dinâmico, que procura sempre a melhoria contínua.

5. Manutenção Produtiva Total (TPM)

A TPM é uma ferramenta fundamental no aumento da disponibilidade e vida útil dos equipamentos, para reduzir todo o tipo de desperdícios no setor produtivo, criando um fluxo mais eficiente.

Essa filosofia apresenta como objetivos a maximização do rendimento operacional dos equipamentos disponíveis; engloba todo o ciclo de vida útil da máquina e do equipamento; envolve a participação de todos os elementos da produção, da manutenção e dos respectivos responsáveis; traz motivação para o trabalho em grupo. Os objetivos fundamentais do TPM são (PINTO, 2009):

- » Zero estoque – Reduzir os tempos de processamento, de transporte e de mudança de ferramenta e da sincronização da produção.
- » Zero defeitos – Prevenir a ocorrência de defeitos, verificando os processos de fabrico.
- » Zero avarias – Responsabilizar todos os intervenientes nas atividades de manutenção dos equipamentos.
- » Zero papéis – Rever os fluxos de informação com o objetivo de remover todos os processos burocráticos, tirando proveito das novas tecnologias e dos sistemas de informação (PINTO, 2009).
- » Zero tempo – Rever e alterar questões associadas aos *layouts*, de modo que se eliminem todos os transportes e movimentações de materiais desnecessários.

6. Mapa do Fluxo de Valor (VSM)

A ferramenta VSM, ou, em português, Mapeamento do Fluxo de Valor, é uma ferramenta de diagnóstico que propõe o desenho de um diagrama que representa todas as atividades envolvidas no fluxo de material e informação necessário para a produção de um artigo ou prestação de um serviço, ao longo de toda a sua cadeia de valor.

O principal objetivo do desenho desse diagrama é apresentar uma visão global da cadeia de valor do produto; identificar as atividades que agregam valor às várias fontes de perdas associadas a cada atividade, e, a partir dele, ser capaz de desenvolver ações de melhoria.

7. Trabalho Padronizado

Dentro da mesma metodologia da ferramenta 5S, o trabalho padronizado consiste em estabelecer procedimentos *standard* para cada tarefa e para cada colaborador, tendo por base os seguintes elementos: *Takt Time*, taxa a que os produtos devem ser produzidos e os serviços prestados para atender a procura; sequência de trabalho em que um operador realiza as suas tarefas dentro do *Takt Time*; estoque padrão exigido para manter o processo operando normalmente.

Ao implementar um método padronizado de trabalho e expô-lo no local de trabalho, consegue-se reduzir a variabilidade do processo, o tempo de treino de novos colaboradores, acidentes de trabalho e obter uma base comum para ações de melhoria contínua.

8. *Single Minute Exchange of Dies* (SMED)

A ferramenta SMED é uma abordagem de análise e redução de tempos de *Setup* de uma máquina. O objetivo principal dessa abordagem é conseguir executar operações de *Setup* num número de minutos expresso num só dígito. Apesar de, na sua maioria, as mudanças de ferramenta não poderem ser realizadas em menos de dez minutos, o SMED, ao “forçar” esse objetivo, consegue atingir reduções drásticas nos tempos de *Setup* (SHINGO, 1989).

Essa abordagem divide a operação de *Setup* em duas categorias: *Setup* Interno, que consiste em todas as atividades que só podem ser efetuadas com a máquina parada (ex.: montagem ou desmontagem de ferramentas), e *Setup* Externo, que são as atividades de *Setup* que podem ser realizadas com a máquina em funcionamento (ex.: transporte de ferramentas para junto da máquina, e desta para o armazenamento).

9. Overall Equipment Effectiveness (OEE)

O OEE é um indicador que permite analisar as condições reais da utilização dos equipamentos de uma empresa, a partir da identificação de seis tipos de perdas dos equipamentos: avarias, tempos de mudança de ferramentas, pequenas paragens, perdas de velocidade, sucata e retrabalho. Esse indicador é muito importante na medida em que se consegue dividir em três importantes índices: disponibilidade dos equipamentos, desempenho operacional e qualidade dos produtos, permitindo detectar e atuar no verdadeiro problema do baixo desempenho do equipamento.

10. Gestão Visual

Hoje em dia, um problema que a maioria das empresas enfrenta não é a comunicação “além-fronteiras”, mas a comunicação dentro do mesmo edifício/ fábrica.

A gestão visual é descrita como uma forma poderosa de fazer a informação fluir de forma rápida e eficaz dentro da empresa, alinhando, dessa forma, os esforços de todos os colaboradores com objetivos e estratégias globais da empresa. Como o mesmo autor define, “Comunicação visual é informação *self-service* – faz a mesma informação comumente disponível e compreensível a todos que a veem, no exato momento em que a veem”. Dessa forma, a partilha de informação relevante deixa de estar restringida a um fluxo hierárquico de informação pré-definido, permitindo que o fluxo se crie por si só.

Além disso, uma vez que torna o fluxo de informação visível, a gestão visual é fundamental num processo de mudança de uma empresa, permitindo maior compreensão e consequente envolvimento de todos os colaboradores. Esta não está confinada apenas a quadros de indicadores, imagens instrutivas ou notas de precauções, mas a um conjunto de técnicas que integram a informação nos sistemas operativos, de forma a adicionar valor a cada tarefa produtiva.

Em suma, a gestão visual aliada a um programa de implementação *Lean* permite a eliminação dos três tipos de perdas identificados por Drew *et al.*, 2004, uma vez que permite a interpretação rápida e fácil da informação, uma resposta rápida aos problemas e a comunicação entre as equipas de trabalho. Contribui, assim, para uma maior autonomia dos operadores e redução de erros, que resulta numa melhoria do ambiente de trabalho e na unificação da cultura empresarial.



Caro estudante, saiba mais sobre a importância do controle de qualidade na indústria farmacêutica, acessando o artigo que apresenta um estudo realizado sobre isso: <https://www.mastereditora.com.br/periodico/20141106_165613.pdf> (CONTROLE DE QUALIDADE, 2019).



Para (não) Finalizar

A indústria farmacêutica é um mercado forte e em constante crescimento no mundo todo. Dados da Associação da Indústria Farmacêutica de Pesquisa (Interfarma) revelam que o Brasil ocupa a 8ª posição no *ranking* mundial desse mercado, e a expectativa é alcançar o 5º lugar em 2021.

Contudo, para que esse crescimento permaneça sólido e com garantia de qualidade, as áreas de Garantia e Controle da Qualidade nas empresas farmacêuticas são decisivas e imprescindíveis para a manutenção do processo produtivo controlado e padronizado dos medicamentos.

A área de Controle da Qualidade é composta por: laboratório físico-químico, microbiológico, de material de embalagens e de controle de processo.

O controle da qualidade físico-químico e o microbiológico são áreas vitais para a indústria farmacêutica e devem ter laboratórios próprios e independentes da produção. Essas áreas visam analisar os produtos fabricados de acordo com os métodos e as especificações padronizadas e registradas no órgão regulador, assim como evitar ou diminuir erros durante o processo produtivo, por meio de intervenções, monitoramento da área de produção e avaliação de matérias-primas, materiais de embalagem, rótulos, bulas, produtos intermediários e acabados.

Para constatar se realmente os medicamentos estão dentro dos padrões de qualidade determinados, são feitos testes e mensurações que possibilitem a aprovação ou reprovação dos fármacos e excipientes antes mesmo que eles estejam disponíveis para a produção.

As atividades desenvolvidas pelo controle da qualidade das indústrias farmacêuticas influenciam em todas as esferas da empresa. Além das várias análises laboratoriais, faz-se o monitoramento da água usada no processo, a qualidade do ar das áreas das empresas, a limpeza dos equipamentos, dos produtos de degradação e o gerenciamento de solventes residuais.

Referências

ABERNATHY, W. J.; UTTERBACK, J. **Patterns of industrial innovation.**

Technology Review, 2: pp. 40-47, 1978.

ACÇÕES DISCRICIONÁRIAS. Disponível em: <<http://www.ci.esapl.pt/jcms/materiais/Econ%20Gest/Gestao.PDF>>. Acesso em: 2 de abr. 2019.

ADMINISTRAÇÃO ESTRATÉGICA. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/189607/mod_resource/content/1/7_Aula_planoestrategia_2014.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2019.

ALMEIDA A. A. M. **As organizações de saúde e o processo de aprendizagem da gestão**. Mundo Saúde. 35(3):252-7. 2011.

ALEXANDER, K. **Good design practice for medical devices and equipment**. Journal of Medical Engineering and Technology, v. 24: 5-13. 2000.

AROZO, R. Monitoramento de Desempenho na Gestão de Estoque. **Rev. Tecnológica**. Dez;(85):48-53. 2002.

ASSAF NETO, A. **Finanças corporativas e valor**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

AURÉLIO. **Dicionário Aurélio do Século XXI**. Editora: Nova Fronteira; Edição: 3 (1999).

BALLESTERO-ALVAREZ, M. E. **Organização, sistema e métodos**. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

BARROS NETO, B. B.; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos**. 4. ed. Campinas: Editora Unicamp, 2010.

BEQUETTE, B. W. **A Laptop-Based Studio Course for Process Control**. IEEE Control Systems Magazine. v. 5, 2005.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística Empresarial: o Processo de Integração da Cadeia de Suprimento**. São Paulo: Atlas, 2001.

BRAGA FILHO, Washington. **Fenômenos de transporte para engenharia**. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2006.

BRASIL, J. L.; VAGHETTI, J. C. P.; ROYER, B.; SANTOS, A. A.; SIMON, N. M.; PAVAN, S. A.; DIAS, S. L. P.; LIMA, E. C. Planejamento estatístico de experimentos como uma ferramenta para otimização das condições de biossorção de Cu(II) em batelada utilizando-se casca de nozes pecã como biossorvente. **Química Nova**, v. 30, 2007.

BÜCHLER, M. A indústria farmacêutica no Brasil e as Teorias da Dependência de Rui Mauro Marini e Fernando Henrique Cardoso. **Rev. de Ciência Política**. v. 24, 2005.

BUTTON S. T. **Metodologia para Planejamento Experimental e Análise de Resultados**. Campinas – SP, 2005.

CALDAS, M.; WOOD Jr., T. The part and the whole: reductionism and complex thinking in ERP Systems Implementation. *In: Encontro Nacional de Pós-Graduação em Administração*, 24, 2000, Florianópolis. Anais... Rio de Janeiro: ANPAD, 2000, CDROM.

CAMPOS, Anna Maria. Accountability: quando poderemos traduzi-la para o português? **Revista de Administração Pública**. Rio de Janeiro, v. 24, fev./abr., 1990.

CARDOSO, O.; MACHADO, R. **Gestão do conhecimento usando data mining: estudo de caso na Universidade Federal de Lavras**. *Revista de Administração Pública*, v. 42, n. 3, pp. 495-528, 2008.

CHIAVENATO, Idalberto. **Introdução a Teoria Geral da Administração**. 7. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2004.

CHIAVENATO, Idalberto. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. 3. ed. São Paulo: Mc Graw-Hill, 1983.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**. Estratégia, planejamento e operação. Rio de Janeiro: Prentice Hall Brasil, 2003.

COLLIS, David.; MONTGOMERY, Cynthia. **Competing on resources: strategy in the 1990s**. *Harvard Business Review*, Julho-Agosto, pp. 118-128, 1995.

CONTROLE DE PROCESSOS. Disponível em: <http://www.ene.unb.br/adolfo/Lectures/IEM/IEM_2016_Mecatronica_Eng_Quimica.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2019.

CONTROLE DE PRODUÇÃO. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/prod/v14n1/v14n1a07.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

CONTROLE DE QUALIDADE. Disponível em: <https://www.mastereditora.com.br/periodico/20141106_165613.pdf>. Acesso em: 5 mai. 2019.

COOPER, M. C.; ELLRAM, L. M. **Characteristic of supply chain management and implications for purchasing and logistics strategy**. The International Journal of Logistics Management, v. 4, n. 2, 1993.

CORREA, Henrique L.; CAON, Mauro. **Gestão de Serviços**. São Paulo: Atlas, 2002.

CORRÊA, Henrique L.; GIANESI, Irineu G. N.; CAON, Mauro. **Planejamento, Programação e Controle da Produção**. MRP II / ERP – Conceitos, Uso e Implantação. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

CORREA, Henrique L.; GIANESI, Irineu G. N. **Just in Time, MRP e OPT** – um enfoque estratégico. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1993.

CRISTINA PEDRÃO, Luciana. **Analista de Planejamento Logístico na Toyota do Brasil**; Gerenciamento de Projetos Lean; utilização otimizada de recursos garante sucesso na gestão de projetos. Artigo apresentado para conclusão do curso de Pós-MBA em Gerenciamento Avançado de Projetos, na instituição IBE FGV – Campinas. 2014.

CUNHA, J.; YOKOMIZO, C.; CAPPELLINI, G. Gestão de conhecimento em multinacionais: o ambiente organizacional como instrumento disseminador. *In: Encontro da Associação Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Administração*, XXXIII, 2009. Anais... São Paulo: ANPAD, 2009.

DAVILA, T.; EPSTEIN, M.; SHELTON, R. **Making innovation work: How to Manage It, Measure It, and Profit from It**, Upper Saddle River, Wharton School, 2006.

DAVIS, M. M.; AQUILINO, N. J.; CHASE, R.B. **Fundamentos da administração da produção**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

DELMÉE, Gérard J. **Manual de Medição de Vazão**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2003.

DIAS MAP. **Administração de materiais: princípios, conceitos e gestão**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

DREW, J.; MCCALLUM, B.; ROGGENHOFER, S. **Journey To Lean** – Making Operational Change Stick. Great Britain: PALGRAVE MACMILLAN. 2004.

ESTATÍSTICA BÁSICA. Disponível em: <<https://goo.gl/5QrkE6>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

ESTOQUE. Disponível em: <http://www.saocamilo-sp.br/pdf/mundo_saude/101/10.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2019.

ESTRATÉGIAS. Disponível em: <http://inf.aedb.br/seget/artigos06/619_ModeloSeget_Pfifer.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2019.

FAVARO, Juliana. **Controle preditivo aplicado à planta piloto de neutralização de pH**. 2014. 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de sistemas) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2012.

FERREIRA, P.O. **Utilização do controle estatístico do processo para monitoramento do peso médio de cápsulas de tuberculostáticos**: Estudo de caso no Nuplam – RN. Dissertação de mestrado. Programa de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2004.

GAITHER, Norman.; FRAZIER, Greg. **Administração da Produção e Operações**. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2002.

GESTÃO. Disponível em: <<http://www.ci.esapl.pt/jcms/materiais/Econ%20Gest/Gestao.PDF>>. Acesso em: 14 abr. 2019.

GESTÃO FARMACÊUTICA. Disponível em: <<http://blog.procenge.com.br/comogarantir-uma-boa-gestao-na-industria-farmaceutica/>>. Acesso em: 14 abr. 2019.

GHOSHAL, Sumatra.; GRATTON, Lynda. **Integrating the enterprise**. Sloan Management Review, v.44, n. 1, Fall pp. 31-38. 2002.

GHINATO, P. **Produção e Competitividade**: Aplicações e Inovações, UFPE, Recife. 2000.

GIBSON, B. J.; MENTZER, J. T.; COOK, R. L. **Supply Chain Management**: The Pursuit of a Consensus Definition. Journal of Business Logistics, v. 26, n. 2, pp. 17-25, 2005.

GOLDSBY, T.; MARTICHENKO, R. **Lean Six Sigma Logistics**: Strategic Development to Operational Success. Florida: J. Ross Publishing, Inc. 2005.

GUERRA, C. A. L. **Controle avançado de um reator químico de leito fixo:** aplicação para oxidação do etanol a acetaldeído. 2001. 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Unicamp, Campinas, São Paulo. 2001.

HANSEN, M. T.; BIRKINSHAW, J. **The innovation value chain.** Harvard Business Review, v. 85, n. 6, pp. 121-130, 2007.

HARLAND, C.M. *et al.* **Supply Management:** Is It a Discipline? International Journal of Operations and Production Management, v. 26, n. 7, pp. 730-753, 2006.

HAYES, ROBERT *et al.* **Produção, estratégia e tecnologia:** em busca da vantagem competitiva. trad. Marcelo Klippel. Porto Alegre: Bookman, 2008.

HAYES, Robert H.; PISANO, Gary P.; UPTON, David M.; WHEELWRIGHT, Steven C. **Operations, strategy and technology, pursuing the competitive edge.** New York: John Wiley; Sons, 2004.

HERRERO FILHO, E. **Balanced scorecard e a gestão estratégica.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

HORTE, Sven Åke.; LINDBERGS, Per; TUNALVS, C. **Manufacturing strategic in Sweden.** International Journal Production Research, v. 25, n. 11, pp. 1573-1586, 1987.

IMAI, M. **Gemba Kaizen:** Estratégias e Técnicas do Kaizen no Piso de Fábrica. São Paulo: IMAM. 1996.

INSTRUMENTAÇÃO. Disponível em: <<https://goo.gl/M1Ksj2>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

JACOBS, F. Robert.; CHASE, Richard B.; SOUZA, Teresa Cristina Felix de. **Administração da produção e de operações:** o essencial. Porto Alegre: Bookman, 2009.

JACOBS, F.; CHASE, R.; AQUILANO, N. **Operations & Suplly Management.** New York: McGraw-Hill, 2009.

JENSEN, M.B.; JOHNSON, B.; LORENZ, E.; LUNDVALL, B.A. **Forms of knowledge and modes of innovation.** Research Policy, n. 36, pp. 680-693, 2007.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. **A estratégia em ação:** balanced scorecard. 5.

ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. **Organização orientada para a estratégia**: como as empresas que adotam o Balanced Scorecard prosperam no novo ambiente de negócios. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. **Kaplan e Norton na prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

KRAJEWSKI, Lee J.; RITZMAN, Larry P.; MALHOTRA, Manoj. **Administração de Produção e Operações**. 8. ed. São Paulo: Prentice Hall Brasil, 2009.

LAMBERT, D.; COOPER, M. C.; PAGH J. D. **Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities**. The International Journal of Logistics Management, v. 9, n. 2, pp. 1-19, 1998.

LAMBERT, D.; COOPER, M. C.; PAGH J. D. **Issues in supply chain management**. Industrial Marketing Management, v. 29 n. 1, pp. 65-83, 2000.

LIKER, J. K. **The Toyota Way**: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. New-York: McGraw Hill, 2004.

LIKER, J.; MEIER, D. **The Toyota Way Fieldbook**. McGraw-Hill, Nova Iorque, 2006.

LIMA, E. A. **Avaliação de um sistema de gestão integrado de acordo com os preceitos da controladoria**: estudo de caso. Trabalho de conclusão de curso. Centro Universitário da Fundação Educacional de Guaxupé. Guaxupé, 2009.

MARIAN N, LUIZA V. L, CASTRO C. G. S. O, SANTOS S. M. **Assistência Farmacêutica para gerentes municipais**. Rio de Janeiro: Opas / OMS; 2003.

MACHLINE, C.; AMARAL JR, J. B. C. **Avanços logísticos no varejo nacional**: o caso das redes de farmácias. RAE, São Paulo, v. 38, n. 4, pp. 63-71, Out./Dez. 1998.

MAXIMIANO, Antônio C. **Teoria Geral da Administração**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

MANÔMETRO. Disponível em: <<https://goo.gl/ezVk8R>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

MELTON, T. **The Benefits of Lean Manufacturing** – What Lean Thinking has to Offer the Process Industries, Institution of Chemical Engineers, Glasgow. 2005.

MENTZER, J. T. *et al.* **Defining Supply Chain Management**. Journal of Business Logistics, v. 22, n. 2, pp. 1-25, 2001.

MICHEL, R.; FOGLIATTO, F. S. **Projeto econômico de cartas adaptativas para monitoramento de processos**. Revista Gestão & Produção, vol. 9, n. 1, pp. 17-31. 2002.

MIRANDA, L. C.; SILVA, J. D. G. Medição de desempenho. *In*: SHIMIDT, P. **Controladoria agregando valor para a empresa**. Porto Alegre: Bookman, pp. 131-154. 2002.

MONDEN, Y. **Toyota Production System**: an integrated approach to just-in-time. institute of industrial engineers. Japão. 1983.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 6. ed. New York: J. Wiley, 2005.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 8th Edition. John Wiley & Sons. 2012.

MOREIRA, Daniel A. **Administração da Produção e Operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

MOREIRA, Daniel A. **Administração da Produção e Operações**. 5. ed. São Paulo: Pioneira, 2000.

MOREIRA, R. S. **Ajuste dos parâmetros do controlador pid e feedforward da malha de temperatura da pd3 da SMAR**. 2014. 41f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2014.

MOSIMANN, C. P.; FISCHER, S. **Controladoria**: seu papel na administração de empresas. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

NUINTIN, A. A. **O desenvolvimento de indicadores do desempenho e da qualidade para o processo de produção**: estudo de casos do processo de produção do café. Dissertação (Mestrado em Controladoria e Contabilidade). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto, 2007.

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. 4. ed. Prentice-Hall, 2003.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção**. São Paulo: Bookman, 1988.

OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/baccan/files/2011/05/380-1475-1-PB1.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2019.

PAIVA, Ely Laureano.; CARVALHO JR, José Mário de.; FENSTERSEIFER, Jaime Evaldo. **Estratégia de Produção e de Operações** – Conceitos, melhores práticas e visão de futuro. Bookman, 2004.

PAULUS A. J. **Gerenciamento de recursos materiais em unidades de saúde**. Rev. Espaço Saúde. Dez;7(1):30-45. 2005.

PEREIRA, C. A. Avaliação de resultados e desempenho. *In*: CATELLI, A. (Org.). **Controladoria: uma abordagem da gestão econômica GECON**. 2. ed. São Paulo: Atlas, pp.196-266. 2001.

PERLINGEIRO, C. A. G. **Engenharia de Processos** – Apostila, Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, março de 2000.

PINTO, J. **Pensamento Lean: A filosofia das organizações vencedoras**. Lidel, Lisboa. 2009.

PLANEJAMENTO. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_tn_wic_135_856_17652.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2019.

PLANEJAMENTO FATORIAL. Disponível em: <https://anselmo.quimica.ufg.br/up/56/o/DOE_03_Planejamentos_Fatoriais_-_Completo.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2019.

PLANEJAMENTO FRACIONADO. Disponível em: <ftp://mecanica.ufu.br/LIVRE/Duarte/PE/Aula1_05_03_2015/apostila_estatistica_Duarte.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2019.

POIRIER, C. C.; REITER, S. E. **Supply Chain Optimization: building the strongest total business network**. San Francisco: Berrett-Koehler Publishers, 1996.

PORTER, Michael. **Estratégia competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência**. Rio de Janeiro: Campus, 2. ed., 2004.

PROCESSOS. Disponível em: <<http://www.dequi.eel.usp.br/~felix/Controle.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

PROCESSO ESTATÍSTICO. Disponível em: <<https://goo.gl/38ATrT>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

PURCIDONIO, P.; OLIVEIRA, L.; HATAKEYAMA, K.; SCANDELARI, L. **A gestão eficaz do conhecimento através da integração entre o sistema ERP e CRM: um estudo de caso em uma indústria do setor metalúrgico.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXVI, 2006. Anais...Fortaleza: ABEPRO, 2006.

QUEIROZ, J. C. B.; CEZIMBRA, M. C. P. e SIFFERT, C. M. Engenharia de Projetos. *In: VI Seminário – “A Indústria Nacional e sua Participação na Indústria do Petróleo e Petroquímica”*, Instituto Brasileiro do Petróleo, Rio de Janeiro, 1966.

QUEIROZ, M. A. L.; VASCONCELOS, F. **Competitividade e Padrão de Inovação em Fármacos e Medicamentos.** CGEE (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos) Ciência, Tecnologia e Inovação, 17. 2009.

REZENDE, M.; SILVA, D. F.; MIRANDA, J.; SHEILA, M.; BARROS, A. **Lean Manufacturing: Redução de Desperdícios e a Padronização Do Processo**, 2015.

RODRIGUES, M. I.; LEMMA, A. F. **Experimental design and process optimization.** Boca Raton: CRC Press, 2015.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JORDAN, B. D. **Princípios de administração financeira.** 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

ROSSETI, A.; MORALES, A. **O papel da tecnologia da informação na gestão do conhecimento.** Ciência da Informação, v. 36, n. 1, pp. 124-135, 2007.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar: Mapeando o Fluxo de Valor para Agregar Valor e Eliminar Desperdício.** São Paulo: Lean Institute Brasil. 2003.

SANTOS, V. C. M. **A medição fiscal dos volumes de petróleo – medidores ultrassônicos.** 2011. 123f. Monografia (Graduação em Engenharia do Petróleo) - Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro. 2011.

SANTOS, I.; AMATO NETO, J. **Gestão do conhecimento em indústria de alta tecnologia.** Produção, v. 18, n. 3, pp. 569-582, 2008.

SANTOS, E. S.; PONTE, V. M. **Modelo de decisão em gestão econômica.** Caderno de Estudos, São Paulo, FIECAFI, v. 10, n. 19, pp. 43-56, set./dez. 1998.

SEBORG, D. E.; EDGAR, T. F.; MELLICHAMP, D. A. **Process dynamics and control**. 2. ed. John Wiley & Sons, Inc., 2004.

SENAI. **Fundamentos de controle de processo**. Espírito Santo, 1999.

SHINGO, S. **A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint**. Productivity Press: Nova York. 1989.

SILVEIRA V. C.; TELLO J.; BANDEIRA D. L. **Planejamento e controle do estoque de medicamentos de uma farmácia varejista** [monografia]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

SILVA, S. **Gestão do conhecimento**: uma revisão crítica orientada pela abordagem da criação do conhecimento. *Ciência da Informação*, v. 33, n. 2, pp. 143-151, 2004.

SIMAS, A. C. L.; LEGEY, J. C. L. **Tecnologia e Engenharia** – Uma Experiência Brasileira - *In: Seminário O desenvolvimento dos Projetos na Indústria Química Brasileira*”, Instituto de Engenharia, São Paulo, 1983.

SLACK, Nigel.; CHAMBRES, Stuart.; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SLACK, Nigel.; BRANDON-JONES, Alistair.; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

SMITH, C. A.; CORRIPIO, A. B. **Princípios e Prática do Controle Automático de Processo**. 3. ed. [S.l.]: LTC, 2008.

SOMMER, W. A. **Avaliação da qualidade**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis: UFSC, 2000.

SOUZA, G. R. **Implantação do controle estatístico de processos em uma empresa de bebidas**. Tese de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2002.

STARLING, A. N. **Controle e automação I**: introdução à instrumentação industrial. Belo Horizonte, 2003.

SUPRIMENTOS. Disponível em: <<http://www.ilos.com.br/web/logistica-naindustria-farmaceutica-desafios-e-oportunidades-na-terceirizacao/>>. Acesso em: 17 abr. 2019.

TAN, K. C. **A Framework of Supply Chain Management Literature**. European Journal of Purchasing & Supply Management, v. 7, n. 1, pp. 39-48, 2001.

TEÓFILO, R. F.; FERREIRA, M. M. C. Quimiometria II: planilhas eletrônicas para cálculos de planejamentos experimentais, um tutorial. **Química Nova**, v. 29, 2006.

TOMADAS DE DECISÃO. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/5222/3520>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e Controle de Produção**: teoria e prática. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

TOLEDO, E. C.; CANAVEZI, M. C.; SOARES, S. L. **Diretrizes básicas para implantação do controle estatístico de processos**. Departamento de Produção, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá (2007).

VAZÃO. Disponível em: <<https://goo.gl/fHCLlV>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

VOSS, Christopher A. **Alternative paradigms for manufacturing strategy**. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 15, n. 4, pp. 5-16, 1995.

WALTON, M. **O método Deming de administração**. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1989.

WHEELWRIGHT, Steven C. **Manufacturing strategy**: defining the missing link. Strategic Management Journal, v. 5, 1984.

WISNER, J. D.; LEONG, G. K.; TAN, K. C. **Principles of Supply Chain Management**: a Balanced Approach, Mason, Ohio: Thomson South-Western, 2005.

WOMACK, J.; JONES, D. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas – Lean Thinking**. Rio de Janeiro: CAMPUS. 2004.

WOMACK, J.; JONES, D. **The Machine that Changes the World**. New York: Rawson Associates, 1990.

ZAKON, A.; MILFONT Jr. W. N. **A essencialidade do ensino tecnológico na formação do Engenheiro Químico**. Rev. de Química Industrial, Edição Científica, II (2);6-14, 1992.



Operações Unitárias na Indústria Química

Brasília-DF.

Elaboração

Érica Miranda

Juliana Casares Araujo Chaves

Roseli Hiromi Sato

Produção

Equipe Técnica de Avaliação, Revisão Linguística e Editoração

Sumário

APRESENTAÇÃO	4
ORGANIZAÇÃO DO CADERNO DE ESTUDOS E PESQUISA	5
INTRODUÇÃO.....	7
UNIDADE I	
SISTEMAS SÓLIDOS	9
CAPÍTULO 1	
SISTEMAS DE SÓLIDOS EM LÍQUIDOS: SEPARAÇÃO POR FILTRAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO.....	9
CAPÍTULO 2	
SISTEMAS DE SÓLIDOS EM GASES: SEPARAÇÕES MECÂNICAS EM GERAL	21
CAPÍTULO 3	
SISTEMAS DE SÓLIDOS EM SÓLIDOS: PROPRIEDADES GERAIS	38
UNIDADE II	
SISTEMAS HOMOGÊNEOS	51
CAPÍTULO 1	
SISTEMAS HOMOGÊNEOS LÍQUIDOS	51
CAPÍTULO 2	
SISTEMAS DE LÍQUIDOS EM SÓLIDOS	67
CAPÍTULO 3	
PRINCÍPIOS BÁSICOS DE PSICROMETRIA	73
UNIDADE III	
SISTEMAS DE SEPARAÇÃO	88
CAPÍTULO 1	
TROCADORES DE CALOR	88
CAPÍTULO 2	
ADSORÇÃO E ABSORÇÃO	117
REFERÊNCIAS	123

Apresentação

Caro aluno

A proposta editorial deste Caderno de Estudos e Pesquisa reúne elementos que se entendem necessários para o desenvolvimento do estudo com segurança e qualidade. Caracteriza-se pela atualidade, dinâmica e pertinência de seu conteúdo, bem como pela interatividade e modernidade de sua estrutura formal, adequadas à metodologia da Educação a Distância – EaD.

Pretende-se, com este material, levá-lo à reflexão e à compreensão da pluralidade dos conhecimentos a serem oferecidos, possibilitando-lhe ampliar conceitos específicos da área e atuar de forma competente e conscienciosa, como convém ao profissional que busca a formação continuada para vencer os desafios que a evolução científico-tecnológica impõe ao mundo contemporâneo.

Elaborou-se a presente publicação com a intenção de torná-la subsídio valioso, de modo a facilitar sua caminhada na trajetória a ser percorrida tanto na vida pessoal quanto na profissional. Utilize-a como instrumento para seu sucesso na carreira.

Conselho Editorial

Organização do Caderno de Estudos e Pesquisa

Para facilitar seu estudo, os conteúdos são organizados em unidades, subdivididas em capítulos, de forma didática, objetiva e coerente. Eles serão abordados por meio de textos básicos, com questões para reflexão, entre outros recursos editoriais que visam tornar sua leitura mais agradável. Ao final, serão indicadas, também, fontes de consulta para aprofundar seus estudos com leituras e pesquisas complementares.

A seguir, apresentamos uma breve descrição dos ícones utilizados na organização dos Cadernos de Estudos e Pesquisa.



Provocação

Textos que buscam instigar o aluno a refletir sobre determinado assunto antes mesmo de iniciar sua leitura ou após algum trecho pertinente para o autor conteudista.



Para refletir

Questões inseridas no decorrer do estudo a fim de que o aluno faça uma pausa e reflita sobre o conteúdo estudado ou temas que o ajudem em seu raciocínio. É importante que ele verifique seus conhecimentos, suas experiências e seus sentimentos. As reflexões são o ponto de partida para a construção de suas conclusões.



Sugestão de estudo complementar

Sugestões de leituras adicionais, filmes e sites para aprofundamento do estudo, discussões em fóruns ou encontros presenciais quando for o caso.



Atenção

Chamadas para alertar detalhes/tópicos importantes que contribuam para a síntese/conclusão do assunto abordado.



Saiba mais

Informações complementares para elucidar a construção das sínteses/conclusões sobre o assunto abordado.



Sintetizando

Trecho que busca resumir informações relevantes do conteúdo, facilitando o entendimento pelo aluno sobre trechos mais complexos.



Para (não) finalizar

Texto integrador, ao final do módulo, que motiva o aluno a continuar a aprendizagem ou estimula ponderações complementares sobre o módulo estudado.

Introdução

O surgimento do conceito “operação unitária” ocorreu em 1915 pelo engenheiro químico Arthur Dehon Little, empresário e professor do Massachusetts Institute of Technology (MIT), que estabeleceu que um processo químico pode ser dividido em várias etapas básicas. Elas podem incluir o processo de transferência de massa, transporte de sólidos e líquidos, destilação, filtração, cristalização, evaporação, secagem dentre outros. Dessa maneira, segundo Little, cada uma das etapas durante a produção industrial é uma operação unitária. Essas operações unitárias permitem a viabilização econômica de um processo químico industrial.

A partir de então, os processos das indústrias químicas puderam ser uniformizados e generalizados, seguindo as leis da física, independente do material a ser produzido. Cada operação unitária pode ser calculada e dimensionada, com base nas leis da física, e as ferramentas para esses cálculos, normalmente, são equações diferenciais. Dessa forma, devido a esse caráter universal, pode-se dizer que as operações unitárias são os pilares da Engenharia Química baseados em princípios teóricos e empíricos, quais sejam:

- » Transferência de massa.
- » Transferência de calor.
- » Transferência de quantidade de movimento.
- » Termodinâmica.
- » Biotecnologia.
- » Cinética Química.

A partir desses princípios teóricos e empíricos, os processos industriais podem ser estudados de maneira unificada, sempre com o mesmo objetivo, independente da natureza química dos componentes envolvidos, que são divididos em cinco classes:

1. Processos de Escoamento de Fluidos, como transporte de fluido, filtração, fluidização sólida.
2. Transferência de Calor, como evaporação, condensação.
3. Transferência de Massa, como o transporte em tubos, mas também absorção gasosa, destilação, extração, adsorção, secagem.

4. Processos Termodinâmicos, como liquefação gasosa, refrigeração.
5. Processos Mecânicos, como transporte de sólidos, trituração, peneiramento e separação.

O dimensionamento das operações unitárias é um processo de muita importância, pois, a partir de técnicas e equipamentos, permite determinar o fluxo do processo e o *design* das plantas químicas.

Objetivos

- » Compreender os conceitos envolvidos nos processos de operação unitária.
- » Conhecer as técnicas de separação utilizadas no setor industrial.
- » Conhecer os tipos de sistemas envolvidos em processos industriais.

CAPÍTULO 1

Sistemas de sólidos em líquidos:

separação por filtração e sedimentação

Introdução

O processo de filtração consiste na separação mecânica de partículas sólidas presentes numa suspensão líquida com auxílio de um leito poroso. Esse processo também pode ser realizado na separação de poeiras arrastadas por gases com o auxílio de tecidos, procedimento também conhecido, no meio industrial, como filtração (GAUTO, 2011).

O ato de pressionar a suspensão através do leito promove a retenção do sólido sobre o meio filtrante, formando uma camada de sólido conhecida como torta, que tem espessura variável, e cujo líquido que atravessa o leito é denominado “filtrado”. A filtração tem as seguintes finalidades:

- » Separar sólidos relativamente puros de suspensões diluídas ou de correntes gasosas.
- » Clarificação total de produtos líquidos encerrando poucos sólidos.
- » Retirada total de líquidos de uma lama já espessada.

De maneira simplificada, o filtro tem um suporte do meio filtrante em que é depositada a torta conforme a suspensão atravessa o filtro. A força existente durante a operação pode variar de um modelo de filtro para outro, conforme:

- » o peso da suspensão;
- » a pressão aplicada sobre o líquido;

- » a existência de vácuo;
- » a presença de força centrífuga.

Os poros presentes no meio filtrante são tortuosos e irregulares e, mesmo que seu diâmetro seja maior do que o das partículas, com o início da operação, parte das partículas ficam retidas por aderência iniciando a formação da torta, que é o verdadeiro leito poroso que realiza o processo de separação.

Tipos de separação

Apesar do mecanismo do processo de filtração ser o mesmo, a realização deste processo pode ter objetivos diferentes. Alguns processos visam reter escamas de ferrugem, fios dentre outros, enquanto alguns filtros tem o objetivo de clarificar de maneira mais eficiente alguns líquidos como, por exemplo, águas e bebidas. Nesses exemplos, o sólido é o refugo do processo. No entanto, em outros procedimentos ele pode ser o produto, como é o caso da filtração de cristais, pigmentos e outros produtos sólidos de grande valor econômico (GAUTO, 2011).

O filtro tem a finalidade de produzir a torta que, muitas vezes, é lavada e drenada para realizar a purificação e separar os sólidos no estado mais seco possível. Em alguns casos, tanto o sólido quanto o líquido são os produtos de interesse, sendo necessário realizar a filtração de maneira eficiente. Entretanto, em muitos casos, a separação parcial já é satisfatória para os processos industriais. Nesse caso, o filtro é um espessador e sua função é gerar uma lama densa a partir de uma suspensão mais diluída.

Materiais filtrantes

A variedade de meios filtrantes é grande no meio industrial e o tipo empregado atua como critério de classificação de filtros: leitos granulares soltos, leitos rígidos, telas metálicas, tecidos e membranas (GAUTO, 2011).

Os filtros de leitos granulares soltos mais comuns são produzidos a partir de areia, pedregulhos, carvão britado, escória, calcário, coque e carvão de madeira, cuja função é clarificar suspensões diluídas.

Os leitos rígidos são confeccionados sob a forma de tubos porosos, aglomerações de quartzo ou alumina (filtração de ácidos), carvão poroso (soluções de soda e líquidos amoniacais), barro ou caulim cozido a baixa temperatura (para clarificação de água

potável). No entanto, a utilização desse tipo de filtro tem um grande inconveniente, que é a alta fragilidade, não sendo recomendado para processos com diferenças de pressão superiores a 5 kgf cm^{-1} .

As telas metálicas são empregadas em tubulações de condensado que unem os purgadores às linhas de vapor. Elas têm a finalidade de reter a ferrugem e outros detritos capazes de interromper a operação do purgador. As telas metálicas podem ser constituídas de chapas perfuradas ou telas de aço – carbono, inox ou níquel.

Os tecidos com aplicação industrial são os meios filtrantes mais comuns e podem ser tecidos vegetais, como por exemplo, algodão e cânhamo, ou papel. Podem ser de origem animal, como a lã e a crina; origem sintética, como polietileno, polipropileno, PVC, náilon, teflon, crio, saran, acrilan e tergal. O tempo de utilização desses tecidos depende do processo de desgaste, degradação (apodrecimento) e entupimento.

As membranas semipermeáveis, como, por exemplo, o papel pergaminho e as bexigas de origem animal, são empregadas em operações semelhantes à filtração, processos de transferências de massa como a diálise e a eletrodiálise.

Auxiliares de filtração

Durante a etapa de filtração podem ocorrer alguns inconvenientes, como, por exemplo, baixa velocidade de filtração, entupimento rápido do meio filtrante ou filtrado com baixo teor de limpidez. Esse processo ocorre devido à presença de material granular ou fibroso capaz de formar no filtro uma torta altamente permeável que permite a incorporação de sólidos proveniente da suspensão, que pode gerar problemas. A aplicação desses auxiliares de filtração é especialmente útil no trabalho de suspensões com sólidos finamente divididos ou flocos deformáveis lamacentos (GAUTO, 2011).

As partículas aplicadas no auxiliar de filtração devem ter baixa densidade volumar, para evitar a tendência à deposição, ter alta porosidade e ser capazes de gerar uma torta altamente porosa, além de ser quimicamente inerte em relação ao filtrado. Dentre os auxiliares de filtração mais comuns estão:

» Terras infusórias.

» Areia fina.

» Diatomito.

- » Polpa de celulose.
- » Carbonato de cálcio.
- » Gesso.
- » Amianto.
- » Carvão.

De modo geral, esses materiais são aplicados de duas maneiras: a primeira consiste na atuação de pré-revestimentos que protege o meio filtrante evitando o escape de pequenas partículas que podem, ocasionalmente, passar para o filtrado. A segunda aplicação consiste em incorporá-lo à suspensão a ser filtrada para que as partículas de difícil filtração sejam retidas numa torta permeável.

Tipos de filtros

A especificação de um filtro leva em consideração vários fatores, dentre os quais podemos destacar (GAUTO, 2011):

- » Fatores de suspensão: vazão, temperatura, tipo e concentração de sólidos.
- » Granulometria, heterogeneidade e forma das partículas.
- » Características da torta: quantidade e estado de pureza desejado.
- » Material filtrado: vazão, viscosidade, temperatura, pressão de vapor e grau de clarificação desejado.

Dessa maneira, o tipo ideal é aquele que atende aos requisitos de determinada operação e que atende aos custos envolvidos nessa operação. Os filtros mais utilizados são os de leito poroso de pedras, filtro de tambores ou discos rotativos e os operadores por pressão e vácuo.

Filtros de separação sólido-líquido

Filtros que atuam por ação da gravidade

Nos filtros que atuam por ação da gravidade, o fluxo é proveniente da pressão hidrostática da coluna de suspensão que está acima da superfície da torta. Geralmente,

eles são empregados na retirada de pequenas quantidades de sólidos presentes em um grande volume líquido. A sua maior vantagem é o baixo custo na instalação, operação e manutenção, no entanto, para a sua instalação é necessária uma grande área devido à baixa velocidade de filtração. O modelo mais simples é a caixa com fundo falso perfurado na qual é colocado um leito poroso granular, normalmente pedregulho e areia. O líquido é alimentado sobre o leito e o filtrado é liberado pelo fundo da caixa (GAUTO, 2011).

Filtros com atuação a vácuo

Os filtros com atuação a vácuo agem sob pressão inferior à atmosférica, a jusante da membrana de filtração. Normalmente, a pressão a montante é praticamente a atmosférica. Geralmente, é de funcionamento contínuo sendo mais indicada para operações que necessitam de filtros de grande capacidade. Dentre os variados modelos existentes destacam-se os filtros de tambor e de disco rotativo (GAUTO, 2011).

Filtro de tambor rotativo

O filtro de tambor rotativo é constituído por um tambor cilíndrico horizontal, com diâmetro que varia de 30 cm a 5 m de largura por 30 cm a 7 m de comprimento, que gira a baixa velocidade encontrando-se parcialmente submerso na suspensão a ser filtrada. A parte externa do tambor é confeccionada por tela ou metal perfurado e recebe uma fixação de lona filtrante (GAUTO, 2011).

O cilindro é dividido em diferentes setores por meio de partições radiais do mesmo comprimento do tambor. Além da ligação desses setores, existe outro cilindro interno de chapa comum. Dessa maneira, cada setor refere-se a um compartimento que se comunica diretamente a um furo na sede de uma válvula rotativa, presente no eixo do cilindro. A sede da válvula gira com o tambor, mas está em contato com outra placa estacionária com rasgos junto à periferia. Esses rasgos podem se comunicar por meio de tubulações presas numa terceira placa (estacionária) com os reservatórios de filtrado, com água de lavagem e, em alguns casos, com ar comprimido.

Todo o processo é automático e, conforme o tambor gira, os diversos setores passam pela suspensão. Quando um determinado setor está submerso, o furo correspondente na sede da válvula passará em frente ao rasgo que se comunica com o reservatório de filtrado, que é mantido em vácuo de 200 mmHg a 5011 mmHg.

Após sair do setor da suspensão e a torta estar devidamente drenada, inicia-se a etapa de lavagem e o furo correspondente passa a comunicar-se com o reservatório de água

de lavagem. Após as devidas lavagens, a torta é soprada com ar comprimido e retirada com uma faca.

A retirada da torta não é feita por completo, para:

- » Evitar riscos de rasgar a lona ou a tela do filtro.
- » Evitar a perda de vácuo.

Filtro de disco rotativo

Este tipo de filtro atua pela substituição do tambor por discos verticais que giram parcialmente submersos na suspensão. O elemento filtrante é constituído de lâminas, mas o filtro não deixa de ter as características de um filtro contínuo rotativo. O funcionamento obedece ao mesmo princípio do tambor rotativo, no entanto, a etapa de lavagem torna-se menos eficiente do que os tambores rotativos além da etapa de raspagem da torta. A vantagem de utilizar esse tipo de filtro está na grande área filtrante por unidade de implantação (GAUTO, 2011).

Filtros de pressão aplicada

Quando ocorre a obstrução da torta nos poros do meio filtrante é possível aplicar uma força, geralmente hidráulica ou pneumática, sobre a torta. O filtro mais significativo dessa classe é o filtro-prensa, formado por uma série de placas firmemente ajustadas umas às outras, com uma lona sobre cada lado de cada placa como meio filtrante. Dentre os modelos mais comuns podemos destacar o filtro-prensa de câmaras, o filtro-prensa de placas e quadros e o filtro de lâminas (GAUTO, 2011).

Filtro-prensa de câmara

O filtro-prensa recebe essa denominação devido às placas que são rebaixadas na parte central e formam câmaras quando justapostas. Cada placa tem um furo no centro, e é revestida com lonas que também tem furos centrais correspondendo aos furos presentes nas placas. Quando a prensa é instalada, os furos formam um canal que alimenta a suspensão por diversas câmaras. Os anéis metálicos de pressão prendem as lonas às bordas do furo central das placas e, simultaneamente, vedam a passagem de suspensão pelo espaço entre a lona e a placa. As superfícies das placas têm pequenos ressaltos com a forma de troncos de pirâmides formando uma verdadeira rede de canais por onde o filtrado escoar até chegar às aberturas que se comunicam com as torneiras de saída. Cada placa tem uma torneira correspondente que, ao ser fechada, promove a interrupção da placa (GAUTO, 2011).

A sequência de operação deste tipo de filtro é:

- » Montagem da prensa.
- » Início da alimentação da suspensão.
- » Alimentação até as câmaras estarem cheias de torta ou até a pressão exceder um determinado valor.
- » Abertura da prensa.
- » Retirada da torta.
- » Remontagem do conjunto.

A principal vantagem de utilizar os filtros-prensa é o baixo custo do equipamento, com a desvantagem do elevado custo da operação e desgaste excessivo das lonas, além da impossibilidade de lavagem da torta.

Filtro-prensa de placas e quadros

As placas têm formato quadrado e faces da prensa planas e sucessivas. Entre as placas existe um quadro, que nada mais é do que um espaçador de placas. A cada lado de um quadro existe uma lona que se encosta à placa correspondente, além de uma estrutura que dá suporte para as placas e os quadros. O ajuste é feito por um parafuso no sistema hidráulico (GAUTO, 2011).

Na parte superior de cada quadro existe um furo circular que se comunica com a parte interna dos outros quadros; da mesma maneira, as placas apresentam esses furos na mesma posição. Após a montagem da prensa, os furos formam um canal de escoamento da suspensão que alimenta a lama no interior de cada quadro. O material filtrado atravessa as lonas posicionadas de cada lado dos quadros e passa para as placas, escoando até alcançar aos furos de saída no canto inferior oposto ao canal de entrada da suspensão nos quadros. As lonas têm furos nas posições correspondentes aos canais.

A saída do filtrado pode ser feita por uma torneira existente em cada placa ou por meio de um canal idêntico ao de alimentação da suspensão formado a partir da justaposição de furos circulares que se unem com a saída das placas.

Filtros de lâminas

Os filtros de lâminas são constituídos de lâminas filtrantes múltiplas arranjadas lado a lado. Essas lâminas podem ficar imersas na suspensão a ser filtrada e, a partir do processo de sucção, o filtrado é enviado para o interior do sistema por meio de uma bomba a vácuo. Em outros tipos de filtro a suspensão pode ser alimentada sob pressão num tanque fechado que aloja as lâminas. Nos dois casos, a torta é formada na parte exterior da lâmina e o filtrado passa para o seu interior, por onde surge um canal específico para o tanque de filtrado (GAUTO, 2011).

Uma lâmina comum tem um quadro metálico resistente (quadrado ou circular) que circunda uma tela grossa revestida, de ambos os lados, com duas telas mais finas. Todo o conjunto é envolvido por uma lona, com formato de saco ou fronha, e a vedação é confeccionada com cantoneiras metálicas. Em cada lâmina, na parte superior, tem uma tubulação de saída do filtrado, com válvulas e visor. Caso uma lâmina esteja filtrando de maneira insatisfatória, a válvula correspondente é fechada.

O conjunto de tubos de saída é reunido em um coletor geral, que se comunica com o tanque mantido em vácuo, no qual é recolhido o filtrado. Caso a torta necessite ser lavada, o coletor de saída de filtrado deve ter uma derivação que seguirá até um segundo tanque, a vácuo, que recolherá a água de lavagem.

Filtro de separação sólido-gás

No processo de filtração de um sólido presente na corrente gasosa utilizam-se equipamentos conhecidos como coletores de pó, que têm como objetivo, extrair toda e qualquer partícula arrastada pelo gás (GAUTO, 2011).

Os coletores de pó, também conhecidos como filtros de saco ou mangas, utilizam como meio filtrante materiais de fácil substituição ou restauráveis, sendo os mais comuns a lã de vidro e os tecidos. Os tecidos empregados são flanela, algodão, lã, feltro, poliéster, poliuretano, polipropileno, náilon, crilon, teflon e tecidos minerais como, por exemplo, o amianto. A temperatura máxima empregada no algodão é de 80°C e das fibras sintéticas é superior a 150°C, havendo casos em que é necessário resfriar os gases antes da passagem pelo filtro.

O filtro de mangas é o meio filtrante mais comum, sendo composto por mangas penduradas em um suporte, em que o gás atravessa pelas mangas e o material sólido (pó) é retido nos tecidos. O material retido é coletado periodicamente por agitação mecânica vigorosa do conjunto de mangas. Em alguns casos, a limpeza é feita por uma corrente de ar limpo em sentido inverso ao do gás empoeirado.

Sedimentação e decantação

O processo de sedimentação é uma técnica de separação via deposição gravitacional de partículas sólidas presentes no líquido em que estão suspensas. A decantação visa clarificar o líquido, espessar a suspensão ou lavar os líquidos (GAUTO, 2011).

Na sedimentação, parte-se de uma suspensão com baixa concentração de sólidos para a formação de um líquido com quantidade mínima de sólidos. É possível obter, também, uma suspensão mais concentrada do que a inicial, mas o objetivo final é a clarificação do líquido.

O processo de decantação inicia-se por uma suspensão concentrada com o objetivo de obter os sólidos com quantidade mínima de líquido. Em alguns casos, como no tratamento de minério de zinco, chumbo e fosfato, procura-se atingir os dois objetivos simultaneamente:

- » Obter uma lama (ganga) com pouca quantidade de água.
- » Obter um concentrado com um mínimo de ganga.

O mesmo decantador pode atuar como clarificador ou espessador no processo.

Outra finalidade da decantação é a transferência da fase sólida de um líquido para outro, visando realizar a lavagem sem utilizar a técnica de filtração, que é um processo mais dispendioso. Nesse caso, o processo de decantação é realizado por colunas que são alimentadas pela suspensão a partir da parte superior, e são tratadas com um líquido de lavagem introduzido pela base dessas colunas.

Fundamentos teóricos

A fundamentação teórica do processo de decantação está ligada à concentração de partículas por onde elas se movem. Pode haver decantação livre ou retardada, mas, em sua grande maioria, os fatores que influenciam a velocidade de decantação de materiais sólidos em meio resistente são (GAUTO, 2011):

- » Densidades dos sólidos e dos líquidos.
- » Diâmetro.
- » Formas das partículas.
- » Viscosidade do meio.

A propriedade de viscosidade é influenciada pela temperatura. Dentro de certos limites, é possível aumentar a velocidade de decantação a partir do aumento da temperatura. Da mesma maneira, o diâmetro e as densidades são fatores de grande importância no processo de decantação.

Existem vantagens práticas que resultam do aumento do tamanho das partículas antes da decantação, por meio de dois métodos:

» Digestão.

» Floculação.

O processo de digestão consiste em deixar a suspensão em repouso até que as partículas finas sejam dissolvidas, enquanto que as partículas maiores aumentam de tamanho às custas das menores. Esse procedimento ocorre pela maior solubilidade de partículas menores em relação às maiores.

O procedimento de floculação é feito pela aglomeração de partículas influenciada pelas forças de Van der Waals, que é responsável pela formação de flocos maiores em relação às partículas isoladas. O estágio de floculação de uma suspensão está ligado a dois fatores antagônicos:

» a probabilidade de haver choques entre várias partículas que irão gerar os flocos;

» a probabilidade de ocorrer aglomeração após os choques.

O primeiro item depende da energia disponível das partículas em suspensão e, assim, uma agitação leve permite a ocorrência de choques aumentando o grau de floculação. Entretanto, se a agitação for muito intensa, existe a possibilidade de desagregação dos aglomerados formados.

Sedimentação úmida

O processo de sedimentação úmida (sólido + líquido) pode ser realizado do modo contínuo ou descontínuo, dependendo de sua aplicação. Os sedimentadores contínuos são de tamanhos limitados em relação à dificuldade de remover os sólidos dos tanques maiores (GAUTO, 2011).

Os sedimentadores descontínuos são considerados caros devido aos custos de operação, em virtude da demanda da mão de obra necessária para a manipulação da

corrente de alimentação de porte razoável. Dessa maneira, os sedimentadores contínuos são os mais utilizados.

Sedimentadore de sólidos grosseiros

Os sedimentadores sólidos mais comuns empregados na indústria são os de rastelo e o helicoidal (GAUTO, 2011).

No decantador de rastelo, a suspensão é alimentada em uma região intermediária de uma calha inclinada. Em um conjunto de rastelos, o sólido grosso é arrastado e decanta facilmente na região superior da calha. No final do curso, os rastelos são erguidos e retornam para a parte inferior da calha, sendo novamente levados até o fundo para a raspagem dos sólidos grossos. Devido ao processo de agitação moderada dos rastelos, os sólidos finos permanecem na suspensão que é removida por um vertedor localizado na borda inferior da calha.

O decantador helicoidal tem uma hélice em sua estrutura que arrasta de modo contínuo os sólidos grossos para a parte superior de uma calha semicircular inclinada. Da mesma forma como ocorre com o decantador de rastelo, o movimento lento proveniente do mecanismo transportador evita a decantação dos sólidos finos que são liberados junto com a suspensão por meio do vertedor.

Os decantadores de rastelo e helicoidal atuam mais propriamente como classificadores ou separadores de primeiro estágio, uma vez que os sólidos finos deverão ser separados posteriormente do líquido em decantadores de segundo estágio.

Sedimentadores de sólidos finos

O processo de sedimentação dos sólidos finos pode ser realizado sem a interferência mútua das partículas (decantação livre) ou sob interferência (decantação retardada). Teoricamente, a concentração dos sólidos é o fator determinante para o tipo de decantação empregado no processo. As suspensões diluídas são decantadas com o objetivo de clarificar o líquido, sendo nesse caso, empregado o clarificador. As suspensões concentradas são responsáveis pela produção de uma lama espessa e o decantador, nesse caso, é um espessador (GAUTO, 2011).

O decantador contínuo para sólidos finos também é conhecido como cone de decantação. A alimentação deste tipo de decantador é realizada por um tubo central localizado na parte superior do equipamento. O líquido clarificado é coletado por uma canaleta periférica e a lama é coletada pela parte inferior com o auxílio de uma bomba

de lama ou pela ação da gravidade. O ângulo do cone dos decantadores não deve exceder os 45° a 60° para facilitar a descarga, sendo que, quanto maior o diâmetro do cone de decantação, maior será a sua altura.

Existem também decantadores com o fundo de baixa inclinação e munidos de rastelos que conduzem a lama para a saída. Os rastelos são braços com paletas inclinadas que conduzem a lama até o centro. Além do transporte, os rastelos agitam brandamente a suspensão auxiliando no processo de floculação. Em áreas grandes para decantação utilizam-se decantadores de bandejas múltiplas, pois a capacidade de um decantador está relacionada à área disponível para acumulação de sólidos. As bandejas são levemente inclinadas e munidas de rastelos fixados ao eixo central, que funcionam como um decantador simples com um alimentador para cada um deles.

Sedimentação seca

O processo de sedimentação seca é realizado pelo equipamento conhecido como câmara gravitacional, que consiste em expansões simples do duto de onde escoar uma corrente gasosa. Dependendo do tamanho da seção transversal, a velocidade do gás será menor e as forças gravitacionais que atuam sobre as partículas podem superar a cinética, promovendo a deposição dessas partículas. O gás é inserido por um difusor que uniformiza a velocidade no interior da câmara sendo liberado por um duto na extremidade oposta (GAUTO, 2011).

O funcionamento desse equipamento pode ser melhorado com a inclusão de chicanas ou telas que permitem aumentar a velocidade do fluxo, sendo o sólido coletado em funis no fundo da câmara.



Link de material extra sobre Operações Unitárias:

<https://www.cintegrado.com.br/site/documentos/Operacoes_Unitarias_09-2013.pdf>.

CAPÍTULO 2

Sistemas de sólidos em gases: separações mecânicas em geral

Introdução

A importância da retirada de partículas líquidas ou sólidas suspensas em gases deve-se a vários motivos (GOMIDE, 1980), quais sejam:

- » Necessidade de recuperar o material arrastado. Ocorre nos casos do transporte de pneumáticos, de produtos de operação de moagem e de instalações de leito fluido. Devido ao seu alto valor, alguns produtos arrastados, mesmo em pequenas quantidades, acarretam perdas significativas na produção, como por exemplo, o ouro e a prata no processo de fusão, o leite em pó, o café solúvel e os catalisadores de platina.
- » Necessidade de processar a limpeza de gases gerados industrialmente, como por exemplo, a eliminação de gotículas arrastadas no topo de evaporadores, reatores e colunas de absorção. Em muitos casos, os fumos e as névoas que contaminam os produtos gasosos podem interferir na próxima etapa de produção e, em alguns casos, ocasionam o entupimento e até a corrosão de equipamentos e compartimentos.
- » Evitar possíveis danos ambientais derivados de poeiras, fumaças e névoas tóxicas ou odor desagradável que podem ser dispersos na atmosfera, como por exemplo, na produção de cimento.
- » Tomar medidas preventivas, devido à emissão de partículas finas que podem causar explosões ou combustão.

O processo de sedimentação livre de partículas sólidas ou líquidas em gases é relativamente fácil quando seu tamanho é grande. Caso a velocidade de decantação seja superior a 30 cm s^{-1} o processo de recolhimento dessas partículas poderá ser feito sem maiores problemas. Entretanto, em alguns casos, o pós-industrial pode gerar partículas da ordem de $1 \mu\text{m}$ de sedimento com velocidade de $0,1 \text{ cm s}^{-1}$, aproximadamente, gerando problemas na etapa de separação.

Equipamentos utilizados

A escolha do equipamento deve levar em consideração alguns fatores importantes como o tamanho da partícula, densidade, concentração, vazão de gás, temperatura, e características físicas e químicas. Fundamentalmente, os métodos de separação baseiam-se no processo de decantação, centrifugação, filtração e lavagem (GOMIDE, 1980), e ocorrem por:

- » Câmaras gravitacionais.
- » Separadores inerciais ou de impacto.
- » Separadores centrífugos.
- » Filtros.
- » Precipitadores eletrostáticos.
- » Separadores úmidos.

Câmaras gravitacionais

Um dos métodos mais antigos de separação de partículas e gotículas de um fluxo gasoso é o processo de sedimentação livre baseado do próprio peso. Esse método é muito utilizado na indústria de enxofre, metalurgia e arsênio. É aplicado para partículas grosseiras, com dimensões inferiores a 50μ (325 mesh) e sua eficiência é pequena, principalmente em casos em que existe corrente de convecção (GOMIDE, 1980).

As câmaras gravitacionais são expansões dos dutos por onde escoar a corrente de gás. Caso a seção transversal da câmara seja suficientemente grande, a velocidade do gás será menor e as forças gravitacionais que exercem influência sobre a partícula podem superar a cinética, promovendo a deposição da partícula. O gás é inserido por um difusor que uniformiza a velocidade no interior da câmara saindo por um duto na extremidade oposta. Para evitar possíveis redispersões das partículas recomenda-se que a velocidade de entrada do gás seja baixa com valores de $0,02$ a $0,6 \text{ m s}^{-1}$.

O funcionamento dessas câmaras pode ser melhorado com a inclusão de chicanas ou telas que permitem aumentar a velocidade, pois o material será coletado em funis posicionados no fundo da câmara.

O dimensionamento do sistema consiste no cálculo da profundidade H da câmara, da largura L e do comprimento C . Em caso de ausência de turbulência no interior da câmara, as partículas serão depositadas à velocidade de u_t . Sendo Q a vazão volumétrica

do gás, $v = \frac{LHQ}{C}$ a sua velocidade e o tempo de resistência $\frac{C}{v}$,
obtem-se: v

$$\frac{C}{v} = \frac{C}{v}$$

$$v$$

Ou seja,

$$\frac{H}{u_t} = \frac{C}{v}$$

$$H$$

A relação $\frac{H}{u_t}$ pode ser utilizada pelo projetista visando aproveitamento máximo do espaço e uma distribuição uniforme do gás no interior do coletor. A seção quadrada é a mais indicada para obter uma distribuição uniforme, mas a utilização de caixas com menor profundidade permite que o tempo de resistência e o comprimento sejam menores podendo haver problemas com a retirada do pó.

Em sistemas de regime viscoso de sedimentação, a velocidade u_t poderá ser calculada pela lei de Stokes para partículas esféricas:

$$u_t = \frac{gD^2}{18\mu}(\rho - \rho')$$

ρ = densidade da partícula

ρ' = densidade do gás μ =

viscosidade do gás D =

diâmetro da partícula g =

aceleração da gravidade

Para o ar nas condições ambientais e desprezando ρ' comparado com ρ , resulta em: ρ em g ml^{-1} , D em μ e u_t em m s^{-1} .

$$u_t = 3,03 \times 10^{-5} \rho D^2$$

Recomenda-se utilizar a metade do valor da velocidade terminal calculada com a lei de Stokes para realizar o dimensionamento da câmara com a velocidade do gás igual a $0,3 \text{ m s}^{-1}$, que leva em consideração a forma das partículas e as turbulências no

da câmara. Fazendo a substituição de u_t por $u = \frac{u_t \text{ interior}}{2}$, temos:

$$\frac{H}{u} C = \frac{v}{v_0}$$

A perda de carga, que está relacionada à perda de velocidade na entrada da câmara e à contração de saída, tem de 1,5 a 2 vezes o valor da pressão de velocidade correspondente à velocidade no duto de saída.

Um modelo otimizado é a câmara de Howard, que tem bandejas múltiplas horizontais próximas umas das outras, diminuindo a distância que a partícula deve percorrer antes de ser coletada.

Separadores inerciais ou de impacto

Os separadores inerciais ou de impacto fazem a separação de partículas ou gotículas do gás pela grande diferença da quantidade de movimento existente entre eles. Dessa maneira, a partir da inversão brusca do movimento do gás, as partículas ou gotículas são coletadas, pois não poderão seguir o caminho do gás. A trajetória será menos curvada em relação às linhas de corrente do gás obrigando-as a atingir anteparos com chicanas ou material poroso de enchimento e, pela ação da gravidade, chegarão aos pontos de descargas (GOMIDE, 1980).

Os separadores mais comuns desse tipo de equipamento são:

- » Câmara inercial.
- » Torre de chicanas ou separador de bandejas.
- » Bateria de separadores inerciais.
- » Coluna de enchimento.
- » Separador do tipo veneziana.

Para os tipos mais comuns de separadores dessa classe é preciso prever uma velocidade mínima de escoamento de 18 m s^{-1} para realizar a separação de partículas de 50μ . É possível aumentar o rendimento com o recobrimento das chicanas com óleo não secativo ou água. Dessa maneira, o pó será facilmente captado e conduzido até o dispositivo de descarga. Um dos problemas desse equipamento é a redispersão do material coletado devido à velocidade que ele atinge no coletor.

Teoricamente, o processo de remoção de fumaça e neblinas de correntes gasosas está relacionado ao impacto das partículas ou de gotículas na superfície sólida ou em barreiras dispostas perpendicularmente à direção da corrente gasosa. As partículas cruzam as linhas de correntes incidindo em barreiras que podem ser fitas, esferas ou cilindros. As partículas que se deslocam no interior de um tubo de fluxo AB incidem na barreira e são coletadas caso não sejam redispersas pelo gás. As partículas que se encontram fora desse tubo AB não incidem na barreira e seguem no fluxo gasoso. A eficiência de impacto refere-se à fração η de partículas carregadas pelo volume de gás desviado e incidido no anteparo ou barreira.

Considere D_b o diâmetro de um anteparo cilíndrico com comprimento L , logo, $D_b.L$ será a seção transversal da corrente desviada. As partículas da corrente de seção XL incidem o anteparo e a eficiência será de:

$$\eta = \frac{X}{D_b}$$

Em função do número de separação (adimensional) N_s :

$$N_s = \frac{v u_t}{g D_b}$$

Onde:

u_t = velocidade terminal de decantação das partículas calculadas pela Lei de Stokes

v = velocidade do gás em direção ao anteparo g = aceleração da gravidade

D_b = dimensão característica da barreira (largura da fita ou diâmetro do cilindro ou esfera)

Caso o gás esteja parado e o anteparo seja móvel, essas expressões continuam válidas, no entanto, v_{rel} passa a ter valores do anteparo e, se ambos forem móveis, v_{rel} assume a velocidade relativa.

Separadores centrífugos

Nos separadores centrífugos, as partículas são separadas do fluxo gasoso pela ação da força centrífuga variando de 5 a 2.500 vezes o peso, o que permite captar partículas menores em comparação aos equipamentos apresentados anteriormente. Caso a velocidade periférica seja mantida alta, as partículas são lançadas contra a parede do separador de alta velocidade e, assim, correm o risco de retornar à corrente gasosa (GOMIDE, 1980).

Da classe de coletores, o equipamento mais utilizado é o ciclone que atua da seguinte maneira: o gás contendo as partículas é introduzido tangencialmente a alta velocidade (6 a 20 m s⁻¹) por um tubo de entrada com altura H e largura B. Após algumas voltas no interior do tubo cilíndrico, com diâmetro D_c e comprimento L, o gás é liberado por um tubo vertical, deixando no interior do ciclone o pó que é coletado por um componente cônico e liberado por um tubo.

Os ciclones fazem a separação de gotículas líquidas presentes em correntes gasosas, permitindo realizar o trabalho a seco ou úmido, em sistemas de baixa temperatura e pressão ou a temperaturas de 1000°C a pressão de 500 atm. A eficiência de captação desse equipamento é apropriada para partículas superiores a 10 μ, partículas com diâmetro inferior a esse valor serão muito pequenas, acarretando perda de carga. Em alguns casos, pode ocorrer o efeito de aglomeração significativo, com eficiência aproximada de 98% na separação de partículas com diâmetro de 0,1 a 2 μ. Nos casos de partículas com diâmetro acima de 200 μ, os ciclones são mais onerosos do que as câmaras gravitacionais.

Resumidamente, os ciclones de grande diâmetro (3 a 6 vezes o diâmetro do duto de entrada) coletam muito bem partículas com diâmetro acima de 50 μ, sendo denominados ciclones de primeiro estágio de coleta. Os ciclones com diâmetro menor conseguem captar partículas pequenas, sendo denominados ciclones de segundo estágio. Os ciclones de primeiro estágio têm menor custo inicial e geram menor perda de carga podendo gerar eficiência de 80% a 90%, enquanto que os ciclones de segundo estágio, têm maior custo de instalação e operação. A eficiência dependerá do tamanho das partículas e do diâmetro do corpo cilíndrico.

Princípio de funcionamento

O gás percorre duas espirais no interior do ciclone: a externa descendente (junto à parede) e a interna ascendente. A aceleração radial depende do raio (r) da trajetória realizada pelo gás, obedecendo a seguinte equação:

$$a_r = \omega^2 r = \frac{b}{r^n}$$

Sendo b e n constantes e o valor de n variando de 2 a 2,4, as partículas conseguem atingir rapidamente a velocidade terminal dada pela Lei de Stokes:

$$u_t = \frac{a D^2}{18\mu} (\rho_p - \rho_f) = \frac{b D^2}{18\mu r^n} (\rho_p - \rho_f)$$

A expressão anterior permite inferir que, para um determinado diâmetro de partícula, a velocidade terminal aumentará com a diminuição de r , tornando-se máxima na espiral interna. Dessa maneira, as partículas com pequeno diâmetro que o ciclone consegue captar são separadas do gás na espiral interna. Partículas menores às que foram separadas na espiral interna não têm tempo hábil para atingir a parede e são recapturadas pelo fluxo gasoso, saindo pelo tudo de saída do ciclone.

Eficiência de captação

Nesta etapa, é possível calcular um diâmetro de corte D' , que é o tamanho da partícula cuja eficiência de coleta seja aproximadamente de 50% no ciclone trabalhado.

A eficiência de captação pode ser obtida pela seguinte relação (GOMIDE, 1980):

$$\frac{D}{D'}$$

A eficiência será maior quanto menor for o seu diâmetro, que pode ser aumentado com a velocidade de entrada, com o número de rotações da corrente fluida no interior do ciclone e com o tamanho e a densidade das partículas.

Em termos práticos, o que se obtém no projeto é a eficiência do processo de separação desejada para partículas a partir de um determinado diâmetro D . Dessa maneira, o diâmetro de corte pode ser calculado pela expressão proposta por Rosin, Rammler e Intelmann (GOMIDE, 1980):

$$D' = \frac{9\mu B}{\rho_p - \rho_f}$$

$$\sqrt{\frac{9\mu B}{2\pi \rho \rho' N V (- ')}}$$

Sendo:

B = largura do duto de entrada do ciclone (cm) μ = viscosidade do gás (poise)

N = número de voltas feitas pelo gás no interior do ciclone (igual a 5 para ciclones com as proporções mencionadas)

V = velocidade de entrada do gás no ciclone (cm s^{-1}) baseado na área BH (recomenda-se adotar 15 m s^{-1}) ρ = densidade das partículas (g cm^{-3}) ρ' = densidade do gás (g cm^{-3})

O diâmetro da menor partícula que pode ser coletada pelo ciclone é dado pela seguinte expressão:

$$D'_{\min} = \sqrt{\frac{9\mu B}{2\pi \rho \rho' N V (- ')}}$$

Observa-se que:

$$D'_{\min} = \sqrt{\frac{D'}{\sqrt{2}}}$$

Dimensionamento

As equações apresentadas podem ser utilizadas para dimensionar ciclones com medidas

D_c específicas. De fato, sendo B = ____ e N = 5, é possível obter a seguinte expressão
(GOMIDE, 1980):

$$B = \frac{D_c}{4} = \frac{2\pi \rho \rho' (5) V (- ') D'^2}{9\mu}$$

Utilizando V em m s^{-1} (entre 6 a 20 m s^{-1}), μ em cP, ρ e ρ' em g cm^{-3} , D' em μ , teremos para D_c em cm:

$$D_c = 1,396 \times 10^{-3} \frac{V (\rho \rho' - ') D'^2}{\mu}$$

O seguimento dos cálculos é dado da seguinte maneira: uma vez definida a porcentagem de captação das partículas com diâmetro D especificado, retira-se D' , e as demais medidas podem ser calculadas pelas relações geométricas:

$$= Z = 2D_c, D_s = \frac{D_c L}{2}$$

$$S = \frac{D_c}{8}$$

$$J = \frac{D_c}{4}$$

$$B = \frac{D_c}{4}$$

A altura do duto de entrada é calculada pela velocidade admitida e pela vazão de projeto Q ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$):

$$H = \frac{Q}{BV}$$

Caso H resulte num valor muito diferente de $\frac{D_c}{2}$, convém reprojeter ou utilizar ciclones em paralelo.

Outros métodos de dimensionamento

» Stairmand e Kelsey apresentam duas expressões que possibilitam calcular dois tipos de ciclones: de alta eficiência (e média capacidade) e de média eficiência (alta capacidade) operando com velocidade de entrada a $15,2 \text{ m s}^{-1}$. Remanejando as expressões é possível obter (GOMIDE, 1980):

$$\text{Alta eficiência: } D_c = 26\sqrt{Q}$$

$$\text{Média eficiência: } D_c = 155\sqrt{Q}$$

$$Q = \text{vazão normal } (\text{m}^3 \text{s}^{-1})$$

$$D_c = \text{diâmetro de ciclone (cm)}$$

» Silverman realizou estudos a partir de medidas de ciclones em função da vazão em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, que permitiram obter a seguinte expressão:

$$D_c = 70,9 Q^{0,477}$$

Sendo D_c em cm e Q em m^3s^{-1} .

A velocidade ideal de entrada deve ser mantida entre 15,2 e 17, $m s^{-1}$.

A perda de carga pode ser calculada utilizando a seguinte expressão:

$$F_c = K D_s \sqrt{\frac{B H}{12} + \frac{L Z}{3 D_c^2}}$$

Sendo K um fator relacionado ao defletor de entrada, com valores de $K = 0,5$ para ciclones sem defletores, $K = 1$ para ciclones com defletor simples e $K = 2$ para ciclones com defletores até a parede.

» Linoya propõe outro método: com a velocidade de entrada variando de 15,2 a 17,8 $m s^{-1}$ calcula-se a área BH do duto de entrada em m^2 . O diâmetro do ciclone pode ser obtido pela seguinte relação:

$$D_c = \sqrt{286 B H}$$

» E as demais relações geométricas são:

» $L = D_c$, $D_s \leq \frac{D_c}{2}$, $\alpha = \text{ângulo da parte cônica} = 20 \text{ a } 30^\circ$

» $J = \frac{D_c}{2}$, adotando $\alpha = 20^\circ$, obtém $Z = 2,88 D_c$

» A perda de carga deve ser calculada pela expressão:

$$F_c = \frac{\sqrt{30 B H D_c}}{\sqrt{D L Z^2}} +$$

» Utilizando $\alpha = 20^\circ$ e $D_s = \frac{D_c}{2}$, é possível obter $F_c = 5,65$ altura de velocidade na entrada.

Modelos variantes

Um tipo de modelo variante é o ciclone que apresenta um duto cônico na entrada com uma série de frestas. Dessa maneira, o gás que chega ao ciclone é apenas 5% do total a ser tratado. O gás que é liberado do ciclone é reciclado para o separador e, pelas frestas, o gás limpo é liberado para o duto de saída. Esse tipo de sistema permite reduzir o tamanho de ciclone e do ventilador, diminuindo os custos de operação. A drenagem do ar alimentado no ciclone é feita por pequenos tubos instalados na parte lateral do duto de entrada, que permite apenas a saída de gás para o coletor de segundo estágio. Esse sistema pode ser empregado na retirada de partículas grosseiras como, por exemplo, grãos de cereais e sementes oleaginosas (GOMIDE, 1980).

Outro tipo de ciclone empregado é o multiciclone constituído por pequenos ciclones em paralelo. Nesse equipamento, o gás é alimentado em cada ciclone pela parte superior através do espaço anular por paletas que permitem a circulação do gás. A liberação é feita por tubos centrais, um para cada ciclone, sendo recolhido num coletor que pode ser horizontal ou vertical. No interior do corpo, de seção cilíndrica ou retangular, são inseridos vários ciclones. As vantagens de utilizar este tipo de equipamento são:

- » Economia de espaço, uma vez que os ciclones que compõem a unidade podem ficar próximos uns dos outros devido à eliminação dos dutos tangenciais de alimentação do gás nos ciclones convencionais.
- » Maior eficiência de captação de partículas menores ($10\mu\text{m}$), pois a força de separação que pode ser obtida nesse tipo de equipamento é maior (inversamente proporcional ao diâmetro).
- » Flexibilidade de instalação, que permite que o duto de saída seja horizontal ou vertical, reduzindo a perda de carga.

Filtros

Os filtros são classificados como coletores de segundo estágio com a retenção de partículas e gotículas menores do que 10μ e maiores do que $0,1\mu$; geralmente empregando intervalos de $0,1$ a 100μ (GOMIDE, 1980).

De maneira geral, qualquer meio poroso pode ser empregado como filtro, no entanto, no meio industrial, são utilizados materiais filtrantes de fácil substituição ou restauráveis, sendo a lã de vidro e os tecidos os materiais mais comuns.

Os equipamentos com materiais substituíveis são utilizados principalmente nas instalações de ar condicionado. O leito poroso é constituído por uma manta de lã de vidro inserida entre duas telas metálicas presas num quadro metálico de fácil substituição. As características gerais desses coletores são:

- » Cargas leves de sólidos.
- » Capacidade de 1 a $2,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^2$.
- » Perda de carga de 5 a 15 mm.
- » Eficiência inferior a 90%.
- » Adequado para gás seco.
- » Manutenção elevada.
- » Necessidade de pequena área para instalação.
- » Flexibilidade de operação.

A eficiência pode ser aumentada em até 99% para partículas finas com a utilização de leitos mais compactos de papel e amianto. No entanto, a capacidade é reduzida em até $0,2$ a $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ m}^2$ e a perda de carga pode aumentar de 25 a 50 mm.

Os filtros restauráveis são produzidos a partir de tecidos, conhecidos no meio industrial como mangas ou sacos e são confeccionados em flanela, algodão, lã, feltro, poliéster, poliuretano, polipropileno, nylon, orlon, teflon e tecidos minerais (amianto).

A eficiência é de aproximadamente 95% para partículas com diâmetro entre $0,1$ a 100μ , sendo as primeiras camadas de pó depositadas sobre o tecido propiciando a formação de um leito poroso que contribui para a retenção do sólido.

Em um sistema tipo de filtros de mangas, essas têm dimensões de 15 cm de diâmetro por 2,50 m a 3 m de altura e são penduradas num suporte e fixadas pela parte inferior por uma placa perfurada por onde o gás penetra nas mangas. Periodicamente, o pó depositado sobre a superfície das mangas é removido por agitação mecânica e recolhido por um aparato afunilado. Em alguns casos a limpeza é auxiliada por uma corrente de ar limpo que incide no sentido contrário ao gás particulado.

A capacidade pode variar de 0,01 a 0,02 m³ s⁻¹ m², sendo o menor valor para fluxo de gás com alta concentração de poeira. Unidades comerciais típicas têm de 75 a 1500 m² de área filtrante.

A determinação da perda de carga é dada por duas resistências em série: a do tecido (Ro) e a da poeira depositada (Rd), sendo o primeiro termo proporcional à velocidade do gás (v):

$$R_o = K_o \cdot v$$

Sendo K_o a função do tipo de poeira, da área filtrante e da disposição do tecido $mmC A$. K_o é a constante do filtro e a unidade dada em $\frac{mmC A}{m^2}$. A Tabela 1 apresenta alguns valores típicos de K_o para filtração de pó de pedra, abrasivos, terra e poeira de fundição:

Tabela 1. Valores de K_o .

Material particulado	K_o
Pó de pedra	3700 a 4150
Pó de pedra com limpeza por vibração mecânica	1850 a 3000
Abrasivos	4000
Terra seca	4000 a 8000
Poeira de fundição	1250 a 2900
Limpeza com gralha	1950 a 3150
Limpeza pneumática	1700 a 2950

Fonte: GOMIDE, 1980.

É possível obter informações sobre a resistência da poeira depositada sobre o tecido dependendo do tipo e do tamanho das partículas, da quantidade e da velocidade do gás utilizando a seguinte expressão:

$$R_d = K_d \cdot v \cdot C$$

Sendo C a carga de pó em kg m⁻². A Tabela 2 apresenta alguns valores de K_d :

Tabela 2. Valores de K_d .

Tipo de poeira	C (carga de pó no tecido)	K_d
	1,5	900
	2,1	800
	2,4	500
	3,7	600
Pó de pedra	4,3	400
	5,2	600

	6,7	550
	7,6	100
	8,5	350
	0,06	4100
Limpeza de granalha	0,09	1250
	0,40	1250
Limpeza pneumática	0,06	3300
	0,73	2000
Jato de areia	2,1	1000

Fonte: GOMIDE, 1980.

E a resistência total é dada por:

$$R_t = R_o + R_d$$

Precipitadores eletrostáticos

Estes equipamentos podem captar partículas sólidas ou líquidas extremamente finas, podendo chegar a níveis de eficiência próximos de 100% trabalhando-se com gás a baixa velocidade com limite econômico de 99%. É possível separar aerossóis e neblinas com partículas de $0,10 \mu$ e o processo de decantação, por outro equipamento, que é impedida devido ao movimento browniano. Em alguns coletores úmidos de pequenas partículas elas nem chegam a ser molhadas (GOMIDE, 1980).

Este método foi desenvolvido por Cottrell e consiste na passagem de gás entre dois eletrodos mantidos com uma diferença de potencial de 10000 a 75000 V, que é capaz de ionizar as moléculas do gás. As partículas sólidas ou líquidas são eletrizadas ao entrar em contato com esta neblina ionizada e serão atraídas para um dos eletrodos. Estas partículas adquirem cargas negativas e são atraídas para o eletrodo maior conhecido como receptor, que é ligado à terra. O eletrodo menor é o de descarga.

Alguns equipamentos podem promover a ionização e precipitação em um único estágio, sendo uma prática muito comum, mas existem alguns modelos que têm dois estágios separados: um que promove a ionização e outro a precipitação de partículas. Eletrodos de descarga na forma de barras cilíndricas e receptores de placas são os mais comuns, no entanto, existem algumas unidades comerciais com eletrodos ionizadores constituídos por fios metálicos envolvidos por um tubo receptor. As partículas precipitadas são removidas do receptor por vibração sem a interrupção da operação.

A maior parte dos gases industriais são bons condutores para ionização, destacando CO_2 , CO , SO_2 e H_2O . Caso o gás tenha baixa condutividade, é preciso umedecê-lo antes de alimentar o precipitador.

Os precipitadores eletrostáticos são de vários tamanhos, têm capacidade de $200 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e as seguintes características:

- » Elevada eficiência.
- » Baixa perda de carga.
- » Elevado investimento.
- » Alto custo operacional.
- » Operação em temperaturas até 550°C .
- » Necessidade de grande área para instalação.

Separadores úmidos

Esta é a classe mais nova de coletores de partículas, havendo uma grande variedade que pode ser empregada para partículas de tamanhos variando de 1 a 10μ . A eficiência de captação está relacionada com a perda de carga e o custo do equipamento.

Nos equipamentos mais simples, as partículas incidem num anteparo úmido que funciona como coletor, e são arrastadas por uma corrente líquida. Nos equipamentos de alta eficiência, as partículas incidem em gotículas líquidas que se movimentam pelo gás, conhecidas como lavadores de gás. Assim, o processo de captação de partícula é beneficiado, pois o tamanho da partícula poderá aumentar consideravelmente. Outro processo que pode ocorrer é a aglomeração e o coalescimento, pois os lavadores provocam a aglomeração de partículas por meio de ultrassom e permitem a captação dos aglomerados resultantes em ciclones.

Características

A utilização desses coletores tem as seguintes características:

- » Possibilidade de separação em uma única etapa, servindo como coletor tanto de primeiro quanto de segundo estágio.
- » Retirada do sólido feita por suspensão líquida de fácil manuseio.

- » Alto consumo energético.
- » Alta eficiência na retirada de partículas.
- » Construção simples e compacta, apesar da grande faixa de capacidade, eficiência e granulometria.

Principais tipos

A classificação é baseada no mecanismo aplicado na separação úmida:

- a. Gravitacionais.
- b. Inerciais.
- c. Centrífugos.
- d. Dinâmicos.
- e. De orifício.
- f. De condensação.
- g. Venturi.

Gravitacionais

Os equipamentos gravitacionais diferem das câmaras gravitacionais pelo fato de serem equipados com dispositivo de aspersão de líquido. Para que a limpeza do gás seja completa é preciso que cada milímetro cúbico do gás seja varrido por uma gota líquida, precisando da pulverização do líquido por meio de bocais ou sistema de aspersão.

Inerciais

O lavador *Peabody* é o mais representativo da classe inercial. Sua estrutura é uma espécie de coluna de bandejas, com dois ou três pratos perfurados e uma camada de líquido que é atravessada por um fluxo de gás sob a forma de bolhas. Após essa etapa, o gás incide em placas horizontais distantes aproximadamente 5 cm das perfurações onde o sólido é separado. Equipamentos desse tipo têm capacidade de até $50\text{m}^3\text{s}^{-1}$ com perdas de carga entre 50 a 200 mm.

O lavador *Tubulaire* também pertencente à classe dos inerciais, é uma caixa paralelepípedica separada em dois compartimentos por uma chicana vertical e o nível do líquido é mantido constante. A introdução do gás é feita verticalmente próximo à

superfície do líquido através de um tubo, que é finalizado em fresta, e o sólido é separado por impacto com o líquido.

Centrífugos

Os lavadores centrífugos podem ser:

- » **Lavador Pease – Anthony:** constitui-se por um tanque vertical com entrada tangencial do gás pela parte inferior. Na entrada tem uma aleta defletora móvel que permite ajustar a velocidade de entrada do fluxo de gás durante a variação da vazão. Em seu interior há um tubo vertical com bocais a 45° para cima, que permitem a dispersão mais fina possível do líquido de lavagem, sendo a eficiência de captação próxima a 97%, com capacidade de até 80 m³ s⁻¹ e a temperatura podendo atingir até 800°C.
- » **Multilavador Schneible:** tem corpo cilíndrico vertical com 7 a 10 placas defletoras com abertura central para passagem do fluxo de gás. Além disso, tem uma coroa de placas periféricas dispostas com um ângulo que permite a circulação do gás no interior do equipamento. A alimentação do líquido é feita pela penúltima placa superior que escoar sobre uma superfície cônica até a saída dos defletores formando uma cortina de líquido. Estes equipamentos têm capacidade de até 15 m³ s⁻¹, com eficiência de até 97%.
- » **Ciclone Liot:** foi desenvolvido pelo Instituto de Tecnologia Ocupacional de Leningrado. É constituído por uma parte cilíndrica do ciclone alongado sem o tubo cilindro em seu interior responsável pela saída de gás dos ciclones convencionais. A introdução do líquido é feita por um tubo anular com um número determinado de cotovelos de 90°, distantes a 30 cm um do outro, descendo em película pela parede interna do ciclone. O gás é disperso na forma de aerossol separando o gás na parte cônica do sistema.

Separadores úmidos dinâmicos

O separador úmido dinâmico é constituído por um ventilador que possui paletas desenhadas de modo que as partículas sólidas sejam dirigidas para uma abertura inferior que está conectada com um funil de coleta do pó. A circulação do gás é contínua e sua liberação é feita na parte superior do ventilador. O líquido de lavagem é injetado axialmente por um bocal no tubo de aspiração do ventilador.

Coletor de orifício ou bocal submerso

Np coletor de orifício a injeção de gás é feita por orifícios ou tubos de Venturi instalados de maneira que a corrente gasosa faça a aspiração de uma quantidade de líquido de lavagem, misturando com o gás e a coleta de partículas. A suspensão formada decanta na parte inferior do coletor.

Coletores de condensação

O coletor de condensação tem uma câmara em cuja parte inferior ocorre a injeção do gás por meio de um ventilador. O gás encontra vapor de água, ou água quente, subindo pelo equipamento até encontrar a região com água pulverizada na parte superior. Dessa maneira, o vapor se condensa sobre as partículas sólidas permitindo o processo de separação.

Lavadores de Venturi

A fundamentação dos lavadores de Venturi é dispersar o líquido sob a forma de gotícula com menor diâmetro possível, aumentando a probabilidade de impacto entre o sólido e as gotículas. Dessa maneira, a corrente gasosa é forçada em alta velocidade, de 60 a 220 m s^{-1} , por meio da garganta de um tubo de Venturi de seção circular, quadrada ou retangular, por onde o líquido é injetado radialmente. Assim, é possível obter uma dispersão fina do líquido devido à forte turbulência do gás na garganta. O processo de separação é finalizado num separador centrífugo na parte inferior do qual a mistura é alimentada tangencialmente.

Coluna úmida de recheio

Os recheios constituem excelentes anteparos, pois fornecem uma ótima eficiência e impossibilitam a redispersão das partículas. O líquido faz a lavagem do pó coletado formando uma suspensão ou solução que é tratada posteriormente.

CAPÍTULO 3

Sistemas de sólidos em sólidos: propriedades gerais

Introdução: separação mecânica

Na área de engenharia química, é muito comum os profissionais se defrontarem com problemas na separação de materiais. No caso de reagentes sólidos a classificação pode ser feita a partir do tamanho das partículas aplicando o processo de peneiramento. Em outros casos, a tarefa é retirar impurezas de um reagente ou isolar o produto das misturas obtidas no processo. Em alguns casos especiais, envolvem materiais sólidos com propriedades magnéticas distintas, como, por exemplo, no processo de areias monazíticas ou na separação do ferro presente na borra do alumínio. Outro caso de grande importância é o processo de separação de névoas e poeiras que contaminam o ar (GOMIDE, 1980).

Devido ao grande número de problemas enfrentados nos processos industriais, existe uma grande variedade de técnicas disponíveis para o profissional responsável aplicar em cada situação, todas visando a separação considerada. Em muitos casos, a grande dificuldade é saber qual técnica é a mais adequada para casos específicos, e para que a separação seja satisfatória, a escolha da técnica é o primordial. É preciso ter em mente que a escolha da técnica deve recair num procedimento no qual o comportamento do material a ser selecionado sofra influência marcante de uma de suas propriedades permitindo, assim, a sua separação.

Pode-se citar três grupos de separação:

- » Separação mecânica.
- » Separação físico-química.
- » Separação química.

A separação mecânica utiliza técnicas para separar fases de um sistema heterogêneo, como, por exemplo, peneiramento, filtração e decantação de sólidos e líquidos. A separação físico-química visa separar os componentes de uma fase, utilizando as propriedades de ebulição ou solubilidade. O processo de destilação encontra-se nesta categoria. E a última classe, a separação química, é realizada através da reação de um ou mais componentes da mistura com um reagente apropriado que é inerte aos demais componentes. De modo geral, a separação química não é objeto das operações unitárias, sendo a absorção química a exceção mais importante dessa classe.

A classificação das separações mecânicas tem três critérios básicos:

- » Tipo de sistema.
- » Propriedade utilizada na separação.
- » Mecanismo.

A classificação de materiais utilizando somente um desses critérios é insatisfatória para o processo, pois, uma vez que a natureza das fases a ser separada é a orientação mais adequada para selecionar o método de separação apropriado, é preciso adotar um tipo de sistema como base de classificação e os outros dois como critério para a definição de sub-classes. Destacam-se quatro tipos de sistemas:

- » Sólidos.
- » Sólidos e líquidos.
- » Sólidos ou líquidos e gases.
- » Líquidos imiscíveis.

E as propriedades utilizadas como critério secundário para definir os métodos de separação são:

- » Tamanho.
- » Densidade.
- » Inércia.
- » Propriedades eletromagnéticas.

Segundo o mecanismo, é preciso compreender a importância do movimento relativo das fases de separação que são de dois tipos:

- » Dinâmicos.
- » Estáticos.

O método dinâmico ocorre quando a separação depende diretamente do movimento relativo das fases no seio de um fluido existente no sistema ou que é introduzido intencionalmente para permitir a separação. A variação da velocidade na movimentação relativa das fases constitui a base do processo de separação, como, por

exemplo, decantação diferencial, classificação de sólidos em caixas de poeira e operações de separação hidráulica.

Os métodos estáticos podem ser exemplificados pela técnica de peneiramento e filtração em que uma das fases é retida numa peneira ou tecido e as outras conseguem passar.

Separação sólido-sólido

De modo geral, a separação mecânica de sólidos pode visar os seguintes objetivos (GOMIDE, 1980):

- » Selecionar a massa de determinados sólidos granular de natureza homogênea, mas constituído de partículas com grânulos diferentes e em frações mais ou menos uniformes.
- » Obter frações de natureza relativamente homogênea por meio de misturas de sólidos diferentes.

Raramente obtêm-se os dois objetivos simultaneamente mas, em geral, o segundo objetivo é o mais importante, pois visa obter o produto mais valioso e em alta concentração.

As propriedades mais utilizadas para realizar a separação dos sólidos são o tamanho das partículas, as densidades e as propriedades magnéticas:

- » **Tamanho de partículas:** controle da passagem por meio de crivos ou malhas, sendo, em alguns casos, o processo de operação determinado a velocidade de decantação num fluido que participa da separação. É importante lembrar que se as partículas forem muito pequenas haverá a influência do movimento Browniano e da repulsão eletrostática que influenciam o processo de decantação.
- » **Densidade real:** permite a seleção de partículas com o mesmo tamanho a partir da imersão da mistura num fluido de densidade intermediária, mas influenciando também no movimento de partículas em meios fluídos.
- » **Propriedades eletromagnéticas:** seleciona o ferro do alumínio em fundições que utilizam retalhos como matéria prima, ou do ferro das areias

de fundição. Os materiais magnéticos presentes nas areias monazíticas são separados dos não magnéticos devido a essa propriedade.

As principais operações mecânicas visando à seleção de sólidos são:

- » Peneiramento.
- » Separação hidráulica.
- » Flotação.
- » Separação magnética.
- » Separação eletrostática.

Peneiramento

O peneiramento visa selecionar sólidos granular em frações uniformes passando por uma peneira. Dessa maneira, é possível separar o material fino do material grosso. A abertura da peneira é conhecida como diâmetro de corte e o conjunto de peneiras pode fornecer o número desejado de frações classificadas, ou seja, poderá satisfazer o tamanho máximo e mínimo de partículas (GOMIDE, 1980).

Geralmente, emprega-se este processo para a seleção de material particulado grosso; partículas muito finas necessitam de malha muito fina tornando o processo inviável em escala industrial.

Separação hidráulica

Na separação hidráulica, a seleção é realizada a partir da movimentação das partículas em um meio fluido em que os sólidos são dispostos em solução. A separação é feita por meio da diferença de velocidade de diversas partículas causada pela diferença de tamanho ou densidade (baseado nos princípios da dinâmica) (GOMIDE, 1980).

Existem dois tipos de sedimentação:

- » Sedimentação livre.

- » Sedimentação retardada ou com interferência.

Sedimentação livre

Na sedimentação livre as partículas encontram-se distantes das paredes do recipiente e também umas das outras, a ponto de não interferirem entre si, sendo a distância da ordem de 10 a 20 diâmetros. Para que o processo de sedimentação ocorra, as partículas devem estar suficientemente distantes para que não ocorra interferência mútua entre elas, ou seja, que o número de colisões seja o mínimo possível (GOMIDE, 1980)

Sedimentação retardada ou com interferência

No caso da sedimentação retardada, o número de colisões entre as partículas é muito alto, pois estas se encontram muito próximas umas das outras. Dessa maneira, a dinâmica de sedimentação desta classe é diferente do processo livre, pois:

- » Há maior restrição ao escoamento de partículas, pois a resistência é maior.
- » A densidade do meio e a viscosidade são maiores neste caso.
- » O aumento da concentração do sólido decantando na suspensão promoverá a mudança de sentido do escoamento.

Separação hidráulica por diferença de tamanho

Quando a densidade das partículas presente na mistura é a mesma, a separação poderá ser realizada pela diferença de tamanho, pois estará baseada na maior ou menor rapidez de decantação. Existem sete equipamentos que realizam este tipo de operação (GOMIDE, 1980):

- » **Câmara de decantação:** a alimentação da suspensão de sólidos no fluido é feita por meio de um duto raso presente numa caixa relativamente profunda comparada com a altura do duto. No interior da câmara, as partículas grosseiras decantam rapidamente no primeiro compartimento, enquanto as demais são carregadas até serem recolhidas em outros compartimentos. Para que a separação seja realizada de modo satisfatório, a profundidade da câmara deve ser grande em relação à altura do duto de alimentação. Outro fator importante é a velocidade de alimentação que deve ser lenta e uniforme para que a velocidade seja constante.

- » **Elutriador:** este equipamento faz a separação por meio da comunicação entre a suspensão (em movimento ascendente) com um tubo vertical com velocidade superior à velocidade terminal de decantação de partículas. Dessa maneira, as partículas poderão ser arrastadas pelo fluido, saindo da parte superior e as partículas maiores sofrerão sedimentação lentamente.
- » **Decantador de duplo-cone:** é constituído por dois cones: um externo e outro interno que é ajustável. A alimentação da suspensão é feita pela parte superior do cone interno e seu nível é mantido próximo ao vertedor de saída. Assim, as partículas grosseiras decantam e as finas são escoadas por uma corrente introduzida próximo à saída do material grosso.
- » **Spitzkasten:** é composto por uma série de recipientes cônicos dispostos com o vértice para baixo, sendo a alimentação feita pelo primeiro recipiente. Os materiais mais grossos são sedimentados, enquanto que os demais são levados pela corrente ascendente de água, sendo liberados pela borda do primeiro cone diretamente para o segundo que possui maior diâmetro. A granulometria do material é determinada pela vazão da suspensão, velocidade de subida e pelo diâmetro do recipiente. Dessa maneira, o Spitzkasten é a combinação do funcionamento da câmara de decantação com o elutriador;
- » **Classificador Dorrco:** segue o mesmo princípio do Spitzkasten, diferindo nos compartimentos que são reunidos numa unidade mais compacta. Este equipamento funciona muito bem com materiais mais finos inferiores a 4 mesh. Existem dois tipos de classificadores mecânicos:
 - › Classificador de rastelo (tipo Dorr): uma série de rastelos é operada mecanicamente arrastando o material grosso depositado no fundo da calha por aproximadamente 30 cm na direção da parte superior. Além de raspar o material grosso para cima, o rastelo também agita o líquido promovendo o retorno à suspensão das partículas finas que possam ser decantadas.
 - › Helicoidal: é o classificador de escoamento cruzado que utiliza um transportador para arrastar sólidos grosseiros até a abertura superior da calha.

Separação por diferença de densidade real

Entre os métodos de separação por diferença de densidade estão:

- » **Método *sink and float*:** este método é baseado na imersão da mistura de sólidos para serem separados num líquido com densidade intermediária entre as frações a separar. A vantagem de utilizar esta técnica é fazer a separação do material de interesse utilizando apenas a densidade. O grau de separação depende diretamente do grau de finura do material em suspensão.
- » **Decantação diferencial:** neste processo, tanto as partículas leves como as pesadas são decantadas no mesmo fluido. No entanto, a separação ocorre graças à diferença de velocidade de decantação de cada tipo de partícula. ESão três as dificuldades neste processo:
 - › As dimensões das partículas devem ser definidas e uniformes para que o equipamento de câmara de sedimentação produza frações de mesma natureza, caso contrário, ocorrerá a decantação conjunta de partículas leves grandes e pequenas pesadas. A instalação de um equipamento que permite uniformizar a granulometria da alimentação é, geralmente, muito dispendiosa.
 - › As partículas moídas irregularmente podem encerrar diversos materiais que necessitam de separação, gerando uma densidade intermediária em relação aos constituintes.
 - › Por outras razões, algumas partículas deixam de seguir as leis da sedimentação interferindo negativamente no processo de separação (nítida).
- » **Decantação livre:** o processo de decantação ocorre a partir da diferença de densidade das partículas e da densidade do meio.
- » **Decantação retardada:** a separação ocorre em condições ajustadas de modo a aproximar as partículas umas das outras, promovendo interferências que beneficiam mutuamente a separação, quais sejam:
 - › Aumento considerável da capacidade do sistema empregado realizar a operação.
 - › Maior nitidez no processo de separação, de matérias com densidades e tamanhos diferentes. Este fato está relacionado com o diâmetro das partículas leves e pesadas que decantam com o mesmo valor de velocidade e têm praticamente o dobro da relação obtida pela decantação livre. Isto é

aceitável, pois a interferência contínua e a agitação comunicada às partículas impede a formação de aglomerados de partículas menores, evitando, assim, a classificação dessas como partículas maiores.

» **Jig hidráulico:** é constituído por uma câmara com fundo inclinado separado por dois compartimentos conectados na parte inferior. Em uma das câmaras tem um pistão retangular acionado por um excêntrico que opera na frequência de 120 a 300 ciclos por minuto, enquanto que na outra câmara, tem uma peneira disposta horizontalmente abaixo do nível das canaletas de entrada e saída. O jig realiza o processo de decantação em períodos curtos de modo que a velocidade terminal não chega a ser atingida, sendo, portanto, indicado para a separação de materiais com granulometria heterogênea. O material pode ser alimentado seco, sendo, geralmente, uma suspensão despejada diretamente sobre a peneira. Devido ao movimento descendente do pistão, as partículas que se encontram sobre a peneira entram em suspensão e podem decantar quanto o pistão é elevado. Durante o processo de subida do pistão a corrente líquida alimenta o Jig, fazendo com que o material pesado permaneça sobre a peneira e o mais leve se afaste. Neste processo são quatro as frações retiradas do Jig:

- › Concentrado fino: constituído por partículas pesadas e suficientemente pequenas para passar pela peneira, sendo retiradas pelos fundos do equipamento. É o principal produto de Jig.
- › Concentrado grosso: é composto por partículas pesadas grandes que não passaram pela peneira, sendo removidas automaticamente por uma abertura lateral ou raspadas por um rastelo, após a camada superior (médios) ser removida. Algumas partículas permanecem sobre a peneira formando o próximo leito, caso a operação seja intermitente.
- › Médios: composto por partículas pesadas médias juntamente com as leves e grandes que formam uma camada superior de sólidos sobre a peneira e que deverá ser raspada posteriormente e reciclada para o britador ou moinho.
- › Cauda: formada a partir de partículas finas e médias do material leve, bem como por partículas muito finas do material pesado. Esta fração é

o efluente do Jig, sendo carregada pela corrente líquida para a unidade posterior.

- » **Mesa separadora:** processo composto por uma série de cristas paralelas à borda elevada de uma mesa e, por meio de um mecanismo vai-vem comunicado à mesa, ou seja, um movimento lento de ida e muito rápido de volta. Dessa maneira, o material separado se movimenta no sentido lento de deslocamento e, ao mesmo tempo, desce a mesa pela ação combinada da corrente líquida do atrito fluido e da gravidade.
- » **Correia vibratória:** processo composto por um transportador de correia levemente inclinado e agitado no plano da correia. Um fluxo de água desce pela correia removendo o material leve enquanto o material pesado é levado pela correia e descarregado na parte superior.
- » **Espiral de Humphreys:** processo composto por ferro fundido em forma de espiral vertical. O material pesado é separado pelo fundo enquanto o material leve sobe a partir da ação da espiral.

Flotação

Esta é uma das técnicas mais importantes no processo de concentração de minérios pobres, e uma das mais curiosas técnicas de separação de sólidos (GOMIDE, 1980).

De modo geral, esta técnica baseia-se no fato de a superfície dos sólidos apresentar, ou poder apresentar, após um tratamento químico adequado, umectabilidade diferenciada por líquidos com polaridade diferente. No entanto, a utilização de solventes no processo de flotação é proibitiva economicamente, mas é possível obter quase o mesmo efeito a partir da adição de um agente espumante à suspensão aquosa do mineral moído e a gaseificação com ar na mistura. Dessa maneira, a evolução de bolhas de gás à superfície é recoberta por uma película adsorvida pelo agente tensoativo com alto teor de “gordura”. As partículas sólidas que são molhadas pelo óleo aderem às bolhas, são carregadas até a superfície do líquido e ficam retidas na espuma.

Este método utiliza a densidade aparente do agregado sólido – ar, que é muito menor do que a densidade real do sólido para promover a separação do material de interesse, podendo ser aplicado em matérias de alto peso e grosseiros. Em alguns casos, a diferença de umectabilidade não é significativamente grande para fazer a separação por flotação, mas o acréscimo de determinados compostos (coletor) solúveis em água permite a realização da operação pela adsorção preferencial destes compostos a um sólido. Outros agentes que participam da flotação além do coletor são o ativador e o reprimente ou modificador. O ativador atua no processo de adsorção do coletor nos

casos em que a afinidade do sólido é baixa, desempenhando o papel de ligante entre o coletor e o sólido. Já o reprimente evita o processo de adsorção do coletor em superfícies que não devem se tornar oleofílicas. O sucesso da flotação não depende somente da adição dos agentes de, mas também das propriedades do material sólido, como por exemplo, granulometria, densidade da suspensão, velocidade de aeração, agitação, estabilidade da espuma e pH.

O equipamento empregado neste processo é a série de spitzkastens: a ganga afunda e o minério flutua na espuma que é raspada e direcionada para um filtro rotativo a vácuo. Em alguns casos, o produto de interesse pode ficar suspenso facilitando a sua coleta.

A operação completa do processo de floculação é feita da seguinte maneira:

- » Processo de moagem úmida e classificação do material.
- » Condicionamento do material com a adição dos agentes de floculação. Nesse caso pode ser empregado um moinho de bolas para atuar como agente de flotação.
- » Nas células primárias de flotação são adicionados os agentes espumantes e aeração da mistura. As células primárias desempenham a função de recuperar o máximo possível do material desejado.
- » Nas células de limpeza é realizado o processo de aeração com o objetivo de melhorar a qualidade do concentrado e eliminar o material não flotável.

Separação magnética

O processo de separação magnética baseia-se na diferença de intensidade da atração dos sólidos ao serem submetidos no campo de um eletroímã. Caso um dos sólidos presentes na mistura seja mais ou menos magnético, poderá ser atraído ou desviado de sua trajetória, enquanto as demais partículas que não sofreram influência do campo magnético seguirão o processo de seleção (GOMIDE, 1980).

A separação magnética é muito empregada na seleção de pedaços de ferro de materiais moles ou quebradiços que serão submetidos a processos de fragmentação ou reações em que o ferro atua como interferente. Um exemplo de separação magnética é a eliminação do ferro das areias de fundição e de retalhos de alumínio.

Nos dias de hoje, essas operações são muito bem controladas, permitindo a seleção de materiais com características magnéticas quase idênticas. O método é muito útil quando a atratibilidade dos materiais tem diferenças inferiores a 0,4, conforme a Tabela 3, que apresenta os valores de atratibilidade relativa de alguns materiais empregados no meio industrial.

Tabela 3. Valores de atratibilidade.

Material	Atratibilidade relativa
Ferro	100
Magnetita (Fe_3O_4)	40
Hematita (Fe_2O_3)	1,30
Quartzo (SiO_2)	0,37
Pirita (FeS_2)	0,23
Gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	0,12
Galena (PbS)	0,04

Fonte: GOMIDE, 1980.

O equipamento utilizado neste procedimento é muito simples, podendo ser classificado como eliminador ou concentrador. Em relação ao número de aplicações, os primeiros são os mais importantes, como as polias magnéticas e os transportadores de correias com polias com descarga magnética. Os exemplos apresentados anteriormente referem-se às aplicações típicas de eliminadores magnéticos, mas na fabricação de celulose de trapos também são empregados eliminadores magnéticos de ferro antes do processo de alimentação dos digestores.

Os dispositivos concentradores são mais sensíveis e de construção mais cuidadosa. São de três tipos:

- » **Polias magnéticas:** responsáveis pela deflexão maior ou menor da trajetória de partículas durante a queda que permitem classificar o material. As polias têm eletroímãs em sua estrutura que permite ajustar a intensidade do campo magnético.
- » **Concentradores Davies e Ball-Norton:** compostos por duas correias transportadoras curtas que se movimentam no mesmo sentido e muito próximas uma da outra. A superposição das correias é parcial, o que permite alterá-las de maneira a obter o grau de separação desejado. O material que sofre o processo de pulverização é alimentado em camada fina sobre a correia inferior, e o campo magnético que atua na correia superior atrai o material magnético para si. O material preso na polia

magnetizada é raspado da polia de descarga superior e o material não magnético é levado para descarga pela polia de descarga da correia inferior. Em uma mistura de dois ou mais materiais magnéticos, este equipamento permite fracionar a mistura a partir da variação da intensidade do campo magnético, da velocidade e da superposição das correias de modo a combinar essas variáveis.

- » **Separadores magnéticos úmidos:** neste tipo de separador a suspensão é alimentada pela parte superior de um tanque e o material não magnético é depositado no fundo do compartimento. O material magnético é atraído para uma correia transportadora magnetizada por uma série de eletroímãs, sendo transportado para um segundo tanque no qual é depositado por meio de jatos de água que tangenciam a correia o que facilita a descarga. Dispositivos desta natureza são utilizados para recuperar ferro-silício de minérios magnéticos como rendimento de 99%. O ferro-silício é utilizado como densificador de fluido na concentração de minério de ferro por decantação retardada e na obtenção de pseudolíquido em processos de separação por diferença de densidade real.

Separação eletrostática

A separação eletrostática fundamenta-se nas propriedades elétricas dos materiais, cujo processo ocorre da seguinte maneira: quando a partícula de um sólido com boa condutibilidade entra em contato com uma superfície fortemente carregada de eletricidade, ela se eletriza com cargas de mesma polaridade que a superfície e, dessa maneira é repelida. As partículas isolantes permanecem sobre a superfície até a remoção mecânica (GOMIDE, 1980).

Um típico separador de eletricidade é o separador Huff que atua a partir de uma mistura moída de sólidos a ser separada que é alimentada sobre uma placa (M) ligada à terra. Uma descarga silenciosa é aplicada entre um fio de cobre (E), mantido em alto potencial no interior de um eletrodo de madeira, e a placa (M). Assim, as partículas melhores condutoras sofrem a influência dessa descarga, eletrizando-se e, conseqüentemente, afastando-se do eletrodo. As partículas menos condutoras caem perto do fio de cobre; cada tipo de partícula é recolhido em um compartimento apropriado.

Outro modelo, muito semelhante ao separador Huff, é composto por um cilindro giratório eletrizado em que as partículas são alimentadas. Próximo a esse cilindro é disposto um eletrodo com carga de sinal contrária, e que, ao passar pelo campo elétrico gerado por esses dois sistemas, as partículas são eletrizadas em graus diferentes, e durante sua queda, a deflexão sofrida será maior ou menor, permitindo o recolhimento de diversas frações em silos apropriados.

Alguns modelos têm dois cilindros eletrizados com cargas diferentes que giram em sentidos opostos. Partículas com cargas positivas são captadas pelo cilindro carregado negativamente, e as demais são desviadas pelo cilindro positivo.



Para saber mais sobre a teoria de Dinâmica de Fluídos acesse os seguintes *links* para estudo:

Mecânica de Fluídos 1:

<http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_autom_ind/mec_fluido/161012_mec_fluidos.pdf>.

Mecânica de Fluídos 2:

<<http://www.engbrasil.eng.br/pp/mf/mef.pdf>>.

CAPÍTULO 1

Sistemas homogêneos líquidos

Introdução

Os sistemas homogêneos líquidos muitas vezes são misturas compostas de duas ou mais substâncias diferentes. A separação desses componentes pode ser benéfica, como, por exemplo, na separação dos poluentes da água para torná-la própria para consumo, na produção e purificação de metais e de componentes especiais que são usados para produzir medicamentos, alimentos, bebidas, produtos de higiene e limpeza, entre outros.

Na separação das misturas podem ser utilizadas técnicas químicas ou físicas desde que se conheçam as propriedades como o ponto de fusão, o ponto de ebulição, a solubilidade, a densidade, entre outros. Os métodos utilizados para a separação de misturas homogêneas estão descritos a seguir, sendo a evaporação, a destilação e a extração.

Separação por evaporação

A evaporação é uma operação unitária utilizada para concentrar soluções contendo solventes voláteis e solutos considerados não voláteis por meio da evaporação parcial do solvente, sendo esse, muitas vezes, a água.

Os solutos são considerados não voláteis. No equilíbrio, a fase gasosa ou o evaporado só contém solvente, ou seja, a fração de solvente no evaporado é de 100% ($y_{\text{solvente}} = 1$; $y_{\text{solute}} = 0$). Porém, na fase líquida, que é a solução a ser concentrada, há frações tanto de soluto quanto de solvente (x_{solvente} e x_{solute}). Esse processo acontece de forma que parte do solvente se vaporiza, resultando em uma solução final concentrada (FOUST, 1982).

Esse processo pode ser utilizado em diversos estágios, que, por meio da evaporação, tem por finalidade isolar e purificar um produto desejado.

Esta operação é muito utilizada para eliminar água de alimentos líquidos diluídos, obtendo-se assim produtos mais concentrados, e é muito utilizada na produção do catchup, do suco de laranja concentrado, do açúcar de cana entre outros produtos. Além disso, pode ser empregada para recuperar solventes usados em processos na indústria química (KERN, 1987).

Um evaporador consiste num permutador de calor para aquecer a solução à ebulição e um separador do vapor formado pela fase líquida em ebulição. O produto de um evaporador é geralmente a solução concentrada.

O evaporador é um trocador de calor, geralmente composto por tubos que resfria o ar que circula na câmara. Sua função é evaporar o fluido que está dentro dele, e retirar o calor do ambiente. Para calcular a troca de calor no evaporador, vamos analisar as constantes a seguir. O evaporador possui uma série de barreiras condutivas e convectivas para transferir calor, dessa forma utilizamos o coeficiente de transferência térmica global U . A Equação relaciona a área de troca do evaporador com o coeficiente global de troca térmica e a diferença de temperatura.

$$q = A \cdot U \cdot \Delta T$$

onde, q = taxa de transferência

térmica (W)

A = área de superfície de transferência de calor (m^2)

U = coeficiente de transferência de calor global ($W/(m^2 \cdot K)$)

ΔT = diferença de temperatura

Em que ΔT é a diferença entre a temperatura de condensação e a temperatura de evaporação e é função da pressão na câmara de evaporação; pressão na câmara de condensação, tipo de solução e do projeto do equipamento. A seguir serão descritos os itens citados.



Para saber mais sobre a Destilação no Equilíbrio Líquido-Vapor acesse o seguinte *link* para estudos:

Destilação: <<https://www.youtube.com/watch?v=D4AWBOsTDSc>>. No

link abaixo vamos entender o conceito de estágio e balanço de massa

Destilação 2: <<https://www.youtube.com/watch?v=LLgf-LWkSLI>>.

Pressão na câmara de evaporação

Em geral, é comum que a pressão na câmara de evaporação seja menor que a pressão atmosférica (vácuo), pois, quanto maior a pressão, menor a temperatura de evaporação e, conseqüentemente, maior a diferença de temperatura ΔT .

Então, analisando a Equação 1, temos que:

$$q = A \downarrow \cdot U \cdot T \Delta \uparrow$$

$$\text{ou } q \uparrow = A \cdot U.$$

$$T \Delta \uparrow$$

Devemos lembrar que é extremamente importante para a indústria reduzir custos e, se a área diminui, o custo com o equipamento também diminui.

Pressão na câmara de condensação

A pressão na câmara de condensação é mais elevada devido ao ΔT maior. Dessa forma, à medida que essa pressão aumenta, a entalpia do vapor saturado diminui e é necessário mais vapor para o aquecimento.

Observação: A parede do equipamento deve ser mais espessa ocasionando assim um custo maior no equipamento, assim, deve-se procurar um equilíbrio de pressão para diminuir esse custo.

Tipo de solução

Ao misturarmos um soluto em um solvente alteramos a temperatura da mudança da fase líquida para a fase vapor que está correlacionado com a pressão de vapor (P_v).

Por exemplo, como a água pura na temperatura de 100°C apresenta $P_v=760\text{mmHg}$, a adição de NaOH a 60% na temperatura de 100°C altera a P_v para $30,1\text{mmHg}$. Conclui-se que a adição de um soluto ocasiona um abaixamento da pressão de vapor. Para que a solução apresente uma pressão de vapor ($P_v= 760\text{mmHg}$) igual à da água pura é necessário elevar a temperatura do sistema para 167°C . A esse aumento na temperatura dá-se o nome de elevação do ponto de ebulição (e.p.e.), que pode ser determinado pela regra de Duhring (referência).

A regra de Duhring, consiste em traçar um gráfico representando a variação da temperatura de ebulição do solvente puro com a temperatura de ebulição da solução, obtendo retas com dois pontos experimentais para cada concentração da solução.

Para encontrar o e.p.e das substâncias faz-se necessário o uso do Ábaco de Perry (1980).

Projeto do equipamento

Trocador de calor

O evaporador é um trocador de calor composto basicamente de uma serpentina de cobre ou alumínio. Sua função é evaporar o fluido que está dentro dele e retirar o calor do ambiente. O vapor vivo passa pelo casco e a solução passa pelos tubos.

Quando a circulação da solução acontece exclusivamente devido à convecção natural considera-se circulação natural.

Nesse sistema a solução passa a ser aquecida e se desloca pelos tubos de menor diâmetro, enquanto no tubo central de maior diâmetro (50-100% maior que os outros), como o fluido está mais distante da parede e portanto com temperatura menor, a solução desce para ser coletada.

Para cálculos de transferência, a temperatura do topo não é utilizada, mas sim a do sistema, que é uma temperatura média ($\bar{T}$).

$$\Delta T = T_{cond} - T_{evap}$$

Então, na prática, o ΔT é menor que o teórico, pois o T_{evap} (T) é menor que o esperado T_{topo} .

Tipos de evaporadores

Na indústria alimentícia encontramos diversos tipos de evaporadores, eles são constituídos por um trocador de calor, capaz de levar a solução à fervura, e de um dispositivo para separar a fase vapor do líquido em ebulição. O evaporador é uma câmara dentro da qual existe um trocador de calor com aquecimento indireto que proporciona o meio de transmissão de calor ao produto por meio de vapor a baixa pressão.

Descontínuos - O produto se aquece em um recipiente esférico, envolto por uma camisa de vapor. Este recipiente é aberto ou conectado a um condensador ou a um sistema à vácuo. A área de transferência de calor neste tipo de evaporador é muito baixa

e a residência do produto pode chegar a várias horas. O aquecimento do produto é feito por convecção natural.

De Convecção Natural - São dotados de tubos curtos verticais, dentro de um corpo de vapor, dispositivo denominado Calandra. O produto é aquecido e sobe através dos tubos por convecção natural e o vapor condensa pelo exterior dos tubos. O líquido concentrado retorna à base do recipiente por meio de uma seção anular central.

De Película Ascendente - Podem evaporar alimentos líquidos de baixa viscosidade, os quais fervem no interior de tubos verticais. Esses tubos se aquecem devido ao vapor existente no exterior, de tal maneira que o líquido ascende pelo interior dos tubos arrastado por vapores formados na parte inferior. O movimento ascendente dos vapores produz uma película que se move rapidamente para cima. Este tipo de evaporador alcança elevados coeficientes de transferência de calor, podendo-se recircular o alimento líquido até que se alcance a concentração desejada. O tempo de residência é de 3-4 segundos.

De Película Descendente - Estes evaporadores desenvolvem uma fina película de líquido dentro dos tubos verticais que desce por gravidade. Também permitem instalar um maior número de efeitos do que o evaporador de película ascendente e podem processar líquidos mais viscosos e mais sensíveis ao calor. O tempo de residência é de 20-30 segundos.

De Circulação Forçada - É um trocador de calor com aquecimento indireto, onde o líquido circula em elevadas velocidades, devido à presença de bombas de fluxo axial. Devido à elevada carga hidrostática da parte superior dos tubos, qualquer possibilidade de ebulição do líquido é desprezada. O líquido que entra no evaporador se evapora instantaneamente, devido à diferença de pressão entre a parte interior e exterior do tubo.

De Película Agitada - A configuração cilíndrica do sistema produz menores áreas de transmissão de calor por unidade de volume de produto, sendo necessária a utilização de vapor a alta pressão, como meio de aquecimento com o objetivo de conseguir elevadas temperaturas na parede e velocidades de evaporação razoáveis. A grande desvantagem deste sistema são os custos de fabricação e mantimento, assim como a baixa capacidade de processamento.

De Serpentina Rotativa - É constituída de uma ou mais serpentinas de vapor que giram abaixo da superfície do líquido em ebulição. A serpentina, ao girar, proporciona turbulência ao líquido, o que melhora a transferência de calor e, ao mesmo tempo,

diminui a taxa de queima. O evaporador com serpentina rotativa a vácuo é particularmente indicado para elaboração de produtos de tomate com elevada concentração, além de poder funcionar de forma contínua.

De Múltiplos Efeitos - Os evaporadores de múltiplos efeitos conjugam, em série, dois ou mais evaporadores simples, numa mesma estrutura ou em estruturas separadas. Os sistemas utilizados são os mais diversos, podendo haver associação de descontínuo + convecção natural, convecção natural + serpentina rotativa, tubos longos + tubos longos (geralmente com película descendente de circulação forçada) e assim por diante. A grande vantagem desta conjugação é a economia de vapor gasta por quilo de água evaporada.



Para saber mais sobre Evaporadores, vamos assistir ao vídeo indicado a seguir acesse o seguinte *link* para estudo:

<<https://www.youtube.com/watch?v=X45veCvvcgs&t=10s>>.

Separação por destilação

A destilação é uma operação de separação que envolve grande consumo de energia no revaporizador, exigindo consumo elevado de água no condensador. São processos de separação alternativos, como na extração de solventes.

Para a purificação de um produto muitas vezes são utilizadas diversas metodologias, a destilação se apresenta com uma via econômica e muito utilizada, sendo uma excelente solução de projeto econômico e energeticamente favorável.

Suas aplicações partem do nível industrial, podendo ser utilizadas na purificação das matérias-primas do processo ou na separação de impurezas. Uma das aplicações mais comuns é na separação de misturas de hidrocarbonetos em refinarias de petróleo. Dessa forma a destilação é uma operação essencial na indústria de polímeros, alimentar, farmacêutica, dos biocombustíveis (produção de bioetanol), na dessalinização da água, entre outros.

O mecanismo em que se baseia a separação por Destilação é o do Equilíbrio Líquido/Vapor. Ao fornecer calor a uma mistura líquida, se promovermos a sua vaporização parcial, obtemos duas fases, uma líquida e outra de vapor, que têm composições diferentes. A diferença de composição das duas fases resulta da diferença

de volatilidades dos vários componentes da mistura líquida inicial. Quanto maior for essa diferença entre as volatilidades (isto é, quanto mais diferente da unidade forem as volatilidades relativas), maior será a diferença de composição entre a fase líquida e vapor e, como tal, mais fácil será a separação por Destilação.

Quando fornecemos calor a uma mistura líquida, promovendo a sua vaporização parcial, estabelece-se um equilíbrio entre as fases líquida e vapor, para uma dada pressão total, e a composição das duas fases será diferente.

A separação das substâncias por destilação é possível devido à diferença das volatilidades dos componentes da mistura. O vapor produzido no aquecimento desse sistema contém uma maior parte do componente mais volátil do que a do líquido em equilíbrio com ele à temperatura de saturação. Dessa forma por destilação a separação dos componentes voláteis para a fase do vapor e os menos voláteis ficam, na fase líquida.

O princípio da destilação se resume à diferença de volatilidade dos componentes que vaporizam, preferencialmente os componentes mais voláteis, sendo que a separação será tanto mais fácil quanto maior forem as diferenças de volatilidades. Dessa forma, a destilação é realizada por um processo físico de equilíbrio líquido/vapor que permite separar dois ou mais componentes de uma mistura.

Volatilidade relativa

A volatilidade relativa indica a diferença de volatilidade entre dois compostos A e B, dessa forma quanto mais elevada for a volatilidade relativa de A em relação a B, mais fácil é realizada a separação.

O componente de referência tem de ser sempre um componente pesado (de ponto de ebulição elevado).

Destilação fracionada

A Coluna de Destilação Fracionada é um equipamento que promove a transferência de massa e calor entre correntes líquidas e de vapor saturadas. A coluna constitui-se por um recipiente cilíndrico dentro do qual se encontra uma série de pratos internos entre os quais circulam vapor e líquido em contracorrente. A transferência de massa e calor ocorre entre as duas fases de cada andar e, dessa forma, atingem o equilíbrio.

Na parte superior da coluna encontra-se um condensador que condensa o vapor proveniente da coluna, sendo parte do condensado, designado por refluxo, reenviado para o prato superior. Enquanto isso, na base da coluna encontra-se um revaporizador que vaporiza parte da corrente de líquido da base, para o prato inferior, onde entra sob a forma de vapor.

Andar em equilíbrio

O Andar em Equilíbrio ou Andar Teórico em uma coluna de fracionamento é a unidade que promove contato entre as correntes de líquido e de vapor em circulação na coluna, a fim de produzir duas novas correntes de líquido e de vapor, em equilíbrio.

Dessa forma a coluna de destilação fracionada é constituída por uma série de andares em equilíbrio que vão promovendo, sucessivamente, o enriquecimento nos componentes mais voláteis da fase vapor que sobe na coluna e, nos componentes menos voláteis da fase líquida que desce na coluna. A zona acima da alimentação designa-se por zona de retificação, enquanto que a zona abaixo se denomina zona de esgotamento.

Dispositivos de contato no interior da coluna

Os dispositivos de contato no interior de coluna têm por objetivo a troca de calor, sendo eles os pratos ou a coluna de enchimento. Os pratos da coluna de destilação ou a coluna de enchimento promovem o contato físico entre as fases em cada andar em equilíbrio. Os pratos podem ser de vários tipos: perfurados, de campânula, de válvulas etc. O enchimento, por sua vez, também pode ter diversas configurações (anéis de Raschig e Pall, Berl Saddle etc.).

Eficiência da coluna de destilação

A eficiência da coluna de destilação depende de parâmetros (tipo de prato, volatilidade relativa dos compostos, viscosidade do líquido, tensão superficial do líquido etc.) Essa eficiência pode ser calculada com base em correlações empíricas. Dessa forma a razão entre o número de andares teóricos necessários à separação e o número de pratos que a coluna precisa ter designa-se por eficiência da coluna.

O número de andares da coluna de separação depende de vários parâmetros, essencialmente: volatilidades relativas dos vários componentes, pressão de operação e razão de refluxo. A coluna de destilação fracionada pode ter mais de 100 pratos.

Fatores como o refluxo total e a localização da alimentação da coluna permitem definir o número mínimo de andares necessários.

Destilação binária

A destilação binária designa a separação de misturas contendo apenas dois componentes. No caso, se houver dois componentes que constituam mais de 90% da alimentação, a separação pode continuar como uma destilação binária ou pseudobinária.



Para saber mais sobre o funcionamento da coluna de destilação acesse o seguinte *link* para estudo:

Destilação: <<https://www.youtube.com/watch?v=mzKor2Ob108>>.

Método de McCabe-Thiele

O método de projeto aborda a destilação de sistemas binários. O método de McCabe-Thiele utiliza o diagrama de equilíbrio y, x e baseia-se no estabelecimento de balanços mássicos às zonas de retificação e esgotamento da coluna, e na utilização da curva de equilíbrio ($y=f(x)$) para descrever o equilíbrio entre o líquido e o vapor em cada andar teórico.



Para saber mais sobre Método McCabe-Thiele acesse o seguinte *link* para estudo:

<<https://www.youtube.com/watch?v=s7SAFlgwclA>>.

Influência da razão de refluxo no número de andares da coluna

O Método de McCabe-Thiele, além de se aplicar apenas a misturas binárias, tem como pressuposto que os caudais molares em cada seção da coluna são constantes, ou seja: sistema próximo da idealidade, entalpias molares de vaporização dos dois componentes semelhantes e volatilidade relativa de A/B mais ou menos constante ao longo da coluna.

Destilação de misturas de vários componentes

Os métodos de destilação de misturas de vários componentes são o Fenske-Underwood-Gilliland-Kirkbride, e um método rigoroso do Método Matricial de Wang-Henke. Podem ser utilizados para retirar da coluna produtos com composições intermédias entre as do destilado e a do resíduo. Esses produtos são denominados “Sangrias” e podem ser vapor ou líquido.

Destilação flash

A destilação em flash é o sistema mais simples. O sistema consiste em uma corrente de alimentação (líquido) aquecida num permutador de calor, passando depois por um “flash” adiabático (despressurização rápida) que dá origem a duas correntes saturadas, uma de líquido e outra de vapor, em equilíbrio. O tanque “flash” permite facilmente a separação e remoção das duas fases. O grau de pureza dos produtos não é tão eficiente quando a diferença de volatilidade não é elevada.

Destilação descontínua

Na destilação descontínua, a composição dos produtos e as correntes em circulação na coluna variam com o tempo de destilação. Esse sistema é constituído por equipamentos descontínuos, e pode ser executado desde a destilação laboratorial ao nível industrial, tornando-se uma alternativa quando a alimentação estiver sujeita a grande variabilidade ou se for necessário alterar frequentemente as especificações pretendidas para os produtos.



Para saber mais sobre a Destilação, vamos entender sobre as correntes e o sistema de refluxo acesse os seguintes *links* para estudo:

Destilação 5: <<https://www.youtube.com/watch?v=ruxxg6oLYew>>.

Destilação 6: <<https://www.youtube.com/watch?v=u98sW04a264>>.

Separação por extração

A extração é uma separação que envolve as propriedades da substância na fase líquido-líquido, sendo uma operação unitária muito aplicada na indústria química.

Suas aplicações envolvem desde a indústria petrolífera, onde se separam compostos aromáticos dos alifáticos, até a indústria farmacêutica em que se separa a penicilina das misturas altamente complexas em que esta normalmente se encontra.

Essa operação vem sendo uma alternativa de menor custo de energia quando comparada a outras técnicas separativas, tais como a destilação e evaporação. A seguir encontram-se dois exemplos da substituição da destilação por extração líquido-líquido:

- » Separação de uma mistura nos seus componentes se estes tiverem pontos de ebulição muito próximos.

» Separação de uma mistura nos seus componentes se esta sofrer decomposição térmica quando submetida a temperaturas elevadas.

A extração foi muito utilizada na década de 60 na produção do cobre metálico devido ao aparecimento de reagentes seletivos para o cobre na extração líquido-líquido, sendo um processo economicamente viável. Além disso, o aparecimento desses novos extractantes permitiu estender a aplicação da extração líquido-líquido à recuperação de diversos íons metálicos tais como o níquel, o cobalto, o zinco, o urânio, o molibdênio, o vanádio, as terras raras, o índio, o gálio e o germânio.

Essa técnica também permite a recuperação de solutos metálicos ou orgânicos, sejam eles tóxicos ou valiosos, sendo uma aplicação para tratamento de efluentes industriais.

Extração por via física e extração com reação química

A extração por solvente ou extração líquido-líquido envolve a distribuição do soluto entre duas fases líquidas imiscíveis: uma fase aquosa que contém o soluto a extrair, também chamada refinado, e uma fase orgânica, também chamada solvente, que irá necessariamente interatuar com o soluto.

A extração por via física ocorre quando a interação entre o soluto e o solvente envolver apenas forças de natureza física, tipo forças de Van der Waals, pontes de hidrogênio etc. Sendo assim, o extratante é o composto que irá interatuar com o soluto a ser removido da fase refinado. A mistura formada pelo extratante, pelo diluente e, por vezes, pelo modificador (um álcool que facilita a solubilização do complexo soluto-extractante na fase orgânica) designa-se por solvente.

Extração por via física

A distribuição do soluto entre as duas fases (aquosa e orgânica) depende apenas da respectiva solubilidade em cada uma delas.

Por meio da distribuição do soluto (D) pelas duas fases pode ser quantificada a razão pela seguinte equação:

$$D = \frac{[]_{org}}{[]_{aq}}$$

Temos:

[] = concentração.

A concentração depende da massa inicial do soluto na fase aquosa, da temperatura e da razão de fases aquosa/orgânica.

Outros fatores também colaboram com a distribuição do soluto para a extração, tais como capacidade e seletividade.

A capacidade corresponde à concentração máxima de soluto solúvel no solvente. Enquanto que a seletividade de um solvente pode ser quantificada pelo quociente entre a razão de distribuição dos dois solutos que são extraídos. Para calcular a seletividade α temos a seguinte equação:

$$\alpha = \frac{D}{D_{\text{água}}}$$

Para interpretar os dados de equilíbrio para solventes parcialmente solúveis são designados os diagramas ternários.

Extração com reação química

Numa extração líquido-líquido por via química, o solvente é formado pelo:

- » extratante – composto que reage com o soluto;
- » diluente – líquido orgânico utilizado para solubilizar o extratante;
- » modificador – composto utilizado para facilitar a solubilização do complexo metal-extratante na fase orgânica.

O processo de extração é estequiométrico, sendo eficiente quando tem elevada afinidade do extratante para com a espécie a extrair. Essa seletividade muitas vezes é facilitada na fase aquosa por meio do pH e tipo de meio (sulfatos, cloretos, nitratos).

Após a realização da extração podemos recuperar o solvente por inversão da reação, dessa forma o solvente é regenerado.

Extratantes

Os extratantes são os mecanismos pelos quais as espécies contendo o metal podem ser transferidas da fase aquosa para a fase orgânica que podem ser classificados de diferentes formas (JACKSON, 1986).

A presença de moléculas de água solvatante aumenta a similaridade entre o solvente iônico e o soluto. Dessa forma, muitas vezes é preciso fazer a neutralização da carga e a troca das moléculas da água solvatante por ligantes do tipo covalente, enquanto que em solventes orgânicos o caráter covalente, tendo baixa constante dielétrica e para ocorrer transferência do soluto, muitas vezes o metal deve mudar para uma forma compatível com a do solvente orgânico.

O solvente orgânico pode, por sua vez, ser encontrado como íons, sendo eles cátions ou ânions. Em muitas reações é preciso neutralizar a carga e fazer a troca das moléculas da água solvatante por ligantes do tipo covalente. Em soluções aquosas as moléculas de água solvatante aumentam a similaridade entre o solvente iônico e o soluto.

A classificação desses extratantes é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4. Classificação dos extratantes.

Tipos de extratante	O que eles fazem	O que eles são
Ácidos orgânicos, tais como carboxílicos, sulfônicos, fosfóricos, fosfônicos, ácido fosfínico e agentes quelantes ácidos	Extração por formação de compostos	Extratantes catiônicos
Tipo olifenilmetalóide, tipo polialquilsulfônico, tipo polialquilamônico e sais de amina alifáticas de alto peso molecular	Extração por formação de par iônico	Trocadores aniônicos
Extratantes carbono-, sulfúrio-, fósforo- ligados ao oxigênio, alquilsulfetos.	Extração por Solvatação	Agentes solvatantes

Fonte: Cox e Flett, 1983.

O extratante deverá satisfazer os seguintes requisitos: ter elevada afinidade e selectividade para o soluto a extrair; ser barato; ser pouco solúvel na fase aquosa; ter boas propriedades de coalescência; não ser volátil, tóxico ou inflamável.

Diluyente e modificador

Os diluentes comerciais são hidrocarbonetos alifáticos, aromáticos ou uma mistura de ambos. Usualmente é imprescindível o uso da mistura extratante/diluyente pois normalmente os extratantes são viscosos para serem utilizados como qual.

Além disso, os extratantes são muitas vezes compostos superficialmente ativos, o que, na ausência de diluyente, pode criar problemas de emulsão em sistemas com forte agitação. O uso do diluyente é ainda justificado por fatores econômicos (os diluentes são produtos consideravelmente mais baratos que os extratantes). Resumindo, o diluyente deve obedecer aos seguintes requisitos:

» ser solúvel no extractante e no modificador;

- » ser insolúvel na fase aquosa;
- » ser barato e encontrar-se disponível no mercado;
- » ter uma densidade tal que facilite a separação das fases;
- » ser de baixa toxicidade e elevado ponto de inflamação, por razões de segurança.

Em geral, prefere-se os diluentes alifáticos por serem menos solúveis em fase aquosa e menos tóxicos.

O diluente é normalmente considerado um produto “inerte” para o soluto. No entanto, ele pode influenciar significativamente a distribuição do soluto entre a fase aquosa e a fase orgânica ao interagir com o extratante. Por isso, é importante, na escolha do solvente, atentar para o tipo de extratante a solubilizar.

Etapas de um processo de extração líquido-líquido

Num processo de extração líquido-líquido identificam-se quatro etapas distintas: o pré-tratamento do solvente (extratante, modificador e diluente), a extração, a lavagem do solvente e a reextração ou regeneração.

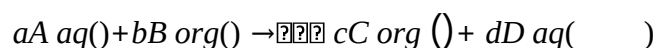
Com o pré-tratamento do solvente pretende-se remover as impurezas solúveis em fase aquosa e/ou transformar o extratante numa espécie ativa para a extração.

Após a extração e antes da regeneração é muitas vezes necessário fazer a purificação do solvente. Esta operação consiste em contactar o solvente com uma solução adequada (água, solução ácida ou básica diluída) com o intuito de remover metais contaminantes que tenham sido co-extraídos com o metal de interesse.

Com a etapa de reextração pretende-se transferir o soluto para uma fase aquosa que possa ser tratada (ex.: por eletrólise ou precipitação) com vista à obtenção do soluto puro. É desejável que o teor de soluto nesta fase seja maior que a sua concentração na solução inicial e que a solução regenerante contenha apenas o soluto pretendido.

Aspectos de equilíbrio na extração

Na extração com reação química, como já foi anteriormente mencionado, o processo pode ser representado pela estequiometria de uma reação descrita baixo



A constante de equilíbrio da extração é então dada pela expressão:

$$K_{eq} = \frac{C^c \cdot D^d}{A^a \cdot B^b}$$

Ao introduzir-se o conceito de razão de distribuição (De) (ver item - extração por via física) definido como a razão entre a concentração total do soluto na fase orgânica e a concentração total de soluto na fase aquosa, a Equação anterior toma a seguinte forma:

$$De = \frac{C_c}{A} = \frac{K B_{eqb}}{D}$$

Essa reação é favorecida pelo aumento do pH da fase aquosa e pelo aumento da concentração de extratante.

Neste tipo de sistema, a concentração atingida na fase orgânica depende das condições iniciais da fase aquosa, concentração de soluto e pH.

As condições de equilíbrio numa extração dependem de três parâmetros: concentração de soluto na fase orgânica (y) concentração de soluto na fase aquosa (x) e pH.

Equipamento em extração líquido-líquido

Apesar de extração com solventes ser geralmente feita em pequena escala por químicos em laboratórios em sínteses usando um funil de separação, é normalmente feita em escala industrial com equipamentos que colocam as duas fases líquidas em contato uma com a outra. Tais equipamentos incluem contadores centrífugos, extratores de camada fina, colunas *spray*, colunas pulsadas, colunas empacotadas e misturadores-decantadores.

Existem diferentes tipos de extratores de uso industrial. Muitos sistemas precisam de um número elevado de estágios, até mesmo por apresentar um volume grande de vazões de soluções. Essa classe apresenta duas categorias principais de extração: os extratores em estágio e os extratores diferenciais.

Extratores em estágios

Os extratores em estágios apresentam uma série de compartimentos constituídos por misturadores-decantadores e a solução é mantida até o equilíbrio ou próximo do equilíbrio, seguindo para os estágios posteriores para a separação. Esse sistema é muito eficiente, em contrapartida são sistemas que necessitam que a solução fique um determinado tempo para se decantar. Dessa forma têm compartimentos relativamente grandes.

Extratores diferenciais

Esse sistema faz a extração em função da diferença de densidade entre correntes fluidas. Dessa forma, eles são mais compactos e, geralmente, ocupam menos espaço nas instalações industriais. São três as principais classes:

- » extratores que operam apenas pela ação da gravidade
- » extratores agitados mecanicamente
- » extratores agitados por pulsação

O sistema de extração por pulsação apresenta duas operações: mistura-decantação e emulsão. A operação em regime de emulsão é mais adequada em operações com transferência de massa pois gotas menores são obtidas.

CAPÍTULO 2

Sistemas de líquidos em sólidos

Introdução

Operação unitária é uma etapa básica de um processo. Em geral para a obtenção de qualquer produto dependemos de passos premeditados com a aplicação de etapas em operações unitárias. Por exemplo, no processamento de leite, temos:

- a. homogenização;
- b. pasteurização;
- c. resfriamento;
- d. empacotamento.

Em todas essas etapas são as operações unitárias que estão interligadas a fim de criar o processo como um todo para obter o leite próprio para consumo.

Cada operação unitária é sempre a mesma operação, independente da natureza química dos componentes envolvidos. Por Exemplo: transferência de calor é a mesma operação em um processo petroquímico ou em uma indústria de alimentos.

Sendo assim, podemos definir operações unitárias como as etapas individuais que constituem todos os processos que transformam uma matéria-prima em produto final.

Nessa unidade iremos discutir sobre a separação por secagem, ou seja, pela remoção da água dos produtos.

Separação por secagem

A operação da remoção da água de um alimento chama-se desidratação ou secagem, ou a retirada de uma fase gasosa insaturada através de um mecanismo de vaporização térmica, numa temperatura inferior à de ebulição.

A secagem é um processo combinado de transferência de calor e massa, em que uma boa parte da água é eliminada, reduzindo, conseqüentemente, as suas reações de origem química e física.

Os alimentos secos não permitem que os microrganismos se desenvolvam. E a secagem também reduz o tamanho e o peso dos alimentos, tornando-os mais fáceis de serem transportados e armazenados. As indústrias escaldam os legumes e algumas frutas antes da secagem, para evitar as mudanças causadas pelas enzimas. A escalda consiste em expor os alimentos ao vapor de água ou colocá-los em água fervendo. As indústrias

muitas vezes tratam maçãs, pêras e pêssegos com anidrido sulfuroso para evitar as mudanças por enzimas e outras mudanças químicas, especialmente o escurecimento das frutas. Os alimentos podem ser secos ao sol, em fornos, em máquinas especiais chamadas desidratadoras e em câmaras pulverizadoras.

Secagem ao sol

A secagem ao sol é o método mais antigo de secar alimentos. Os alimentos são colocados em bandejas e expostos ao sol. Após vários dias já se evaporou uma quantidade de umidade suficiente para que se possa considerá-los livres dos perigos do armazenamento. As indústrias secam ao sol muitas frutas, alguns vegetais e alguns peixes.

As donas de casa também usam esse método para secar frutas.

Os secadores solares são equipamentos destinados principalmente à secagem de grãos. Podem ser do tipo direto ou indireto.

Secador Solar Direto: o produto fica exposto à radiação solar.

Princípio básico: plataforma de secagem.

Secador Solar Indireto: o produto fica dentro de uma câmara de passagem de ar aquecido.

Princípio básico:

- » Coletor Solar de passagem de ar quente.

- » Câmara de passagem de ar quente.

Secagem no Forno - Esse método usa o calor de um forno ou estufa para evaporar a umidade dos alimentos. O forno ou estufa fica na parte inferior de uma construção. O alimento é colocado em prateleiras e o calor sobe através das aberturas entre as prateleiras. O processo pode levar vários dias. Durante esse período, os operários viram e mudam o alimento de lugar várias vezes para certificar-se de que está completamente seco.

Desidratadoras - Essas máquinas levam menos tempo para secar determinada quantidade de alimentos do que os outros meios de secagem. Algumas desidratadoras

usam um vácuo parcial para fazer a água evaporar a uma temperatura baixa. Devido à temperatura mais baixa, ocorrem menos transformações químicas causadas pelo calor.

Câmaras Pulverizadoras - Servem para desidratar ovos, leite e sucos de frutas e de hortaliças. Pelo método de secagem por pulverização, o alimento líquido é transformado em pó por meio de pulverizadores para dentro de câmaras de secagem especialmente desenhadas. As partículas de alimentos se depositam em forma de pó no fundo das câmaras. A secagem por jatos de ar quente é usada principalmente para as hortaliças. Os desidratadores forçam o ar quente para cima dos alimentos colocados em bandejas dentro de câmaras especiais. O ar aquecido, ao passar sobre os alimentos, absorve e leva consigo a umidade deles.

Equipamentos de desidratação

Existem diversos tipos de desidratadores. A escolha de um determinado tipo é ditado pela natureza do produto que vai ser desidratado, pela forma que se deseja dar ao produto processado, pelo fator econômico e pelas condições de operações.

Os equipamentos de secagem podem ser classificados de acordo com o fluxo de carga e descarga (contínuo ou descontínuo); pressão utilizada (atmosférica ou vácuo); métodos de aquecimento (direto ou indireto); ou ainda de acordo com o sistema utilizado para fornecimento de calor (convecção, condução, radiação, ou dielétrico).

Tipos de desidratadores ou secadores

Secadores de bandeja

Os secadores de bandeja consistem basicamente em uma câmara com isolamento térmico, com sistemas de aquecimento e ventilação do ar circulante sobre as bandejas e através das bandejas, que ficam em uma base fixa. O ar aquecido circula por meio de ventiladores e o sistema permite uma circulação de ar para conservação do calor. A eficiência térmica nesse tipo de secador varia de 20% a 50%, dependendo da temperatura utilizada e da umidade do ar de saída. É utilizado para a secagem de frutas, legumes e hortaliças em pequena escala.

Secadores de esteira

Os secadores de esteira possibilitam o transporte contínuo do alimento em processo por meio de uma esteira perfurada. Os secadores de esteira contínua são normalmente construídos de forma modular de modo que cada seção apresenta o seu ventilador e aquecimento próprio. Essas seções são unidas em série formando um túnel através do qual a esteira se movimenta. Os legumes, frutas e hortaliças neste tipo de secador são submetidos a uma temperatura de secagem no primeiro estágio, que pode chegar até 130°C e, a velocidade do ar em torno de 1,4 a 1,5 metros/segundo, possibilitando uma capacidade de secagem muito alta sem prejudicar as qualidades dos alimentos, devido ao efeito de resfriamento na evaporação da água.

Secadores pneumáticos – *Flash dryer*

Os secadores pneumáticos *Flash Dryer*, são adequados especialmente para sólidos unidos, resultantes de processos de filtração, decantação e centrifugação, onde se deseja principalmente a remoção da umidade para obtenção de pós secos.

No *Flash Dryer*, o alimento a ser desidratado é introduzido em um sistema de transporte por tubulações onde o próprio ar de secagem, à medida que transporta o material, vai evaporando a água nele contida. Sendo, após a secagem, recuperada em um ciclone.

A velocidade do ar na saída do sistema é da ordem de 10 a 30 metros/segundo. O tempo de retenção do alimento que está sendo seco, mesmo para sistemas de grande percurso, é da ordem de 4 a 5 segundos. A capacidade volumétrica da evaporação do *Flash Dryer* varia de 10 a 200 kg/h. m³.



Para saber mais sobre a *Flash Dryer*, vamos assistir ao vídeo indicado a seguir acesse o seguinte *link* para estudo:

Animação de *Flash Dryer*: <<https://www.youtube.com/watch?v=Z8jI7wma8IE>>.

Secagem por *spray dryer* – atomização

O processo de secagem por *spray dryer* tem por princípio a atomização ou pulverização do alimento a ser desidratado em diminutas partículas. Este tipo de desidratador é muito utilizado na indústria de alimentos para secagem de produtos na forma líquida ou pastosa.

As principais características deste tipo de sistema são o tempo extremamente curto, variando de 3 a 12 segundos, e a temperatura do produto durante o processo de secagem ser relativamente baixa.

As partículas formadas apresentam diâmetro da ordem de 10 a 200 microns, resultando desta forma uma maior superfície de exposição por unidade de volume do alimento que está sendo secado e, assim, a ocorrência de uma secagem rápida. A válvula atomizadora pode se apresentar em até três modelos básicos de dispositivos, a seguir encontram-se a descrição:

- » No atomizador sob pressão, o alimento é bombardeado para o bico atomizador a uma pressão da ordem de 100 a 600 kgj/cm².
- » O bico atomizador do tipo centrífugo é basicamente um disco que gira na extremidade de um eixo esparramando o alimento na câmara de secagem.
- » Sistema atomizador duplo, a pressão necessária para pulverizar o alimento é geralmente menor do que a usada para o sistema de bico de pressão.

Dos três sistemas, os mais utilizados são o centrífugo e o bico sob-pressão.

Processo de Instantaneização-Aglomeração: para determinados produtos desidratados, os pós provenientes da câmara de secagem e dos ciclones de recuperação, antes de ser embalados, podem sofrer um reprocessamento logo após a sua secagem, isto para melhorar as suas características de dispersibilidade conferindo ao produto características de instantaneidade.

Para se obter estas características, logo após a câmara de secagem é incorporado um sistema de aglomeração de partículas. Esse sistema, opera-se com baixa temperatura do ar de saída do secador. Como a temperatura de saída é baixa, os produtos apresentam granulometria intermediária; sai da câmara de secagem com um teor de umidade mais elevado do que o produto final desejado. Na aglomeração, a aspersão atomizada é aumentada, e a probabilidade da formação de aglomerado de partículas é menor que nos secadores convencionais. Este processo é normalmente utilizado para produtos desidratados derivados de leite, cacau, café e farinhas.



Para saber mais sobre a Flash Dryer, vamos assistir ao vídeo indicado a seguir acesse o seguinte *link* para estudo:

Processo de Secagem spray: <<https://www.youtube.com/watch?v=3DZr5cOgWEg>>.

Secadores de alimentos líquidos

Estes secadores são utilizados para alimentos líquidos sensíveis ao calor; e utilizam no processo ar com baixa velocidade e temperatura em torno de 30°C.

O alimento é introduzido no topo da torre de secagem e é pulverizado na forma de pequenas gotas que fazem uma trajetória no sentido descendente, e recebem o ar de secagem.

Este tipo de sistema evita uma desidratação muito rápida do alimento líquido na forma de gotas, eliminando, assim, a sua exposição a altas temperaturas com perdas dos seus componentes voláteis. O produto seco é separado do ar por um ciclone de separação. As partículas mais finas retornam à torre de secagem para um novo tratamento térmico.

Secadores de leite fluidizado

O sistema de leite fluidizado consiste na secagem do alimento, fazendo a circulação de ar quente através de um leito de sólidos, de modo que eles permanecem suspensos no ar. Esse tipo de secador tem aplicação limitada, principalmente na agroindústria, devido à alta velocidade do sistema para a secagem. Nesse sistema é possível a secagem de batata em grânulos ou flocos, cebola em flocos, farinhas, cenouras, cacau etc. Os procedimentos de eliminação da umidade dos diversos alimentos não são fáceis. Para tanto, deve-se controlar rigorosamente os princípios físico-químicos sobre a ação da água nos alimentos. Durante o processo de secagem, um dos problemas que pode ocorrer é o escurecimento do produto devido à ação das enzimas.

A escolha correta do equipamento de desidratação é fundamental, para a obtenção de um produto final adequado e de boas características e conservação do mesmo.



Para saber mais sobre a Secagem, vamos assistir ao vídeo indicado a seguir acesse o seguinte *link* para estudo:

Secagem: <<https://www.youtube.com/watch?v=GlCyfDKqjio>>.

Princípios básicos de psicrometria

Introdução

A psicrometria não é considerada uma operação unitária, ela apresenta os fundamentos e definições a respeito de um sistema que envolve um vapor e um gás. Este estudo envolve os fundamentos nas operações unitárias de secagem, umidificação e desumidificação de gases (ARAUJO, 2013).

Um exemplo que pode ser aplicado à Psicrometria é o ar que respiramos. O ar que usamos na respiração pode ser aplicado, após determinados tratamentos, como fluido refrigerante, de aquecimento ou de arraste. O ar tem em sua composição uma mistura de gases, como O_2 e N_2 , em sua maioria, mas também tem vapor de água. Dessa maneira, na atmosfera existe uma mistura de gás-vapor: o gás é composto pelas espécies que, em condições de temperatura e pressão, estão na fase gasosa, e o vapor é o componente que, nas condições de temperatura e pressão, está na fase líquida ou na forma de vapor.

Assim, a Psicrometria estuda as propriedades das misturas ar-vapor de água, e consequentemente, os princípios que governam as propriedades e o comportamento das misturas geradas pelos gases permanentes e os vapores condensáveis.

As definições e os conceitos oriundos da Psicrometria podem ser importantes nos processos de secagem, umidificação e desumidificação de gases devido à ocorrência de transferência de massa entre uma fase líquida e um gás, sendo o gás insolúvel no líquido.

A apresentação dos conceitos será desenvolvida utilizando o sistema ar-água. No entanto, as relações descritas são válidas por um gás inerte e um solvente. A convenção adotada será:

» Índice A: componente na forma de vapor.

» Índice B: gás inerte (a).

Abaixo encontram-se algumas aplicações usuais de Psicrometria:

» controle de clima, em especial em condicionamento de ar para conforto térmico;

» observação da condensação em superfícies frias (o orvalho sobre a grama em uma manhã fria, a água sobre a superfície externa de um copo de cerveja) etc.;

» o resfriamento evaporativo;

» observação dos rastros brancos deixados pelas turbinas dos aviões.

Pelo fato da maioria das aplicações de Psicrometria serem realizadas à pressão atmosférica, será utilizada a lei dos gases ideais.



Para saber mais sobre a Secagem utilizando o Gráfico Psicrométrico, vamos assistir ao vídeo indicado a seguir acesse o seguinte *link* para estudo:

<<https://www.youtube.com/watch?v=NHJDzYohbNI>>.

Definições

Umidade absoluta ou conteúdo de umidade ou razão de umidade

A umidade absoluta é a massa de vapor presente na unidade de massa de ar seco, sendo que, para o sistema ar-água temos (ARAÚJO, 2013):

$$H = \frac{m_{\text{água}}}{m_{\text{ar seco}}} = \frac{m_a}{m_b}$$

É muito comum expressar a unidade em termos de pressão parcial, podendo ser representada por:

$$\underline{p_a} = y \cdot P_a$$

$$p_b = y \cdot P_b$$

Sendo p_a a pressão parcial da componente A – vapor de água – na mistura gás-vapor, y_a a fração molar da componente A na mistura gás-vapor e P a pressão total do sistema, lembrando que:

$$\underline{\quad} \quad \underline{\quad}$$

$$p_a + p_b = P$$

$$p_b = P - p_a$$

$$P - p_a = y \cdot P_b$$

Dividindo $\frac{p_a}{P - p_a}$ por $\frac{y_a P}{y_b P - y_b p_a}$, temos:

$$\frac{\frac{p_a}{P - p_a}}{\frac{y_a P}{y_b P - y_b p_a}} = \frac{y_a}{y_b} = \frac{y_a}{y_b}$$

Sendo a fração molar de A expressa como:

$$y_a = \frac{\frac{m_a}{M_a} + A}{\frac{m_a}{M_a} + \frac{m_b}{M_b} + A}$$

fração molar de B, temos: $\frac{m_a}{M_a} + \frac{m_b}{M_b} + A$

$$\frac{\frac{p_a}{P - p_a}}{\frac{m_a}{M_a} + \frac{m_b}{M_b} + A} = \frac{\frac{m_a}{M_a} + \frac{m_b}{M_b}}{\frac{m_a}{M_a} + \frac{m_b}{M_b} + A} = \frac{m_a M_a}{m_b M_b} = H \frac{M_b}{M_a}$$

Isolando H, temos:

$$H = \frac{M_a}{M_b} \frac{p_a}{P - p_a}$$

Dessa maneira, a umidade é função da pressão parcial do componente A, e num sistema ar-água à pressão atmosférica, temos:

$$H = \frac{18}{19} \frac{p_a}{P - p_a}$$

Podemos relacionar diretamente a umidade com a fração molar A, para isto basta

multiplicar y_a por $\frac{1}{mB}$:

$$y_a = H \frac{\frac{H}{M_a}}{\frac{1}{mB} + \frac{H}{M_a}}$$

$$Ma \quad Mb$$

Umidade de saturação

A definição de gás saturado pode ser aquela em que o vapor presente na fase gasosa está em equilíbrio com o líquido na temperatura do gás. Caso um gás seco insolúvel em B seja colocado em contato com um líquido A, o líquido irá evaporar atingindo o equilíbrio. Neste caso, a pressão parcial de A atinge o seu valor de saturação que é a pressão de vapor do líquido na temperatura do gás. Dessa maneira, para obter a equação da umidade de saturação é preciso fazer a seguinte substituição (ARAÚJO, 2013):

$$H = \frac{Ma - pa}{Mb P - pa}$$

Sendo pa a pressão de vapor A na temperatura do gás.

Umidade relativa e umidade porcentual

A definição de umidade relativa, neste texto é a representação da relação parcial do vapor na mistura gás-vapor e a pressão de vapor do líquido na temperatura do gás sendo expressa em porcentagem (ARAÚJO, 2013):

$$^a H_r = 100 \frac{p}{pa}$$

A umidade relativa é uma relação entre a umidade do gás e a umidade de saturação na temperatura do gás, podendo ser expressa como porcentagem de umidade absoluta, porcentagem de saturação, saturação reativa e umidade porcentual:

$$H_p = 100 \frac{H}{H_s}$$

A umidade porcentual relaciona a umidade do gás e a umidade máxima (gás) possível na mesma temperatura:

$$= 100 \frac{H}{H_s} = 100 \frac{\frac{p_a - Ma}{1 - p_a Mb}}{\frac{1 - p_a Mb}{1 - p_b Mb}} = 100 \frac{p_a - Ma}{1 - p_b Mb}$$

Com exceção da saturação, a pressão parcial do componente A (p_a) é menor do que a pressão do vapor líquido A (pa). Dessa maneira, a umidade porcentual (H_p) é menor

do que a umidade relativa (Hr). Em casos extremos, ar seco e ar saturado, a umidade porcentual é igual à umidade relativa. Para o ar seco, ambas são zero e, no caso do ar úmido, ambas são 100%.

$$C_s = c_{pB} + Hc_{pa}$$

Calor úmido

O calor úmido está relacionado à energia necessária para aumentar a temperatura de 1°C à pressão constante de 1 kg de gás seco mais a umidade que o acompanha (ARAÚJO, 2013):

$$C_s = c_{pB} + Hc_{pA}$$

Sendo c_{pB} o calor específico à pressão constante do gás seco e c_{pA} o calor específico à pressão constante do vapor. Para a maioria das aplicações com o sistema ar-vapor de água, pode-se considerar:

$$c_{pB} = 0,24 \text{ kcal}/(\text{kg}^\circ \text{C}) \text{ e } c_{pA} = 0,45 \text{ kcal}/(\text{kg}^\circ \text{C}).$$

Volume úmido

O volume úmido é caracterizado por uma mistura gás-vapor que é o volume ocupado pela unidade de massa de gás seco associado à umidade presente na pressão e temperatura do gás (ARAÚJO, 2013).

Ponto de orvalho

O ponto de orvalho é a temperatura de saturação da mistura gás-vapor quando corre o resfriamento, mantendo a pressão e a umidade constantes. Todas as misturas com a mesma umidade absoluta (H) têm o mesmo ponto de orvalho e, nos casos de redução de temperatura, o vapor será condensado como um orvalho e a mistura restante continuará saturada (ARAÚJO, 2013).

Entalpia total

Todas as substâncias têm uma energia interna que pode ser identificada como energia do movimento molecular. Em qualquer processo de escoamento, existe uma energia adicional devido ao trabalho realizado pelas correntes, que são forçadas para dentro do

sistema contra a pressão e forçadas para fora. O trabalho de escoamento por unidade de massa é PV , sendo P a pressão e V o volume específico. A energia interna e de escoamento são agrupadas para a formação de uma energia composta, conhecida como entalpia h (ARAÚJO, 2013):

$$h = U + PV \text{ (energia/massa)}$$

Como ocorre com a energia interna, os valores absolutos para a entalpia não podem ser obtidos. Para a água a referência é de $h = 0$, a água líquida sob sua própria pressão de vapor de 611,2 Pa na temperatura do ponto triplo, de 273,16K.

O calor específico pode ser definido a partir do calor necessário para aumentar a temperatura de uma unidade de massa para uma unidade de temperatura. Em um processo sob pressão constante temos:

$$C_p = \frac{\partial Q}{\partial t} \bigg|_p$$

Sendo ∂Q a soma da mudança de energia interna dU e do trabalho realizado contra a pressão PdV .

Temperatura de bulbo úmido

Para determinar a temperatura de bulbo úmido experimentalmente é necessário recobrirmos o bulbo de um termômetro com algodão encharcado com água e passar uma corrente de ar. Inicialmente ocorrerá uma diminuição da temperatura indicada pelo termômetro e, logo após, a temperatura se manterá constante.

Caso não haja alteração nas condições do ar e o algodão se mantiver encharcado no bulbo do termômetro, ele indicará a mesma temperatura.

Para equacionar esse processo devemos mostrar que a temperatura de bulbo úmido depende da umidade e da temperatura do ar e, por meio desses dados, é possível determinar a umidade do ar.

Lembre que a película de umidade em torno do bulbo está transferindo calor da água para o ar. Se o calor latente da água na temperatura de bulbo úmido for λ_{bu} , o calor transmitido será $m\lambda_{bu}$.

$$q = m\lambda_{bu}$$

O coeficiente de transferência, a área de troca de calor e a diferença da temperatura são os três fatores resultantes da transferência de calor sensível por convecção.

Sendo o coeficiente de transferência (h_g) de calor por convecção do ar para a superfície úmida; t_g a temperatura do ar ; e t_{bu} a temperatura, então:

$$q = h_g A (t_g - t_{bu})$$

O fluxo molar de massa de água da interface para o gás (N_A) pode ser representado por:

$$N_A = k_g (P_{bu} - P_A)$$

N_A = mol/(tempo x área) k_g = coeficiente de transferência de massa, em mols/(tempo x área x pressão)

P_{bu} = pressão de vapor do vapor da água na P_{bu}

P_A = pressão parcial do vapor de água no ar úmido (umidade H_g)

Caso o sistema apresente um transporte de massa, a relação hg/kg é constante. A equação abaixo será utilizada para determinar a composição de uma mistura ar-vapor a partir das temperaturas observadas, t_g e t_{bu} , determinando em seguida a umidade do ar.

$$\frac{P_{bu} - P_A}{18 k_g \lambda} = \frac{h_g}{t_g - t_{bu}}$$

Além disso, podemos introduzir a umidade do ar na equação. Caso a pressão parcial do vapor de água seja pequena comparada com a pressão P , como ocorre frequentemente, a expressão da umidade absoluta se reduzirá a:

$$H = \frac{18 P_A}{29 P}$$

Pois $P - P_A = P$. Assim como temos na interface ar saturado:

$$\frac{H_{bu} 29 P}{P_{bu}} =$$

_____ 18 Dessa forma temos:

$$H_{bu} - H_g = \frac{h_g (t_g - t_{bu})}{18}$$

$$M k_{B_g bu} \lambda P$$

Onde, H_{bu} = umidade de saturação na temperatura de bulbo úmido.

A temperatura do ar indica a temperatura de bulbo úmido. Passaremos a chamar de temperatura de bulbo seco, da umidade do ar e da pressão ambiente, com a condição de que a transferência de calor do ar para a água seja apenas por convecção e a relação hg/kg seja constante.

Haverá um grande número de combinações de temperaturas e umidades que terão a mesma temperatura de bulbo úmido.

Temperatura de saturação adiabática

Na temperatura de saturação adiabática, uma pequena quantidade de gás insaturado é colocada em contato adiabático com o líquido recirculado, dessa forma a temperatura se mantém constante. Logo após esse gás ser umidificado e resfriado, o sistema deve apresentar contato com o líquido e, dessa forma, atingirá a temperatura de saturação t_s (ARAÚJO, 2013).

No processo adiabático, temos:

$$\text{Entalpia na Entrada} = \text{Entalpia na Saída}$$

Para calcular a entalpia de entrada, utilizaremos o estado de referência da água líquida à temperatura t_s e, para o ar, a mesma temperatura. A entalpia do ar úmido na entrada é:

$$h_1 = c_{t_d} (t_d - t_s) H_g \lambda_s$$

e a entalpia do ar na saída é:

$$h_2 = c_{t_s} (t_s - t_s) H_s \lambda_s = H_s$$

Observamos na equação que, para a água, como sua temperatura é constante e igual a t_s – estado de referência, sua entalpia na entrada e na saída é igual a 0 (zero).

Portanto, o balanço de energia fica:

$$c_{t_d} (t_d - t_s) H_g \lambda_s = H_s$$

Rearranjando:

$$H_s - H_g = \frac{c t_s (d - t_s)}{\lambda_s}$$

Essa equação corresponde à indicação de uma curva no diagrama de umidade, o valor de t_s contém apenas as variáveis H_g e t_g . A indicação de um valor para t_s , aponta os valores de H_s e λ_s no diagrama de umidade.

Relação entre temperatura de saturação adiabática e temperatura

Na comparação das equações da temperatura de bulbo úmido e temperatura de saturação adiabática para qualquer sistema contendo outro líquido no lugar da água, a diferença entre as duas temperaturas será mais acentuada na maioria das condições.

Dessa forma, faz-se necessário o uso da relação de Lewis dada pela equação abaixo,

$$C_s = \frac{h_g}{M k P_{B_g}}$$

Para outros sistemas que não ar-água, essa igualdade não ocorre. A conclusão geral é que para o sistema ar-vapor de água à pressão ambiente as temperaturas de bulbo úmido e de saturação adiabática coincidem. Isso é apenas uma coincidência devido aos valores de algumas propriedades desse sistema. (ARAÚJO, 2013):

Método gráfico

O gráfico psicrométrico determina dados que quantificam a umidade atmosférica, permitindo verificar, também, como esses termos estão relacionados entre si. Qualquer ponto marcado sobre o gráfico representa uma condição característica de temperatura e umidade em um determinado local e determinado tempo, associado a uma pressão de referência, sendo chamado de ponto de estado. A pressão de referência normalmente utilizada na elaboração do gráfico é de 1013,25 hPa. O ponto de estado pode ser localizado utilizando-se dois termos quaisquer, desde que a representação deles não seja paralela, como acontece com a pressão de vapor e razão de mistura (SILVA, 2008).

As propriedades da mistura de ar e vapor d'água que constituem a atmosfera podem ser convenientemente apresentadas em forma gráfica, no que se denomina carta psicrométrica. Toda carta psicrométrica, de modo geral, é um gráfico que tem por ordenadas a umidade específica e a pressão de vapor, e como abscissa a temperatura de bulbo seco.

O volume específico da mistura, a temperatura de bulbo molhado, a umidade relativa e a entalpia da mistura aparecem como outros parâmetros.

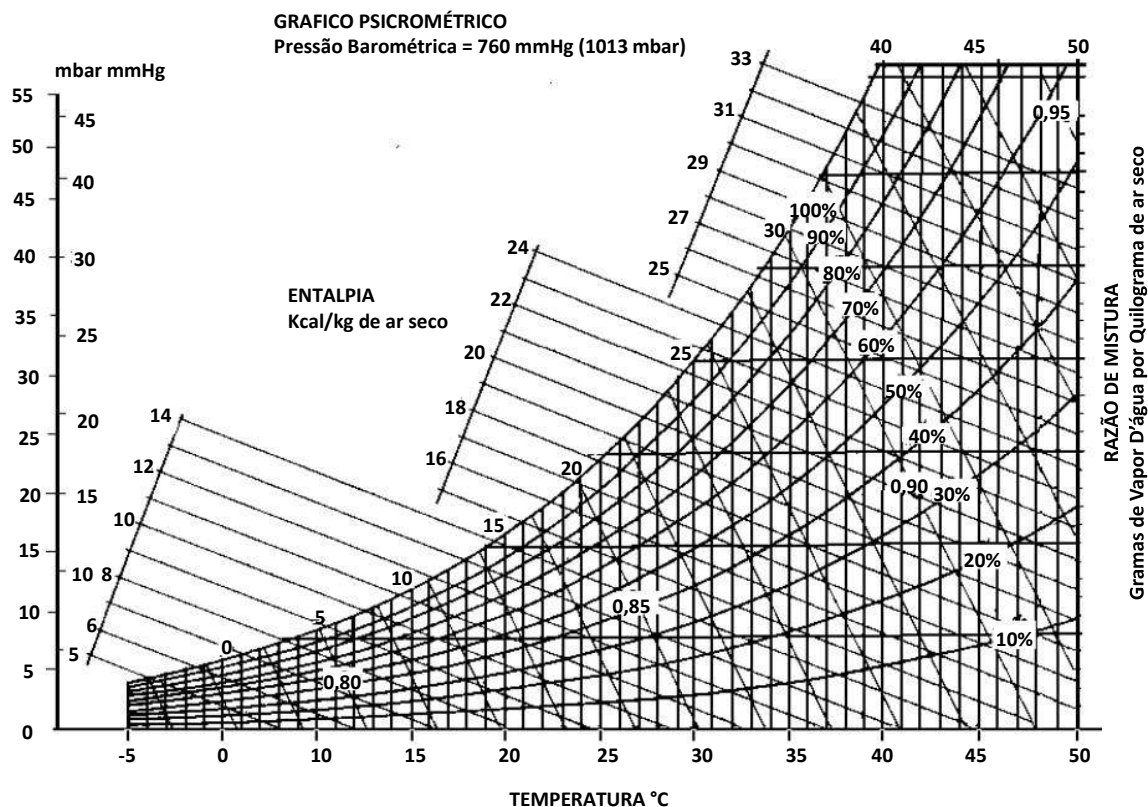
É importante notar que uma carta psicrométrica é traçada para uma dada pressão barométrica, que geralmente é tomada como 1 atm ($=14,7 \text{ lbf/in}^2 = 1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 1,013 \text{ Bar} = 760 \text{ mm Hg}$). Lembre-se que é necessário transformar a temperatura de Graus Fahrenheit para graus Celsius. (SILVA, 2008).

Começando a leitura pelo eixo das temperaturas de bulbo seco (tbs), encontram-se, inclinadas em aproximadamente 65°C na área à esquerda, as linhas de volume específico do ar seco, que indicam o número de metros cúbicos de ar necessário por quilograma de ar seco. Dessa forma, para utilizar o gráfico conhecendo a temperatura do orvalho e a temperatura de bulbo seco ou temperatura do ar, a fim de obter a umidade relativa, traça-se, a partir do ponto de orvalho lido sobre a linha de umidade relativa igual a 100%, a paralela à linha das temperaturas de bulbo seco. A seguir, levanta-se uma perpendicular ao eixo das temperaturas de bulbo seco, a qual corresponde, no gráfico, à temperatura do ar. O cruzamento das linhas traçadas determina no gráfico um ponto denominado “ponto de estado”, a partir do qual se podem conhecer as outras propriedades do ar (SILVA, 2008), quais sejam:

- » Umidade relativa: como as linhas indicam a UR, basta observar qual linha coincide com o ponto de estado. Caso não haja coincidência, faz-se a interpolação visual.
- » Razão de mistura: a partir do ponto de estado traça-se, para a direita, uma paralela ao eixo das temperaturas do termômetro de bulbo seco e lê-se, na escala, o número de gramas de vapor d’água por quilograma de ar seco.
- » Pressão de vapor: a partir do ponto de estado traça-se, para a esquerda até as escalas de pressão de vapor uma paralela ao eixo das temperaturas do termômetro de bulbo seco, fazendo a leitura em milibares ou milímetros de mercúrio.
- » Entalpia: a partir do ponto de estado, traça-se uma linha paralela às linhas que partem da escala da entalpia, onde se lê o número de quilocalorias por quilograma de ar seco.
- » Volume específico de ar seco: o ponto de estado determina o valor do volume específico do ar seco. Quando ele não coincide com uma das linhas traçadas

no gráfico, é feita uma interpolação visual, determinando o número de metros cúbicos de ar por quilograma de ar seco.

Figura 1. Gráfico Psicrométrico.



Fonte: <[ftp://ftp.ufv.br/dea/Disiplinas/Evandro/Eng671/Aulas/Aula03-1-Principios%20basicos%20de%20psicrometria.pdf](http://ftp.ufv.br/dea/Disiplinas/Evandro/Eng671/Aulas/Aula03-1-Principios%20basicos%20de%20psicrometria.pdf)>.
Acessado em: 10/7/2018



Para saber mais sobre a Secagem utilizando o Gráfico Psicrométrico, assista ao vídeo indicado a seguir acesse o seguinte *link* para estudo:

Secagem: <<https://www.youtube.com/watch?v=OGkNRkxkPhQ>>.

Cálculo da umidade relativa: p_v e p_g

Nesta parte vamos calcular a umidade relativa do ar utilizando termômetros em dois dias diferentes: em um dia ensolarado e em um dia chuvoso.

Para isso é necessário que os termômetros sejam fixados num suporte e que os bulbos dos dois termômetros estejam livres, para evitar a turbulência do ar e facilitar a evaporação da água em volta do bulbo do termômetro de bulbo molhado.

Um termômetro tem seu bulbo livre mede, dessa forma, a temperatura real do ambiente. O segundo termômetro tem seu bulbo envolto por um tecido molhado e essa

água esfriará o bulbo deste termômetro, pois no processo de evaporação ocorre a retirada de calor do bulbo.

- a. Para calcular a umidade relativa do ar em um dia ensolarado, as temperaturas abaixo foram coletadas utilizando os termômetros:

› temperatura no bulbo seco = 28°C

› temperatura no bulbo úmido = 22,4°C

É possível calcular por meio da equação abaixo:

$$p_v = p_w - \frac{(p - p_w)(t_d - t_w)}{2800 - 1,3 t_w}$$

Verifica-se que a pressão de saturação à temperatura do bulbo molhado de 22,4°C (=82,4°F) é 0,381 lbf/in². Sendo p = 1 atm (= 14,7 lbf/in²), temos:

$$p_v = 0,381 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} - \frac{(14,7 - 0,381) \text{ in}^2}{2800 - 1,3 \times 72,32 \text{ F}^\circ} = 0,327 \text{ lbf} / \text{in}^2$$

A pressão de saturação à temperatura ambiente de bulbo seco, 28°C (=82,4°F), que é a temperatura da mistura, é de 0,524 lbf/in². Então, da definição de umidade vem:

$$\phi = \frac{p_v}{p_s} = \frac{0,327}{0,524} = 0,62 =$$

Obs.: O valor corresponde diretamente com os dados obtidos na carta psicrométrica de 62% de umidade relativa.

- b. Cálculo da umidade relativa do ar em um dia chuvoso, os dados abaixo foram coletados:

› temperatura no bulbo seco = 23,5°C

› temperatura no bulbo úmido = 19,7°C

É possível calcular por meio da equação abaixo:

$$p_v = p_w - \frac{(p - p_w)(t_d - t_w)}{2800 - 1,3 t_w}$$

$$2800 - 1,3 \, t_w$$

Verifica-se que a pressão de saturação à temperatura do bulbo molhado de $19,7^\circ\text{C}$ ($=67,5^\circ\text{F}$) é de $0,322 \text{ lbf/in}^2$. Sendo $p = 1 \text{ atm}$ ($= 14,7 \text{ lbf/in}^2$), temos:

$$p_v = \frac{0,322 \text{ lbf/in}^2 - \frac{(14,7 - 0,322) \text{ lbf}}{2800 - 1,3 \times 67,5 \text{ F}^\circ}}{74,3 - 67,5 \text{ F}^\circ} = 0,286 \text{ lbf/in}^2$$

A pressão de saturação à temperatura ambiente de bulbo seco, $23,5^\circ\text{C}$ ($=74,3^\circ\text{F}$), que é a temperatura da mistura, é de $0,419 \text{ lbf/in}^2$. Então da definição de umidade vem:

$$\phi = \frac{p_v}{p_s} = \frac{0,322}{0,419} = 0,68 =$$

Obs.: O valor corresponde à alta umidade relativa no ar. Decorrentes de dia chuvoso, os dados obtidos diretamente na carta psicrométrica indicam 65% de umidade relativa.

A seguir será apresentada a outra maneira de calcular a umidade relativa, utilizando os valores de T e T_{bm} na Carta Psicrométrica, seguir as linhas dessas duas medidas. No ponto de intersecção, obtemos o valor da umidade relativa.

Cálculo da umidade relativa: t e t_{bm}

Com base nos valores de T e T_{bm} , podemos encontrar o valor de p_v , pressão de vapor. E, a partir do balanço de energia, podemos escrever a equação da seguinte forma:

$$P_v = p_{VCBM} - \alpha P (T - T_{BM})$$

Onde p_{VCBM} é a pressão de saturação da temperatura do bulbo molhado, obtida a partir da TABELA 3.; α é o fator psicrométrico (TABELA 2)

p_{vs} é a pressão de saturação, dada em hPa, para T em (1 pascal (Pa) = $1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ J/m}^3 = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ e 1 hectopascal (hPa) = $100 \text{ Pa} = 1 \text{ mbar}$

Método tabular

Para o cálculo da umidade relativa são elaboradas tabelas que permitem a determinação imediata do elemento procurado. As tabelas são confeccionadas a partir das equações vistas anteriormente.

Tabela 5. Fator Psicrométrico.

Velocidade do ar (m/s)	A em °C ⁻¹ (para temperaturas acima de zero)	A em °C ⁻¹ (para temperaturas abaixo de zero)
0 a 0,5	0,00120	0,00106
1 a 1,5	0,00080	0,00071
3,5 a 4	0,00066	0,00058
4 a 10	0,00064	0,00043

Fonte: <[ftp://ftp.ufv.br/dea/Disiplinas/Evandro/Eng671/Aulas/Aula03-1-Principios%20basicos%20de%20psicrometria.pdf](http://ftp.ufv.br/dea/Disiplinas/Evandro/Eng671/Aulas/Aula03-1-Principios%20basicos%20de%20psicrometria.pdf)>. (acesso em 10/7/2018).

» Para psicrômetros com ventilação natural, a velocidade do ar é aproximadamente igual a 3,0 m/s e $a=0,0066^{\circ}\text{C}^{-1}$

Tabela 6. PVS da água a Pressão Normal em hPa (Fonte: Cox e Flett, 1983).

T °C	Décimos de graus									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	6,1	6,2	6,2	6,2	6,3	6,3	6,4	6,4	6,5	6,5
1	6,6	6,6	6,7	6,7	6,8	6,8	6,9	6,9	7,0	7,0
2	7,1	7,1	7,2	7,2	7,3	7,3	7,4	7,4	7,5	7,5
3	7,6	7,6	7,7	7,7	7,8	7,9	7,9	8,0	8,0	8,1
4	8,1	8,2	8,2	8,3	8,4	8,4	8,5	8,5	8,6	8,7
5	8,7	8,8	8,8	8,9	9,0	9,0	9,1	9,2	9,2	9,3
6	9,4	9,4	9,5	9,5	9,6	9,7	9,7	9,8	9,9	9,9
7	10,1	10,1	10,2	10,2	10,3	10,4	10,4	10,5	10,6	10,7
8	10,7	10,8	10,9	10,9	11,0	11,1	11,2	11,2	11,3	11,4
9	11,5	11,6	11,6	11,7	11,8	11,9	12,0	12,0	12,1	12,2
10	12,3	12,4	12,4	12,5	12,6	12,7	12,8	12,9	13,0	13,0
11	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,7	13,8	13,9
12	14,0	14,1	14,2	14,3	14,4	14,5	14,6	14,7	14,8	14,9
13	15,0	15,1	15,2	15,3	15,4	15,5	15,6	15,7	15,8	15,9
14	16,0	16,1	16,2	16,3	16,4	16,5	16,6	16,7	16,8	16,9
T °C	Décimos de graus									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
15	17,0	17,2	17,3	17,4	17,5	17,6	17,7	17,8	17,9	18,1
16	18,2	18,3	18,4	18,5	18,6	18,9	18,9	19,0	19,1	19,3

17	19,4	19,5	19,6	19,7	19,9	20,0	20,1	20,2	20,4	20,5
18	20,6	20,8	20,9	21,0	21,2	21,3	21,4	21,6	21,7	21,8
19	22,0	22,1	22,2	22,4	22,6	22,7	22,8	22,9	23,1	23,2
20	23,4	23,5	23,7	23,8	24,0	24,1	24,3	24,4	24,6	24,7
21	24,9	25,0	25,2	25,3	25,5	25,6	25,8	26,0	26,1	26,3
22	26,4	26,6	26,8	26,9	27,1	27,3	27,4	27,6	27,8	27,9
23	28,1	28,3	28,4	28,6	28,8	29,0	29,1	29,3	29,5	29,7
24	29,8	30,0	30,2	30,4	30,6	30,7	30,9	31,1	31,3	31,5
25	31,7	31,9	32,1	32,2	32,4	32,6	32,8	33,0	33,2	33,4
26	33,6	33,8	34,0	34,2	34,4	34,6	34,8	35,0	35,2	35,4
27	35,7	35,9	36,1	36,3	36,5	36,7	36,9	37,1	37,4	37,6
28	37,8	38,0	38,2	38,5	38,7	38,9	39,1	39,4	39,6	39,8
29	40,1	40,3	40,5	40,8	41,0	41,2	41,5	41,7	42,0	42,2
30	42,2	42,7	42,9	43,2	43,4	43,7	43,9	44,2	44,4	44,7
31	44,9	45,2	45,4	45,7	46,0	46,2	46,5	46,8	47,0	47,3
32	47,6	47,8	48,1	48,4	48,6	48,9	49,2	49,5	49,8	50,0
33	50,3	50,6	50,9	51,2	51,5	51,7	52,0	52,3	52,6	52,9
34	53,2	53,5	53,8	54,1	54,4	54,7	55,0	55,3	55,6	55,9
35	56,2	56,6	56,9	57,5	57,8	58,1	58,5	58,5	58,8	59,1
36	59,4	59,8	60,1	60,4	60,7	61,1	61,4	61,7	62,1	62,4
37	62,8	63,1	63,5	63,8	64,1	64,5	64,8	65,2	65,2	65,9
38	66,3	66,6	67,0	67,4	67,7	68,1	68,5	68,8	69,2	69,5
39	69,9	70,7	70,7	71,1	71,5	71,8	72,2	72,6	73,0	73,4

Fonte: <ftp://ftp.ufv.br/dea/Disiplinas/Evandro/Eng671/Aulas/Aula03-1-Principios%20basicos%20de%20psicrometria.pdf>. (acesso em: 10/7/2018).

Tabela 7. Pressão em função da altitude.

Altitude (m)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
0	1013	1001	990	978	967	955	944	933	921	901
1000	899	888	877	867	856	845	835	825	816	805
2000	795	785	776	766	757	747	738	729	719	710
3000	701	693	684	676	667	658	650	641	633	624
4000	616	608	600	593	585	577	570	562	555	547
5000	540	533	526	519	512	505	498	492	485	479

Fonte: <ftp://ftp.ufv.br/dea/Disiplinas/Evandro/Eng671/Aulas/Aula03-1-Principios%20basicos%20de%20psicrometria.pdf>. (acesso em: 10/7/2018).

A umidade relativa pode ser obtida pela equação:

$$\phi = \frac{p_v}{p_s}$$

Os valores de P_v s podem ser obtidos para cada valor de temperatura na tabela 3, resultados que já são tabelados.

Exemplo: Calcular a umidade relativa do ar em Campinas. Dados: 856 m de altitude, pressão 921 hPa, temperatura de 22,4°C a pressão é de 27,1 hPa Sendo assim:

$$p_v = 27,1 - 0,00066 \cdot 921 \cdot 28, x \quad x(0 - 22,4) = 23,7 \text{ Hpa}$$

Para a temperatura de 28,0°C, a pressão é de 37,8 hPa. E com a equação da umidade relativa do ar é de:

$$\phi = \frac{p^v}{p_s} = \frac{23,7}{37,8} = 0,63$$

*o valor corresponde com o primeiro cálculo

CAPÍTULO 1

Trocadores de calor

Contextualizando com o cotidiano

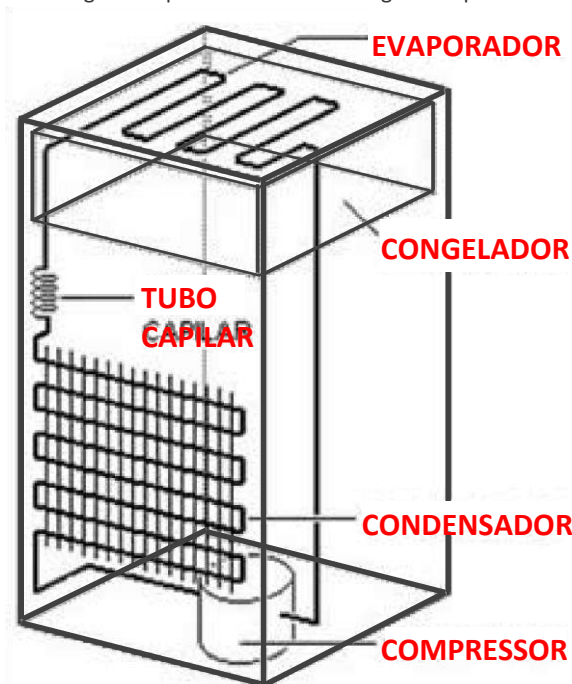
A troca de calor não é uma prática distante do dia-a-dia de todos nós, pelo contrário, essa é uma prática que ocorre com muita frequência em nossas residências. Um exemplo dessa utilização é o refrigerador que usamos para a manutenção dos nossos alimentos. Sem esse equipamento seria impossível o armazenamento de alimentos e, muitas vezes, o transporte e o consumo deles nas grandes metrópoles. Mas, você já parou para pensar em como funciona um refrigerador?

Um refrigerador é constituído basicamente por:

- I. um fluido refrigerante, normalmente o FREON 12 (clorofluorcarbono). Mas pode ser também de outros fluidos, como o HFC-134A (menos nocivo ao meio ambiente), desde que não seja inflamável e que tenha calor latente de condensação elevado e temperatura de ebulição baixa.
- II. um compressor movido por um motor elétrico e que tem por objetivo aumentar a pressão e a temperatura do fluido refrigerante, fazendo-o circular pela tubulação interna do aparelho na forma de vapor.
- III. um condensador, que é a serpentina que fica na parte de trás do refrigerador e faz as trocas de calor com o meio. Nessa parte do sistema, o fluido refrigerante que foi aquecido pelo compressor a alta pressão, troca calor com o meio externo e é resfriado, condensando-se e liberando o calor para o meio ambiente.
- IV. um tubo capilar, que provoca uma diminuição da pressão do fluido refrigerante ao sair do condensador.
- V. um evaporador, que tem diâmetro maior que o tubo capilar e recebe esse fluido refrigerante líquido sob baixa pressão. Como o tubo do evaporador

é maior que o tubo capilar, o fluido refrigerador se vaporiza e, assim, retira calor da região interna da geladeira. A partir daí o ciclo se reinicia sem perda do fluido para o meio e sem a contaminação desse fluido. A Figura 2 mostra as partes de um refrigerador onde há a troca de calor

Figura 2. Partes do refrigerador por onde o fluido refrigerador passa durante as trocas de calor.



Fonte: Adaptado <<http://pekinasilcalisir.blogspot.com/2016/07/buzdolab-nasl-calsr.html>>. Acesso em: 2/8/2018.

Como podemos observar, a troca de calor está presente em várias fases do sistema de refrigeração doméstico, assim como também está presente nos aparelhos de ar condicionado e aquecedores (de ambientes e de águas). No transporte também temos trocadores de calor. Por exemplo, no radiador (que impede que o motor do carro superaqueça e seja danificado) ou no ar condicionado veicular.

Na indústria, isso não é diferente, muitos processos necessitam de trocas de calor para se manterem. Vejamos alguns exemplos de indústrias que utilizam a técnica da troca de calor em seus processos:

- » Indústria alimentícia: para a pasteurização e conservação de leite e derivados, carnes, alimentos processados e refrigerados
- » Indústria de base: fabricação de metais e vidros, por exemplo
- » Indústria de transformação: processos de produção, refino, separação

A troca de calor também abre o leque para estudos de conservação e trocas de energia, onde pode ser usada para estudos envolvendo energia solar, nuclear, termoelétrica, entre outras.

Enfim, como podemos ver, o estudo dos processos envolvendo troca de calor é necessário devido ao grande leque de aplicações dessa técnica.



Para saber mais sobre Trocadores de Calor, assista ao vídeo indicado a seguir e acesse o seguinte *link* para estudo:

Trocadores de calor 1. <<https://www.youtube.com/watch?v=8115EYIR16Q>>.

Trocadores de calor 2. <<https://www.youtube.com/watch?v=8115EYIR16Q&t=114s>>.

Introdução a trocadores de calor

Trocadores de calor são equipamentos que servem, como o próprio nome diz, para a **troca de calor** entre dois fluidos que estão em diferentes temperaturas, podendo aquecer ou resfriar os fluidos que passam por esses equipamentos. Por essa definição estão excluídos os equipamentos que realizam mudanças de temperatura pela mistura de duas correntes ou que são aquecidos por fogo direto (ARAÚJO, 2014).

A troca de calor se dá entre dois fluidos com temperaturas diferentes, em que o mais aquecido perde calor, sendo resfriado, enquanto o menos aquecido ganha calor, sendo aquecido.

Essa troca de calor pode ocorrer em sistemas separados (onde não há mistura dos fluidos) ou em conjunto (misturando-se os fluidos). Existem várias formas de se classificar os trocadores de calor, uma delas é pelo tipo de serviço que realizam dentro de um processo (ARAÚJO, 2014), tomando como referência o fluido principal. Nesse caso, a água utilizada como fonte de energia para o aquecimento é considerada utilidade e não corrente do processo. Vejamos os tipos de serviço:

- » Trocadores/recuperadores: São equipamentos que têm como principal função a recuperação da energia térmica excedente de alguns processos reutilizando-a em outros. Com isso, os custos dos processos diminuem muito, além de ser benéfico ao meio ambiente. Nesse tipo de trocador os fluidos entram em contracorrente e o fluido intermediário (FI) com temperatura elevada de outro processo pode trocar calor com o fluido frio

(FF) que precisa ser aquecido. Nessa troca de calor, o FI recupera a sua energia inicial transferindo parte dessa energia ao outro fluido (FF).

Equipamentos como esse, que visam a economia de energia, são muito utilizados em indústrias de diversos segmentos, como farmacêutica, de alimentos, bebidas, química, petroquímica etc. (ARAUJO, 2014, TERMOTEK).

- » Condensadores: São equipamentos utilizados para condensar vapores em líquidos. O fluido refrigerador utilizado geralmente é a água. Existem muitos tamanhos de condensadores, desde os portáteis utilizados em laboratórios químicos até as torres de condensação utilizadas em plantas de processos industriais. Nesse processo, o calor latente do vapor é removido, condensando-o.
- » Refrigeradores: São equipamentos utilizados para resfriar um fluido em uma dada corrente do processo, utilizando, na maioria dos casos, a água como fluido refrigerante.
- » Aquecedores: Muito utilizados para aquecer piscinas, são equipamentos que trocam calor com o meio, o Sol, por exemplo, utilizando placas térmicas por onde a água fria passa e troca calor. Nas indústrias, o vapor de água ou os óleos térmicos são usados como fluido aquecido e, estes trocam calor com o fluido a ser aquecido.
- » Refervedores: É um trocador de calor normalmente utilizado para fornecer energia na forma de vapor (calor latente) para a parte inferior da coluna de destilação industrial. Eles fervem o líquido da parte inferior de uma coluna de destilação para produzir os vapores que são retornados para a coluna para a unidade de separação por destilação.
- » Evaporadores: São equipamentos utilizados para concentrar soluções por meio da evaporação da água ou de outro solvente presente na mistura.
- » Vaporizadores: São equipamentos utilizados para vaporizar um fluido, convertendo o calor latente ou sensível de um fluido A em calor de vaporização de um fluido B. Esse processo pode ser aplicado a todos os fluidos exceto a água (ARAUJO, 2014).

Há também outros tipos de classificação de trocadores de calor. Nesse capítulo, iremos abordar três formas diferentes:

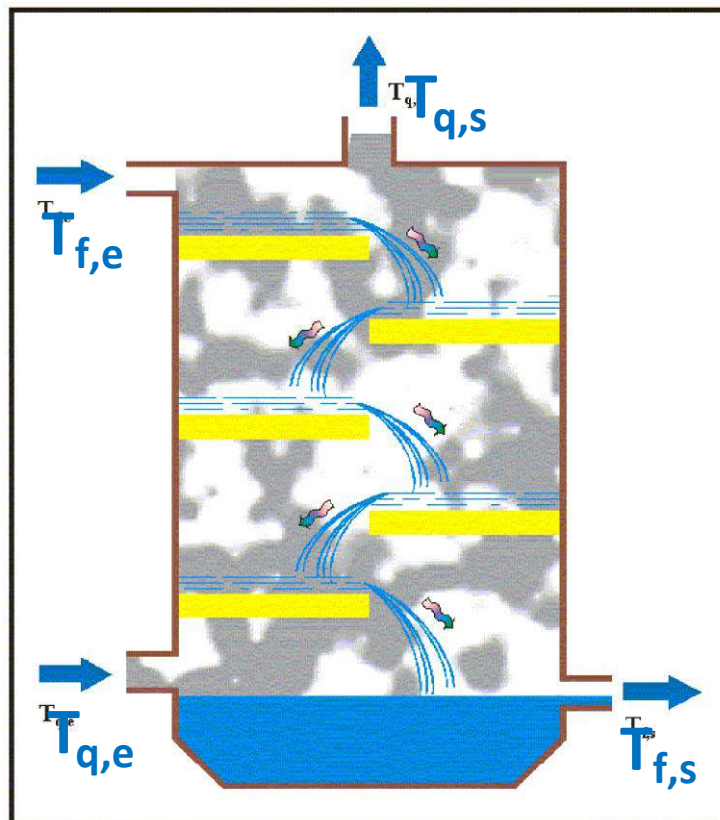
- » Quanto ao modo de troca de calor (contato direto ou contato indireto).
- » Quanto ao tipo de construção (tubulares ou de placas).
- » Quanto à corrente (paralelo ou contracorrente).

Trocadores de calor quanto ao modo de troca de calor

Contato direto

Trocadores de calor ao modo contato direto (Figura 3) são trocadores onde há o contato direto entre dois fluidos com temperaturas diferentes. Nesse processo o fluido de maior temperatura (fluido quente - $T_{q,e}$) cede calor ao fluido de menor temperatura (fluido frio - $T_{f,e}$). Nesse processo, o fluido quente (geralmente na fase de vapor) resfria e sai a uma temperatura mais fria ($T_{q,s}$) e o líquido sai a uma temperatura maior ($T_{f,s}$). Por ser um processo onde os dois fluidos se encontram e interagem entre si, as trocas de calor são mais efetivas, gerando taxas de transferência de calor mais elevadas, além da transferência de massa (que ocorre na maioria dos casos). A construção desse tipo de equipamento é relativamente barata quando comparados aos de contato indireto, porém sua aplicação é limitada a casos onde o contato direto entre os fluidos seja admissível (BOHORQUEZ, acesso em: 5/6/2018).

Figura 3. Modelo de trocador de calor por contato direto. O fluido de maior temperatura (fluido quente $T_{q,e}$) cede calor ao fluido de menor temperatura (fluido frio - $T_{f,e}$). Nesse processo, o fluido quente (geralmente na fase de vapor) resfria e sai a uma temperatura mais fria ($T_{q,s}$) e o líquido sai a uma temperatura maior ($T_{f,s}$).



Fonte: BOHORQUEZ <http://www.ufjf.br/washington_irrazabal/files/2014/05/Aula-23_Trocadores-de-Calor.pdf>. Acesso em: 5/6/2018.

Como exemplo de trocadores de calor por meio de contato direto citamos as torres de refrigeração, onde a água quente, proveniente de um processo industrial, entra na torre de refrigeração e troca calor com o ar externo. Nesse processo há troca de massa e calor e, ao final do processo, a água sai refrigerada e o ar aquecido. A água oriunda do processo é liberada em forma de gotículas de forma a aumentar a área superficial de contato entre os fluidos, resultando no aumento da área de troca de calor. Trocas onde entra água fria que sai aquecida também são admitidos nas torres de refrigeração. (BOHORQUEZ, acesso em: 5/6/2018); MACHADO - acesso em: 4/6/2018).

Contato indireto

Nos trocadores de calor por contato indireto, os fluidos permanecem separados por uma parede (que pode ser tubular ou em formato de placa, por exemplo) e o calor é transferido continuamente através de uma parede, pela qual se realiza a transferência de calor. Os trocadores de contato indireto classificam-se em:

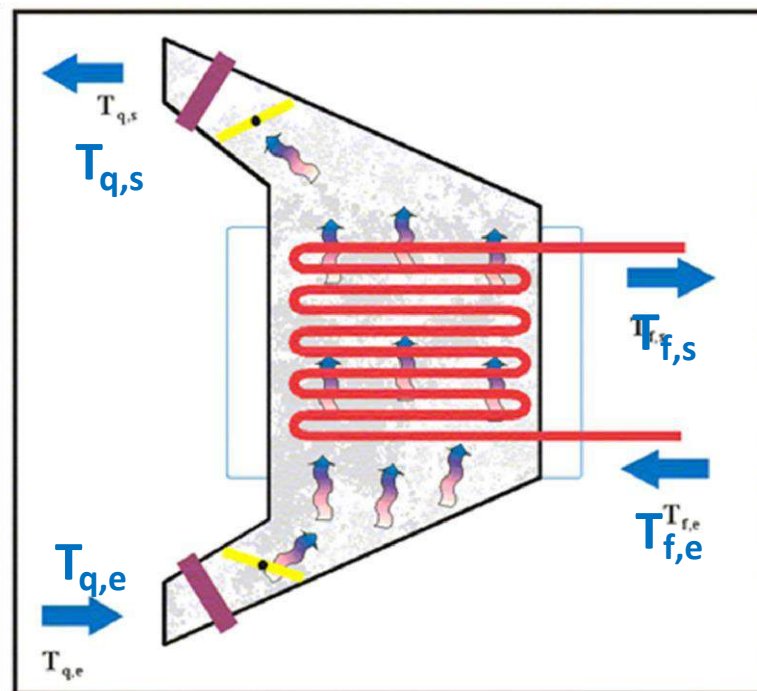
» Trocadores de calor por transferência direta

» Trocadores de calor por armazenamento

Trocadores de calor por transferência direta

São trocadores que apresentam um fluxo contínuo de calor do fluido quente para o fluido frio sem que haja o contato direto entre eles (Figura 4). Essa impossibilidade de contato direto se dá pela presença de paredes que separam esses fluidos. Não há mistura entre eles, pois cada corrente permanece em passagens separadas. Na figura 4 observamos as trocas de calor entre o fluido quente que entra por baixo no trocador de calor ($T_{q,e}$) e entra em contato com o fluido frio ($T_{f,e}$) que está separado por uma parede metálica. Nesse caso, as trocas de calor ocorrem enquanto ambos os fluidos sobem pelo trocador de calor, saindo com uma temperatura menor ($T_{q,s}$) ou maior ($T_{f,s}$) ao final da troca de calor (BOHORQUEZ, acesso em: 5/6/2018), MACHADO, acesso em: 4/6/2018).

Figura 4. Modelo de trocador de calor por contato indireto e transferência direta. As trocas de calor entre o fluido quente ($T_{q,e}$) e o fluido frio ($T_{f,e}$) ocorrem sem que haja contato entre eles, pois estão separados por uma parede metálica.



Fonte: BOHORQUEZ <http://www.ufjf.br/washington_irrazabal/files/2014/05/Aula-23_Trocadores-de-Calor.pdf>. Acesso em: 5/6/2018.

Na transferência direta, o tipo de serviço usado é o Trocador/Recuperador e, como exemplos de trocadores de calor por contato indireto e transferência direta temos:

» Trocadores de calor de placa

» Trocadores de calor tubulares

» Trocadores de calor de superfície estendida

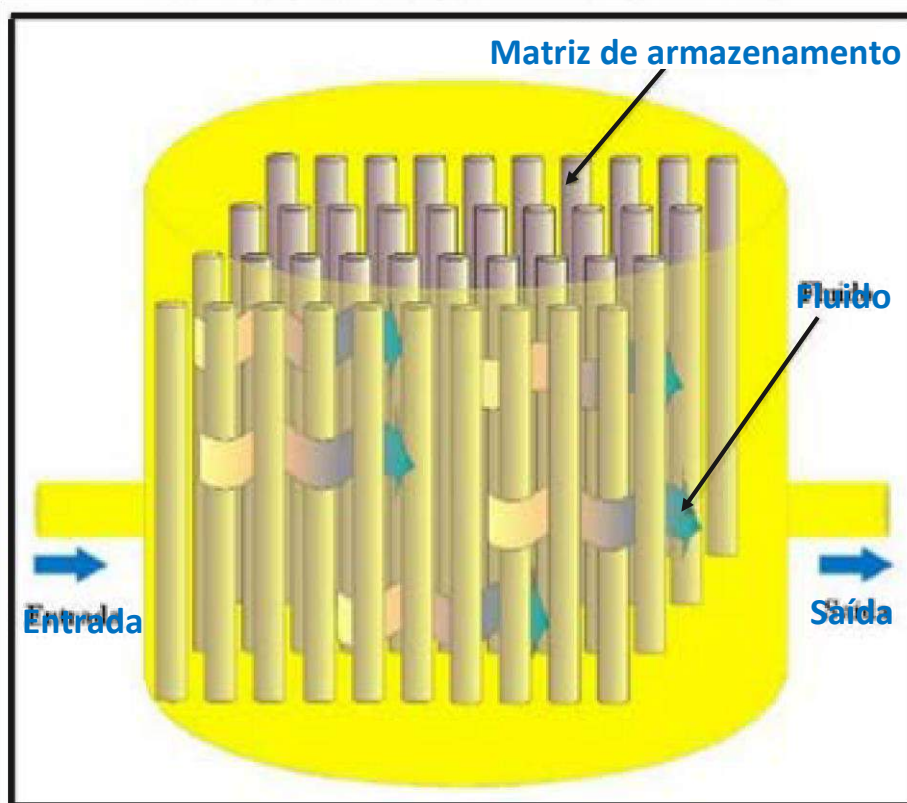
Esses trocadores são explicados posteriormente nessa apostila.

Trocadores de calor por armazenamento

São trocadores do tipo regeneradores, em que ambos os fluidos percorrem alternativamente as mesmas passagens de troca de calor. Nesse caso, a troca de calor se dá em uma matriz de armazenamento, onde o primeiro fluido passa aquecendo-a e, em seguida, o fluido frio troca calor com a matriz, aquecendo-se e regenerando a matriz. A matriz deve ser feita de um material que tenha facilidade em armazenar e ceder calor para os fluidos que por ela passam, para que sejam possíveis as trocas de calor entre os fluidos com o menor gasto possível na produção (BOHORQUEZ, acesso em: 5/6/2018), MACHADO, acesso em: 5/6/2018).

A Figura 5 mostra o sistema de troca de calor por armazenamento. Nele é possível observar a passagem do fluido pela matriz de armazenamento. Nesse caso, a entrada se dá de forma alternada, ou seja, primeiro entra um fluido aquecido, que cede calor à matriz e, em seguida, entra o fluido frio que recebe o calor da matriz.

Figura 5. Modelo de trocador de calor por contato indireto e armazenamento. As trocas de calor entre os fluidos se dão por meio de uma matriz de armazenamento que se aquece ao ter contato com o fluido aquecido, resfriando-o e, na sequência, se resfria em contato com o fluido frio, que troca calor com a matriz, aquecendo-se e regenerando a matriz.



Fonte: BOHORQUEZ <http://www.ufjf.br/washington_irrazabal/files/2014/05/Aula-23_Trocadores-de-Calor.pdf>. Acesso em: 5/6/2018.

Trocadores de calor em aparelhos de ar condicionado de grande porte utilizam tanques ou bancos de gelo (matriz congelada) para melhorar seu desempenho e diminuir o consumo de energia elétrica durante o período de pico de energia. A utilização desse banco de gelo se dá no período noturno, quando a tarifa de energia é bem menor. Nesse caso, a matriz de armazenamento cede seu calor para o fluido refrigerante, que circula no sistema, sendo também refrigerado. Durante o dia, o fluido quente proveniente do sistema de circulação de ar condicionado passa pela matriz congelada, reduzindo ou eliminando o trabalho dos *Chillers*, o que diminui sensivelmente o custo com energia elétrica (MACHADO, acesso em: 4/6/2018).

Relembrando:

Tabela 8. Trocadores de calor quanto ao modo de troca de calor.

Contato direto	Contato indireto	
	Transferência Direta	Armazenamento

São trocadores nos quais os fluidos se misturam e, na maioria das vezes, ocorre transferência de massa e de calor. É mais eficiente que o de transferência indireta porque os fluidos entram em contato uns com os outros, o que facilita as trocas. Não é aplicado a todos os fluidos.	São trocadores em que não há contato direto entre os fluidos. A troca de calor se dá por meio de contatos com tubos ou placas de preferência de metal. Nesse tipo de transferência a troca de calor se dá ao mesmo tempo.	Nesse tipo de trocador também não há contato direto entre os fluidos, porém, a troca de calor não ocorre ao mesmo tempo (como no trocador de transferência direta). A troca de calor se dá por meio de uma matriz, que absorve o calor de um fluido e, em seguida, transfere esse calor ao outro fluido, reestabelecendo o sistema.

Fonte: Autoria própria.

Trocadores de calor quanto ao tipo de construção

Segundo Araújo (2014), Saunders classifica os trocadores de calor em quatro categorias, a saber:

- » Tubulares: duplo tubo (*double pipe*), casco e tubo (*shell and tubes*), serpentina (*shell and coil*), tubo aquecido, refrigeradores de ar.
- » De placa: placa, espiral, lamela, placa aletada.
- » De materiais altamente resistentes à corrosão: grafite, vidro, teflon.
- » Especiais: rotativos, elétricos.

Aqui serão estudados apenas os dois primeiros.

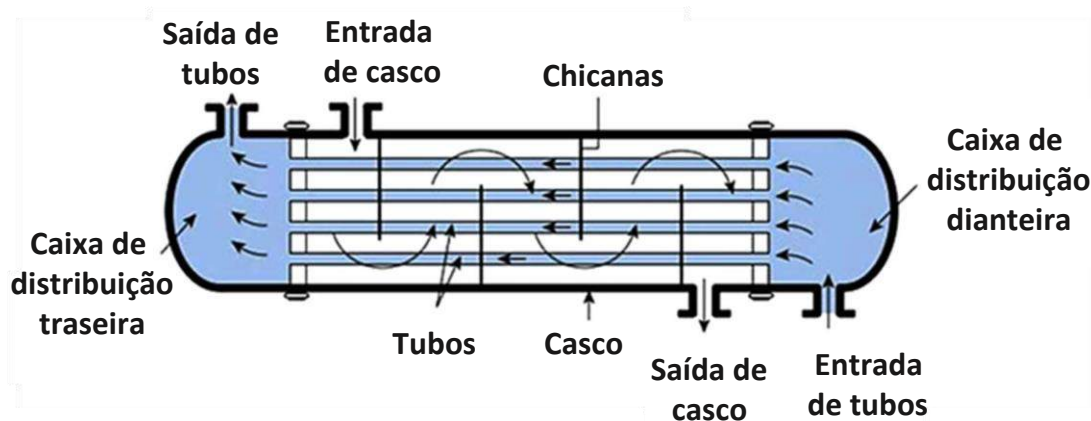
Trocadores de calor tubulares

São os modelos mais utilizados, por serem versáteis e poder ser empregados em vários processos industriais, tais como: estações de petróleo, indústrias alimentícias, indústrias de base, dentre outros. Frequentemente são construídos com tubos circulares, havendo uma variação de acordo com o fabricante – podem ser classificados como concêntricos, de carcaça (casco) e tubos (*shell and tube*), duplo tudo e espiral (BLACKADDER, 2004; MACHADO, acesso em: 4/6/2018; ARAUJO, 2014; BOHORQUEZ, acesso em: 5/6/2018). Os materiais mais utilizados para a sua produção são: aço carbono, aços inoxidáveis, cobre e suas ligas, metais ligados etc. São usados para aplicações de transferência de calor líquido/líquido (uma ou duas fases) e para aplicações de transferência de calor gás/gás, principalmente quando pressões e/ou temperaturas operacionais são muito altas onde nenhum outro tipo de trocador pode operar (MACHADO, acesso em: 4/6/2018); BOHORQUEZ, acesso em: 5/6/2018).

Trocadores de calor tipo carcaça e tubo

Trocadores de calor tipo carcaça (casco) e tubo (*shell and tube*) (Figura 6) são muito usados pois demandam menor espaço e por suas trocas serem mais efetivas, uma vez que o fluido passa por um grande número de tubos paralelos (muitas vezes mais de 100 tubos), que ficam presos a um disco conhecido como espelho, no interior de um grande cilindro, chamado carcaça ou casco. Nesse sistema, o fluido que fica fora do tubo, mas dentro do casco e faz movimentos em ziguezague, por entre esses tubos, aumentando a taxa de transferência de calor. Esses movimentos em ziguezague se dão graças ao uso de chicanas (placas que forçam o fluido a mudar de direção) que aumenta a turbulência.

Figura 6. Modelo de trocador de calor tubular carcaça (casco) e tubos (*shell and tube*). As trocas de calor entre os fluidos se dão por meio da passagem dos fluidos que entram na caixa de distribuição dianteira e que são obrigados a fluir em ziguezague por entre os cilindros que possuem um outro fluido em seu interior. Esses movimentos em ziguezague aumentam a taxa de transferência de calor entre os dois fluidos do cilindro.



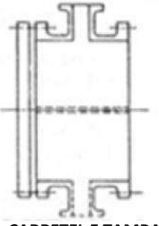
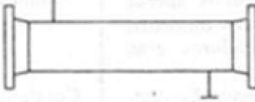
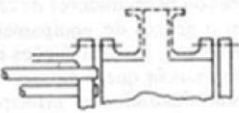
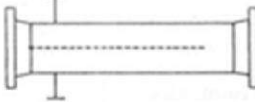
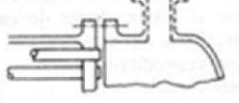
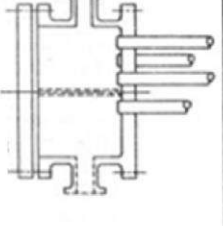
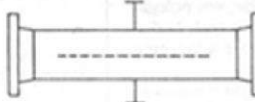
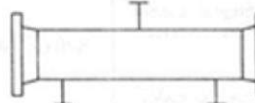
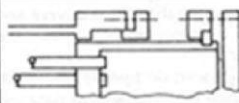
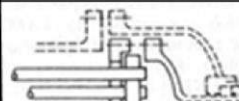
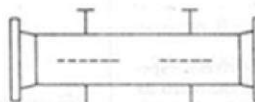
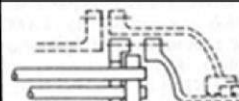
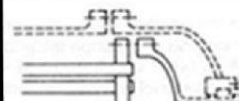
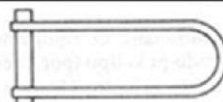
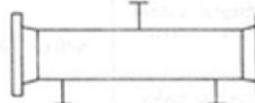
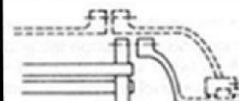
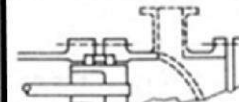
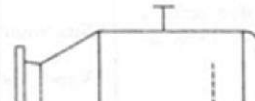
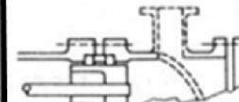
Fonte: CDC Equipamentos. Trocadores de calor. <<https://www.cdcequipamentos.com/tipos-de-trocador-de-calor.html?locale=pt>>. Acesso em: 10/6/2018.

Esse tipo de trocador é muito empregado em indústrias químicas, pois serve para uma ampla faixa de processos industriais, uma vez que, dependendo do tipo de material utilizado em sua confecção, pode operar com fluidos corrosivos, líquidos, gases, vapores, ou seja, ele é bastante versátil. Além disso, pode ser usado para uma ampla faixa de vazão (inclusive acima de 5.000 m³), de temperatura (inclusive acima de 260 °C) e de pressão (acima de 30 bar, por exemplo).

Para a identificação do arranjo mecânico de um trocador utilizam-se três letras padronizadas pela TEMA (*Tubular Exchanger Manufacturers Association*, ou em português, Associação de Fabricantes de Trocadores Tubulares), que correspondem aos tipos construtivos para as partes dianteira, intermediária e traseira dos trocadores. A Figura 7 mostra os arranjos de letras para os devidos trocadores, onde o cabeçote

estacionário corresponde às letras de A a D, o casco corresponde às letras de E a K e o cabeçote traseiro corresponde às letras de L a W.

Figura 7. Tipos construtivos para as partes dianteira, intermediária e traseira dos trocadores de calor. Esses arranjos são padonizados pelo TEMA.

TIPOS DE CABEÇOTE FRONTAL COM ESPELHO ESTACIONÁRIO		TIPOS DE CASCO		TIPOS DE CABEÇOTE POSTERIOR	
A		E		L	
	CARRETEL E TAMPA REMOVÍVEIS		CASCO DE UM PASSE		ESPELHO FIXO SEMELHANTE AO TIPO A
					
	CARRETEL COM TAMPO INTERIOR		CASCO DE DOIS PASSES COM CHICANA LONGITUDINAL		ESPELHO FIXO SEMELHANTE AO TIPO B
B		G		N	
	CARRETEL INTEIRO COM O ESPELHO E A TAMPA REMOVÍVEIS		FLUXO DIVIDIDO		ESPELHO FIXO SEMELHANTE AO TIPO C
			FLUXO DE ENTRADA OU DE SAÍDA DIVIDIDO		
	VEDAMENTO ESPECIAL PARA ALTAS PRESSÕES		TIPO REFERVEDOR		CABEÇOTE FLUTUANTE COM GAXETA EXTERNA
C		H		S	
	CARRETEL INTEIRO COM O ESPELHO E A TAMPA REMOVÍVEIS		FLUXO DUPLAMENTE DIVIDIDO		ESPELHO FLUTUANTE COM ANEL BIPARTIDO
			FLUXO DE ENTRADA OU DE SAÍDA DIVIDIDO		ESPELHO FLUTUANTE COM ANEL BIPARTIDO
	VEDAMENTO ESPECIAL PARA ALTAS PRESSÕES		TIPO REFERVEDOR		ESPELHO FLUTUANTE COM ANEL DE VEDAMENTO ESPECIAL
D		J		T	
	CARRETEL INTEIRO COM O ESPELHO E A TAMPA REMOVÍVEIS		FLUXO DE ENTRADA OU DE SAÍDA DIVIDIDO		ESPELHO FLUTUANTE COM ANEL BIPARTIDO
	VEDAMENTO ESPECIAL PARA ALTAS PRESSÕES		TIPO REFERVEDOR		ESPELHO FLUTUANTE COM ANEL DE VEDAMENTO ESPECIAL
	VEDAMENTO ESPECIAL PARA ALTAS PRESSÕES		TIPO REFERVEDOR		ESPELHO FLUTUANTE COM ANEL DE VEDAMENTO ESPECIAL
D		K		W	
	CARRETEL INTEIRO COM O ESPELHO E A TAMPA REMOVÍVEIS		TIPO REFERVEDOR		ESPELHO FLUTUANTE COM ANEL DE VEDAMENTO ESPECIAL
	VEDAMENTO ESPECIAL PARA ALTAS PRESSÕES		TIPO REFERVEDOR		ESPELHO FLUTUANTE COM ANEL DE VEDAMENTO ESPECIAL
	VEDAMENTO ESPECIAL PARA ALTAS PRESSÕES		TIPO REFERVEDOR		ESPELHO FLUTUANTE COM ANEL DE VEDAMENTO ESPECIAL

Fonte: <<http://www.daboosanat.com/images/pdf/Standard/Standards-of-the-Tubular-Exchanger-Manufacturers-Association.TEMA.-9th-Edition.-2007.pdf>>. Acesso em: 5/6/2018. Figura N-1.2.

Abaixo faremos um breve comentário sobre as principais partes que integram um trocador de calor carcaça e tubo

Tubos do feixe

São o conjunto de tubos paralelos que servem para fazer as trocas térmicas entre os fluidos que estão em seu interior e os fluidos que percorrem o casco. Os tubos em feixe podem ser classificados em:

- » Feixe tubular de espelhos fixo (cabeçote traseiro tipo L, M ou N).
- » Feixe tubular de espelho flutuante (cabeçote traseiro tipo T e S).
- » Feixe tubular de tubos em “U”.

Os **feixes tubulares de espelho fixo** têm os dois espelhos ligados diretamente ao casco do trocador e são os tipos mais econômicos, porém esse tipo de trocador opera com diferença entre a temperatura média no metal dos tubos e a temperatura média no metal do casco. De modo geral, essa diferença de temperatura deve ser menor do que 10 °C (50 °F), porém, cada caso é diferente e a verificação dessa faixa de trabalho dependerá do cálculo térmico do trocador. Isso é um empecilho para muitos processos, porém, é necessário, uma vez que casco e tubos são fabricados a partir de diferentes materiais e, portanto, há diferenças nas expansões térmicas entre eles.

Em alguns casos esta diferença de expansões térmicas é tão pequena que está perfeitamente dentro dos limites de tensões admitidas para os materiais de construção envolvidos.

Antes de optar por esse tipo de trocador de calor deve-se observar o coeficiente de película dos fluidos. Sempre que o coeficiente de película de um dos fluidos for sensivelmente maior ou sensivelmente menor que o coeficiente de película do outro há grandes possibilidades do trocador tipo espelho fixo ser utilizado. A tabela 9 mostra os coeficientes de película de alguns fluidos líquidos e gasosos tanto do lado do casco, quanto do lado dos tubos. Essas informações são importantes para a escolha desse tipo de trocador de calor.

Tabela 9. Coeficientes de película.

	Lado do casco	Lado dos tubos
OS		
0 °C	230 – 280	85 – 140

0 °C	400 - 500	100 – 200
0 °C	450 - 550	350 – 450
0 °C	400 - 500	100 – 200
0 °C	450 - 550	300 – 350
0 °C	620 - 750	550 – 650
0 °C	750 - 900	700 – 800
0 °C	450 - 550	300 – 350
0 °C	700 - 800	650 – 750
0 °C	850 - 950	800 - 900
0 °C	1000 - 1100	1000 – 1100
API		
0 °C	110 - 170	60 – 110
0 °C	220 - 300	110 -170
	650 - 750	550 - 650
	800 - 900	800 – 850
	800 - 900	750 – 800
	1000	1000
	1100	1100
	1400	1400
ânicos	1100	1100
	4000	4000
	2800	2800
EBULIÇÃO	Lado do casco ou dos tubos	
	8500	
água ou mais	3400	

	1700				
S	1100				
	2200				
	4000				
	2300				
	2300				
	1700				
	1100				
	1100				
S	Lado do casco ou dos tubos				
	<i>0,7 bar</i>	<i>3,5 bar</i>	<i>7 bar</i>	<i>20 bar</i>	<i>35bar</i>
	140	340	570	950	1100
s e solventes	140	400	600	100	1250
ves	80	170	340	570	700
	75	140	290	500	570
	80	170	300	550	650
	85	170	290	500	750
	230	600	1100	2000	2400
	200	450	850	1600	2000
	170	400	750	1400	1750
	140	300	600	1000	1500
ENSANDO	Lado do casco ou dos tubos				
	8500				
o	3400				
o	2300				
o	1250				
ouros	1400 – 1700				
etos leves	1000 – 1400				

	850 – 1250
de água	1100
s	570
s com vapor	700
ros	1400
	3400

Fonte: Tabela adaptada do TEMA – conversão de unidades para medidas brasileiras. Disponível em: <<http://www.daboosanat.com/images/pdf/Standard/Standards-of-the-Tubular-Exchanger-Manufacturers-Association.-TEMA.-9th-Edition.-2007.pdf>>. Acesso em: 5/6/2018.

Os **feixes tubulares de espelho flutuante** têm um espelho fixo no carretel e um espelho flutuante. Entre os dois tipos de trocadores de calor (T ou S) a diferença se dá na forma como o espelho flutuante está ligado ao cabeçote. No tipo T, o espelho flutuante é ligado diretamente a um tampo na parte traseira do casco, enquanto que no tipo S, o espelho flutuante é colocado entre um anel bipartido e uma tampa na parte traseira.

Na prática, os dois sistemas têm vantagens e desvantagens, vejamos:

- » Tipo T: Vantagem: é facilmente removido do casco, desmontando-se somente o carretel do cabeçote estacionário, já que o casco e a tampa do casco são de mesmo diâmetro. A manutenção do tipo T é mais vantajosa já que o feixe tubular pode ser removido sem que seja removida a tampa do casco. Desvantagem: o diâmetro do feixe tubular e o diâmetro do casco têm uma grande folga, o que prejudica o desempenho térmico do trocador, e requer o uso de fitas de selagem. Isso se dá porque deve ser reservado espaço suficiente na periferia do espelho flutuante para acomodar as porcas dos parafusos de fixação. Com isso, o diâmetro do casco para um mesmo número de tubos será maior no tipo T, se comparado com o tipo S.
- » Tipo S: Vantagem: Em termos de custo, o tipo cabeçote flutuante com anel bipartido é normalmente mais barato que o tipo T quando se necessita utilizar materiais especiais para o espelho fixo, as chicanas e o cabeçote flutuante. A eficiência térmica do trocador neste tipo de construção é maior, pois permite que os tubos estejam bem próximos da parede interna do casco. Desvantagens: Quando a pressão de projeto do lado dos tubos é elevada (acima de 40 bar = 600 psi), a utilização de trocadores de calor com cabeçote flutuante com anel bipartido não é recomendável, devido à possibilidade de vazamentos nas juntas do cabeçote flutuante.

Os **feixes tubulares tipo U** têm apenas um espelho e não necessitam de junta de expansão, o que permite aos tubos expandirem-se individualmente. A limpeza desse tipo de feixe tubular é relativamente simples, podendo ser feita limpeza mecânica nas paredes externas; porém, nas partes curvas essa limpeza é dificultada devido ao acesso e à remoção dos tubos. Nesse tipo de trocador de calor os tubos não podem ser removidos individualmente. Quanto às paredes internas, há uma certa dificuldade na limpeza, pois elas têm a curvatura em U. Nesse caso, é aconselhado que os fluidos tenham um fator de incrustação no lado dos tubos inferior a $0,00036 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$.

Quanto à espessura e ao material utilizado para a fabricação dos tubos, é importante salientar que os tubos do feixe tipo tubular não seguem normas, como veremos para os trocadores de calor duplo tubo. Portanto, a escolha da espessura do material do qual será confeccionado dependerá das condições operacionais (por exemplo, pressão e corrosão) dos fluidos que passarão pelo trocador de calor.

Segundo Araújo (2014), a espessura mais utilizada para condições normais refere-se ao BWS 16, 0,065 polegadas (1,65 mm).

A troca dos tubos do feixe é sempre possível, porém a viabilidade depende do custo/benefício. Assim como também depende do custo/benefício o tipo de material que será utilizado para confeccionar os tubos e os cascos. Na maioria dos casos, os materiais selecionados são metais, tais como: aço inox, ligas nobres, aço carbono, latão, cobre, liga cobre-níquel, bronze alumínio, dentre outros. Materiais mais caros e específicos, tais como grafite e teflon, também podem ser empregados, dependendo dos fluidos envolvidos no processo (ARAÚJO, 2014).

Dimensões dos tubos: Existem várias dimensões e, mais uma vez, o que vai determinar o comprimento, o diâmetro e a disposição dos tubos será o tipo de fluido, além do espaço para a instalação do equipamento.

Comprimento dos tubos

Segundo Araujo (2014), esses equipamentos podem ser compostos por tubos longos ou curtos e ter diversos tipos de diâmetros, tanto dos tubos no interior do casco, quanto do cilindro. Kern (1980), disponibilizou gráficos que mostram custos da área de troca. Esses gráficos mostram que trocadores com tubos longos e pequeno diâmetro de casco são mais baratos que trocadores construídos por tubos de menor comprimento e cilindros com maiores diâmetros. Portanto, sempre que possível, deve-se optar por esses tipos de trocadores de calor mais compridos e com menor diâmetro.

Quando se projeta um trocador de calor, deve-se ter em mente que os tubos em seu interior devem ser removidos para manutenção, limpeza e eventual troca. Por esse motivo, o local onde esse equipamento for instalado deve ter uma área livre que tenha espaço suficiente para essa troca. Por exemplo, se os tubos têm 6 m de comprimento (tamanho mais econômico para a maioria dos serviços de refinaria), deve-se ter uma área livre de mais de 6 metros para essas trocas.

As medidas mais comuns de comprimentos de tubos do feixe, segundo a TEMA, são 8, 10, 12, 16 e 20 pés (2,5; 3; 3,6; 4,8 e 6 m), e os diâmetros variam, de acordo com os fluidos, mas são geralmente $\frac{3}{4}$ in, 1 in, 1 $\frac{1}{4}$ in, 1 $\frac{1}{2}$ in e 2 in.

A diferença de polegadas entre os diversos tubos se dá porque os fluidos que passarão pelas tubulações têm viscosidades diferentes, que devem ser levadas em consideração na hora de se escolher o diâmetro da tubulação. Diâmetros menores permitem melhor troca de calor, porém, caso a viscosidade seja muito alta, pode haver entupimento dos canos.

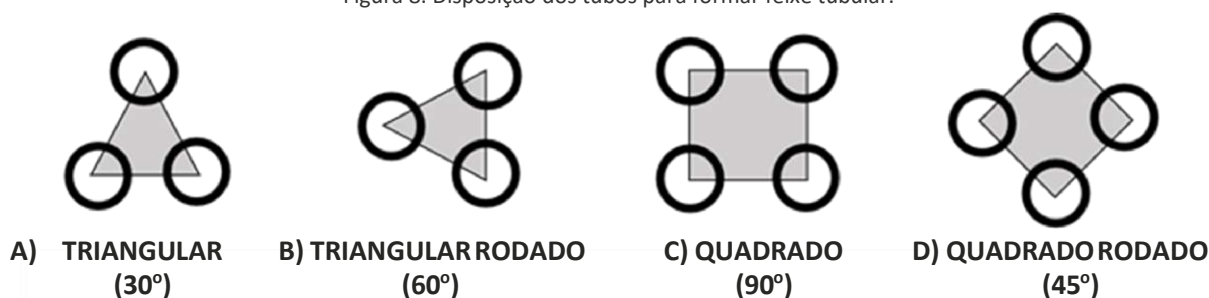
As espessuras de parede dos tubos são padronizadas pela TEMA. Para a maioria das aplicações, o diâmetro externo de um trocador de calor varia entre $\frac{3}{4}$ in e 1 in.

Diâmetros de 1 $\frac{1}{2}$ in são utilizados quando ocorrem problemas de perda de carga do lado dos tubos. Para trocadores das classes B e C a TEMA permite a utilização de tubos de até $\frac{1}{4}$ in de diâmetro externo. Os materiais para a confecção dos tubos também devem ser analisados e a TEMA fornece algumas indicações para isso, dependendo dos fluidos que passarão pelo sistema. Vejamos, por exemplo o caso de um fluido com fator de incrustação pequeno ($<0,0005$ m $^{\circ}$ C/W). Nesse caso, pode-se utilizar tubos com diâmetro externo de $\frac{3}{4}$ in. Para fluidos com fatores de incrustação maiores, são utilizados tubos de 1 in.

O espaçamento entre os canos também é importante nesse tipo de equipamento. Quanto menor o diâmetro dos tubos e o espaçamento entre eles, maiores serão as trocas de calor entre eles, porém, fluidos muito viscosos também interferem nesses espaçamentos. Na prática, os diâmetros dos tubos devem ficar em torno de 20 mm (cerca de $\frac{3}{4}$ de polegadas - 19,05 mm), para que a limpeza ocorra com mais facilidade e as incrustações diminuam. Porém, há equipamentos que operam com tubos com diâmetros muito menores que os recomendados (cerca de $\frac{1}{4}$ in - 6,35 mm), tudo depende do tipo de fluido.

Outro item que deve ser observado com relação aos tubos do feixe é a disposição desses tubos para formar o feixe tubular (figura 8). A TEMA normaliza quatro configurações para esse arranjo, são elas: triangular (30°), triangular rodado (60°), quadrado (90°) e quadrado rodado (45°).

Figura 8. Disposição dos tubos para formar feixe tubular.



Fonte: Figura adaptada de TEMA (figura RCB-2.4). Disponível em: <<http://www.daboosanat.com/images/pdf/Standard/Standards-of-the-Tubular-Exchanger-Manufacturers-Association.-TEMA.-9th-Edition.-2007.pdf>>. Acesso em: 5/6/2018.

A distância entre os centros de dois tubos paralelos é chamada de **passo** e a diferença entre o passo e o diâmetro externo do tubo é chamada de **abertura**. Os passos mais utilizados estão disponíveis na tabela 10. Um passo (p) é igual a 1,25 vezes o diâmetro externo (d_e) do tubo.

$$p = 1,25 \times d_e$$

Tabela 10. Passos mais utilizados nos cálculos dos diâmetros das tubulações.

Diâmetro externo (in)	Passo (in)	
	Triangular	Quadrado
$\frac{3}{4}$	$\frac{15}{16} - 1$	1
1	$1 \frac{1}{4}$	$1 \frac{1}{4}$
$1 \frac{1}{2}$	$1 \frac{7}{8}$	$1 \frac{7}{8}$
$> 1 \frac{1}{2}$	$1,25 \times d_e$	$1,25 \times d_e$

Fonte: Tabela adaptada do TEMA. Disponível em: <<http://www.daboosanat.com/images/pdf/Standard/Standards-of-the-Tubular-Exchanger-Manufacturers-Association.-TEMA.-9th-Edition.-2007.pdf>>. Acesso em: 5/6/2018.

A escolha entre arranjos, triangulares ou quadrados vai depender do tipo de fluido e das distâncias entre os tubos. Sempre que possível deve-se optar por tubos com arranjos triangulares, pois são mais compactos. Porém, esse tipo de arranjo é mais difícil de ser limpado, podendo ocorrer mais incrustações, danificando o equipamento. Para solucionar esse problema e utilizar o arranjo triangular, o que pode ser feito é utilizar o fluido mais viscoso no interior da tubulação, deixando a parte externa com o fluido menos viscoso.

A Tabela 11 mostra a recomendação para as disposições dos tubos. Nela pode-se observar que fluidos viscosos com fatores de incrustação superiores a $0,0004 \text{ m}^\circ\text{C/W}$ do lado do casco devem, preferencialmente, ter suas trocas de calor em arranjos quadrados, devido à dificuldade de limpeza do sistema.

Tabela 11. Recomendação para disposição dos tubos.

	Disposição	
	Triangular	Quadrada
Fator incrustação $\leq 0,0004 \text{ m } ^\circ\text{C/W}$	X	
Fator incrustação $> 0,0004 \text{ m } ^\circ\text{C/W}$		X
Quando é necessária limpeza mecânica da superfície externa dos tubos		X
Quando é necessária ou pode ser feita limpeza química do lado do casco	X	
Trocador com espelhos fixos	X	
Feixes removíveis	X	X
Tubos em U	X	
Menor custo por unidade de área	X	

Fonte: <<http://essel.com.br/cursos/material/03/CAP5A.pdf>>. Acesso em: 5/6/2018.

Fluidos muito viscosos exigem muita limpeza mecânica, o que inviabiliza sua passagem por fora dos cascos, porém, o interior do casco pode ser limpo mecanicamente sem muitos problemas ou custos excessivos.

Preferencialmente, deve-se utilizar o arranjo triangular. Arranjos quadrados só devem ser utilizados quando não for possível usar o arranjo triangular. Isso porque nos arranjos triangulares os trocadores são mais compactos e mais eficientes. No caso de uso dos arranjos quadrados, o passo deve ter uma distância maior, para que a limpeza possa ocorrer sem grandes transtornos.

Fatores de incrustação: Muitas são as causas de incrustação de um trocador de calor: deposição de sujeiras ou lamas, polimerização dos próprios fluidos de trabalho, depósitos de outros materiais, tanto na parede interna como na parede externa dos tubos do trocador de calor. Isso ocorre de forma natural e deve ser levado em conta quando os cálculos do projeto de trocadores de calor estão sendo elaborados. O código TEMA apresenta valores para os fatores de incrustação de vários tipos de fluidos (Tabela 12). Esses valores asseguram o desempenho do trocador, para o qual foi projetado durante um período de 1 ano a 1 ano e meio, porém, as tabelas são apenas indicativas devendo, sempre que possível, utilizar dados mais específicos que permitam melhor avaliação dos fatores de incrustação dentro dos processos industriais trabalhados.

Esses fatores de incrustação são importantes para a limpeza e manutenção dos trocadores de calor. Com base nesses dados, é possível fazer um projeto de trocador onde há cálculos

da resistência térmica esperada durante a operação normal do trocador de calor, que permitem um tempo razoável de serviço entre uma limpeza e outra.

A importância real dos fatores de incrustação depende do valor do coeficiente global de troca térmica para o trocador limpo U_{limpo} . Quanto maior este coeficiente mais importante será o efeito do fator de incrustação.

$$U_{\text{limpo}} = 1 / R,$$

onde R é a resistência de depósito.

O fator de incrustação (F) é dado pela equação:

$$F = (1/U_{\text{incrustação}}) - R$$

Abaixo apresentamos a Tabela 12 com alguns valores de resistência de depósito dada em $\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$, extraída da TEMA e convertida para as unidades de medida brasileiras.

Tabela 12. Resistência de depósito.

Óleos	$\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$
Óleo combustível	0,00036
Óleo vegetal	0,0009
Óleo de transformador	0,00018
Óleo lubrificante	0,00018
Óleo de têmpera	0,00072
Gases e Vapores	$\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$
Gás Manufaturado	0,0018
Gás de escape do motor	0,0018
Vapor (não rolamento de óleo)	0,00009
Vapor de Escape (Rolamento de Óleo)	0,00036
Vapores fluidos Refrigerante (Rolamento de Óleo)	0,00036
Ar comprimido	0,00018
Amônia Vapor	0,00018
Vapor de gás carbônico	0,00018
Vapor de Cloro	0,00036
Gás de combustão de carvão	0,0018
Gás de combustão de gás natural	0,0009
Líquidos	$\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$
Sais de transferência de calor fundidos	0,00009
Líquidos refrigerantes	0,00018
Fluido hidráulico	0,00018
Fluidos térmicos Industriais (Fluidos Orgânicos)	0,00036

Amônia líquida	0,00018
Amônia líquida (Rolamento de Óleo)	0,00054
Soluções de Cloreto de Cálcio	0,00054
Soluções de Cloreto de Sódio	0,00054
CO ₂ líquido	0,00018
Cloro líquido	0,00036
Soluções de metanol	0,00036
Soluções de etanol	0,00036
Soluções de etileno glicol	0,00036
Resistências de depósito para processo de substância química	
Gases e Vapores	m² °C/W
Gases ácidos	0,00036 – 0,00054
Vapores de solventes	0,00018
Produtos do topo estáveis	0,00018
Líquidos	m² °C/W
Soluções de monoetanolamina (MEA) e de dimetanolamina (DEA)	0,00036
Soluções de dietilenoglicol (DEG) e trietilenoglicol (TEG)	0,00036
Produtos estáveis do topo	0,00018 - 0,00036
Soluções cáusticas	0,00036
Óleos vegetais	0,00054
Resistências de depósito para processo de gasolina e gás natural	
Gases e Vapores	m² °C/W
Gás natural	0,00018-0,00036
Produtos do topo	0,00018-0,00036
Líquidos	m² °C/W
Óleo rico	0,00036
Óleo pobre	0,00018-0,00036
Gasolina e gás liquefeito de petróleo (GLP)	0,00018-0,00036

Fonte: Tabela adaptada do TEMA – conversão de unidades para medidas brasileiras. Disponível em: <<http://www.daboosanat.com/images/pdf/Standard/Standards-of-the-Tubular-Exchanger-Manufacturers-Association.-TEMA.-9th-Edition.-2007.pdf>>.
Acesso em: 5/6/2018.

A TEMA também tem uma tabela de resistência de depósito para trocas de calor onde um dos fluidos é a água (tabela 6). Nessa tabela pode-se observar que a resistência de depósito depende da diferença das temperaturas dos dois fluidos e da vazão com que a água passa pelo trocador de calor.

A seguir apresentaremos a Tabela 13 com alguns valores de resistência de depósito da água dada em m² °C/W, extraída da TEMA e convertida para as unidades de medida brasileiras.

Tabela 13. Resistência de depósito da água.

Temperatura do fluido quente	Até 115 °C	115 °C a 200 °C

Temperatura da água	50 °C ou menos		mais de 50 °C	
	Velocidade da água		Velocidade da água	
	≤ 3 m/s	> 3 m/s	≤ 3 m/s	> 3 m/s
Água do mar	0,00009	0,00009	0,00018	0,00018
Água salobra	0,00036	0,00018	0,00054	0,00036
Torre de resfriamento e tanque de nebulização artificial				
Água tratada	0,00018	0,00018	0,00036	0,00036
Água sem tratamento	0,00054	0,00054	0,0009	0,00072
Água potável de cidade ou água de poço	0,00018	0,00018	0,00036	0,00036
Água de rio				
Mínimo	0,00036	0,00018	0,00054	0,00036
Médio	0,00054	0,00036	0,00072	0,00054
Água lamacenta ou lodosa	0,00054	0,00036	0,00075	0,00054
Água dura (acima de 0,25 g/L)	0,00054	0,00054	0,0009	0,0009
Água de resfriamento de motores	0,00018	0,00018	0,00018	0,00018
Água destilada ou ciclo fechado				
Condensado	0,00009	0,00009	0,00009	0,00009
Água tratada para alimentação de caldeira	0,00018	0,00009	0,00018	0,00018
Água da descarga de fundo de caldeiras	0,00036	0,00036	0,00036	0,00036

Fonte: Tabela adaptada do TEMA – conversão de unidades para medidas brasileiras. Disponível em: <<http://www.daboosanat.com/images/pdf/Standard/Standards-of-the-Tubular-Exchanger-Manufacturers-Association.-TEMA.-9th-Edition.-2007.pdf>>. Acesso em: 5/6/2018.

Casco

Os cascos podem ser obtidos utilizando-se tubos comerciais, onde, segundo a norma IPS, os diâmetros são de até 24 in (609,6 mm). As paredes desses cascos costumam ter espessura de $\frac{3}{8}$ in (aproximadamente 9,5 mm). Diâmetros internos para cascos entre 12 e 24 in com espessura de $\frac{3}{8}$ in suportam pressões de mais de 20 atm (300 psi).

O diâmetro do trocador é sempre definido como sendo o diâmetro interno do casco.

Os tamanhos típicos para o diâmetro interno variam entre 8 e 60 in. A TEMA admite para diâmetro máximo do casco, em trocadores normais, 60 in, e exige requisitos adicionais para trocadores entre 60 e 100 in. Cascos não padronizados podem ser confeccionados segundo as necessidades de cada processo utilizando-se chapas de aço soldadas. Há cascos com diâmetros acima de 120 in (ARAUJO, 2014).

As condições para limpeza e manutenção nas plantas inviabiliza trocadores de calor muito extensos ou com um diâmetro muito alto, sendo assim, usualmente o diâmetro máximo utilizado é limitado a 48 polegadas, com o peso do feixe tubular não ultrapassando cerca de 15 toneladas.

Bocais

Os bocais são os locais por onde os fluidos entram e saem dos trocadores de calor. Eles são presos aos cascos e, normalmente, se posicionam no topo e no fundo do trocador de calor, sendo que a entrada e a saída dos fluidos seguem a seguinte regra geral:

- » Fluidos com menor temperatura e que serão aquecidos ou vaporizados, entram pelo fundo e saem pelo topo do trocador de calor, tanto do lado dos tubos quanto do casco.
- » Fluidos com maior temperatura e que serão resfriados ou condensados, entram pelo topo e saem pelo fundo do trocador de calor, tanto do lado dos tubos quanto do casco

Os diâmetros dos bocais, de modo geral são os mesmos das tubulações conectadas ao trocador, porém há tabelas que podem relacionar os diâmetros dos bocais aos diâmetros dos cascos. A tabela 14, recomendada pela TEMA relaciona alguns desses diâmetros.

Tabela 14. Recomendações para diâmetros de conexões do casco, segundo a TEMA.

Diâmetro interno do casco (in)	Diâmetro das conexões (in)
Menor que 12	2
12 - 17 ¼	3
19 ¼ - 21 ¼	4
23 ¼ - 29	6
31 - 37	8
Acima de 39	10

Fonte: Tabela adaptada do TEMA – conversão de unidades para medidas brasileiras. Disponível em: <<http://www.daboosanat.com/images/pdf/Standard/Standards-of-the-Tubular-Exchanger-Manufacturers-Association.-TEMA.-9th-Edition.-2007.pdf>>. Acesso em: 5/6/2018.

Placas de impacto

Em alguns casos, são necessárias placas de impacto que servem para a proteção do feixe tubular que sofre impacto do fluido que escoar pelo casco. Essas placas são necessárias porque a entrada da alimentação tem uma vazão alta que pode danificar os tubos, principalmente quando há partículas sólidas no fluido. A espessura das placas de impacto é de aproximadamente 6 mm.

Segundo a TEMA, a necessidade de uso dessas placas ocorre sempre que pV^2 tiver as seguintes características:

- » Fluidos não corrosivos, não abrasivos e sem mudanças de fase, tiverem fator de impacto for superior a 1.500 lb/(ft s²) [2.203 kg/(m s²)].

» Demais fluidos, tiverem fator de impacto for superior a $500 \text{ lb}/(\text{ft s}^2)$ [$744 \text{ kg}/(\text{m s}^2)$].

Também há a necessidade da placa de impacto quando o fluido do casco for gasoso ou vapor condensado, além dos fluidos que são uma mistura de líquido e vapor.

Essas placas de impacto, segundo a TEMA, normalmente têm formatos quadrado ou retangular e suas dimensões são cerca de 1 a 2 in maiores que o diâmetro interno do bocal.

Chicanas

As chicanas são placas colocadas perpendicularmente aos tubos, e têm a função de suportar esses tubos, evitando possíveis vibrações e curvaturas. Elas também direcionam o escoamento do lado do casco, garantindo o fluxo cruzado do fluido do lado do casco através do feixe tubular e, melhorando a transferência de calor. Além disso, as chicanas também evitam regiões mortas no processo de transferência de calor.

Existem normas de trocadores de calor que padronizam o espaçamento entre as chicanas e definem valores máximos e mínimos para elas. Segundo a TEMA, o espaçamento máximo entre as chicanas é calculado pelo comprimento máximo do tubo não suportado e, esse pode ser calculado pela equação abaixo, para tubos de aço carbono e suas ligas, níquel e suas ligas etc. Nos cálculos envolvendo tubos de Cu, Al, Ti..., deve-se subtrair 12%.

$$I_m = 74 d_{e0,75}$$

Onde, I_m é o comprimento máximo do tubo não suportado e d_e é o diâmetro externo do tubo, ambos em polegadas (in).

Os espaçamentos mínimos, segundo a TEMA, devem ser iguais a $1/5$ do diâmetro interno do casco ou a 2 in, nesse caso, utiliza-se aquele que for maior.

Por causa das posições dos bocais do lado casco, normalmente os espaçamentos da primeira e última chicanas são diferentes dos espaçamentos das chicanas intermediárias. Isso se dá porque esses espaçamentos (entrada e saída) referem-se à distância da chicana ao espelho mais próximo.

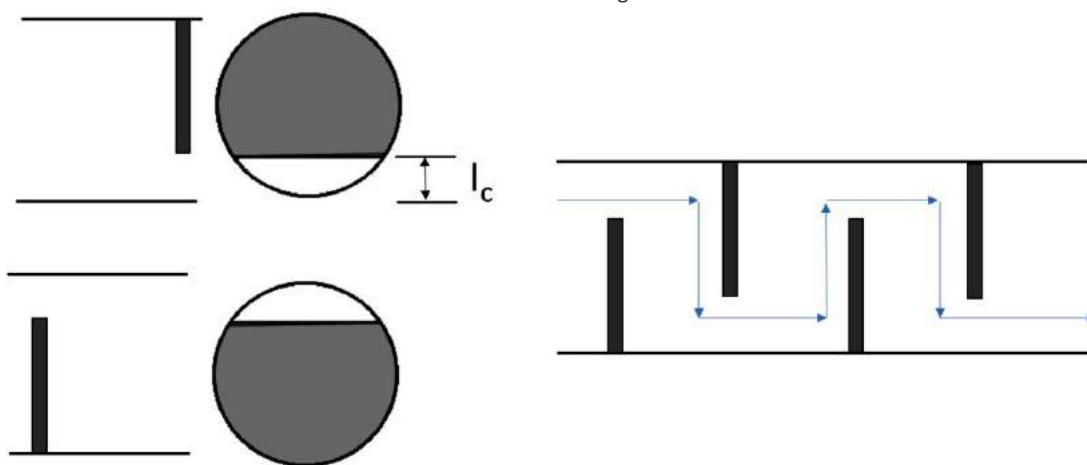
Há diferentes tipos de chicanas e a forma com que elas serão projetadas (com redução dos espaçamentos ou com aumento do número de chicanas) dependerá das suas aplicações. A função da chicana é direcionar o escoamento do fluido perpendicularmente ao tubo ou

paralelo a ele cruzando o feixe perpendicularmente várias vezes, seja de baixo para cima ou de lado a lado para que haja a maior troca de calor possível.

Dois tipos de chicanas são normalmente utilizados: segmental e duplamente segmental.

O corte da chicana para o tipo segmental é definido como sendo a razão entre o tamanho da abertura representado por I_c (parte branca do disco representado na figura 9) e diâmetro interno do casco, isto é, uma porcentagem do diâmetro interno do casco. Dizer que o corte de uma chicana é 30% significa que I_c/D_s (diâmetro interno do casco) é igual a 0,3. A variação do corte para chicanas segmentais oscila entre 15% a 40%, sendo o intervalo mais comum o de 20% a 30% sendo, geralmente, o valor em torno de 25% é o mais típico.

Figura 9. Disposição das chicanas para tipo segmental. Na figura observa-se o fluxo do fluido dentro do cilindro e a disposição das chicanas dispostas perpendicularmente para cima e para baixo. À esquerda observa-se a chicana vista de frente com seu corte de abertura da janela (I_c) representado em cor branca. À direita, observa-se a disposição das chicanas no cilindro. Para facilitar a visualização das chicanas, os tubos foram removidos da figura.



Fonte: Figura adaptada de Araujo, 2014.

Apesar das variações das chicanas serem bem grandes, os objetivos na utilização delas são diferentes. Veja, as chicanas por volta de 25% têm como objetivo garantir o fluxo cruzado através do feixe tubular; porém, quando as chicanas têm cortes maiores (48%, por exemplo), elas perdem o seu objetivo principal e acabam tendo como função somente o suporte adicional dos tubos.

Para as chicanas duplamente segmentais, o corte ocorre da mesma forma, porém, como há corte duplo, deve haver sobreposições de chicanas consecutivas para comportar, no mínimo, uma fileira de tubos pelas duas chicanas. Essas chicanas consecutivas têm por

finalidade prevenir problemas de vibração dos tubos. No caso de chicanas duplamente segmentais, o corte máximo permitido é de 30%, porém, esse corte normalmente varia entre 20% e 25%.

Um outro tipo de chicana, pouco usada ultimamente, é uma placa circular da qual o disco central é retirado, formando um disco e um anel que são colocados sequencialmente. A esse conjunto (disco e anel) é dado o nome de chicana disco e anel (*disc and doughnut*).

A chicana de orifício é constituída por placas circulares e sem cortes, na qual os orifícios por onde passam os tubos têm diâmetros maiores que os padrões definidos para as chicanas segmentares. Esse tipo de chicana também não é muito utilizado e tem muitos fatores negativos. Dentre esses fatores podemos destacar o fato do escoamento ocorrer praticamente paralelo ao feixe pois ocorre pelos espaços anulares formados entre cada tubo e seus orifícios correspondentes.

Trocadores de calor placas

Esse tipo de trocador é mais restrito, pois ele só pode ser uma opção se o fluido passar com pressão inferior a 30 atm, porém a sua resistência a essa pressão é muito baixa. Segundo Bell (1981), todos os trocadores resistem a 7 atm de pressão, porém, quando se aumenta a pressão, o número de trocadores de placas produzidos vai diminuindo, chegando a um ou dois tipos para trocadores com 25 atm.

Quanto à temperatura, também há restrições. A maioria dos trocadores de placas apresenta temperaturas baixas. Geralmente as temperaturas nesse tipo de trocador são inferiores a 180°C, porém há trocadores com placas produzidas com fibras de amianto, que podem trabalhar em temperaturas próximas a 260°C. Essas fibras têm baixa flexibilidade e, portanto, nem sempre são utilizáveis.

Outros fatores que precisam ser levados em conta na hora de se escolher esse tipo de trocador é a quantidade de gases ou de vapores durante o processo (com ou sem mudança de fase). A vazão máxima de operação é de 2500 m³/h com bocais até 400 mm.

Apesar das restrições impostas a esse tipo de trocador, ele tem algumas vantagens com relação aos trocadores de calor de tubos e casco. Algumas dessas vantagens são:

- » Facilidade na limpeza, acesso à superfície de troca e substituição de placas.
- » Flexibilidade na troca das placas.
- » Grande área de troca de calor em pouco espaço de instalação.

- » Opera com mais de dois fluidos diferentes.
- » As incrustações são menores.
- » Custo baixo.
- » Pequeno volume de fluido retido no trocador.

Esse tipo de trocador é bem simples e tem poucas partes. São elas:

- » Placas.
- » Juntas de vedação.
- » Bocais.
- » Placas conectoras.

Placas

Os principais materiais utilizados para a fabricação das placas são aço inox, titânio, ligas titânio-paládio, Incoloy 825, Hastelloy, Inconel 625, Diabon F, dentre outros. Essas placas são prensadas em diversos formatos (superfícies com corrugações), sendo os formatos “espinha de peixe” e “tábua de lavar roupa” os mais conhecidos. Essas superfícies com corrugações fornecem maior resistência à placa e causam maior turbulência aos fluidos em escoamento.

Juntas de vedação (Gaskets)

As juntas de vedação impedem que fluidos diferentes entrem em contato uns com os outros. Além disso, ela também direciona esses fluidos pelas placas do trocador. Como são feitas de materiais elastômeros, elas evitam vazamentos para o exterior.

Essas juntas podem ser feitas de muitos materiais diferentes. Abaixo apresentamos a tabela 15 com alguns materiais propostos por Saunders (1988) e por Araujo (2014).

Tabela 15. Alguns materiais utilizados para a produção de juntas de vedação.

Material	T _{máx} (°C)	Aplicações
Acrilonitrila-butadieno	135	Gorduras
Isobutileno-isopreno	150	Aldeídos, cetonas, alguns ésteres
Borracha de etileno-propileno (EPDM)	150	Grande variedade
Viton (fluorcarbono)	175	Combustíveis, óleos minerais, óleos vegetais e óleos animais

Fibra de amianto comprimido	260	Solventes orgânicos

Fonte: Saunders (1988), Araujo (2014).

Bocais

A função dos bocais é permitir a entrada e a saída dos fluidos pelo trocador. Eles podem estar dispostos em uma ou em ambas as extremidades do trocador e, embora a configuração vertical seja a mais usual, os bocais também podem ser colocados na vertical, interferindo no escoamento dos fluidos pelas placas.

Placas conectoras

As placas conectoras são conectadas aos trocadores de calor que possibilitam a troca de calor de três fluidos distintos sem que eles se misturem.

Esse tipo de placa é muito utilizado na indústria alimentícia principalmente em processos de pasteurização.

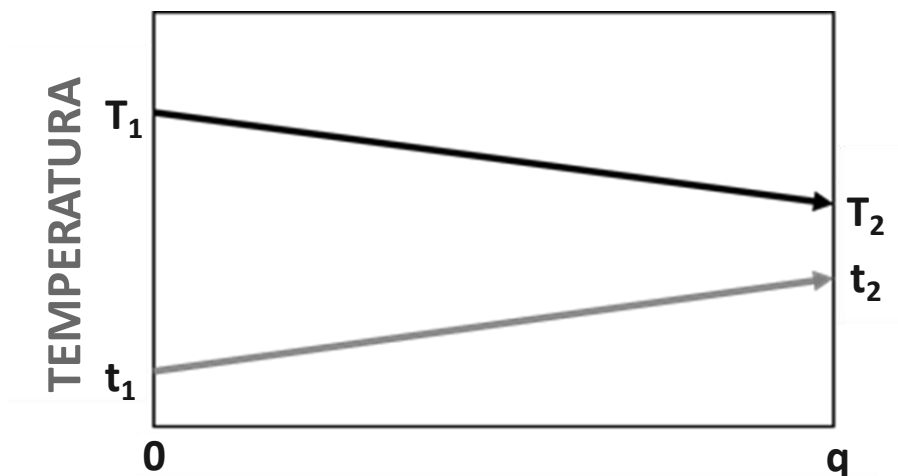
Trocadores de calor quanto ao tipo de corrente

Quanto ao tipo de corrente, os trocadores de calor podem ser paralelos (quando os fluidos seguem no mesmo sentido) ou contracorrente (quando os fluidos seguem em sentidos opostos).

Paralelo

Nesse processo os dois fluidos entram do mesmo lado do trocador com a maior diferença de temperatura entre eles (o fluido quente com a sua maior temperatura e o fluido frio com a sua menor temperatura). Ao passar pelo trocador, essas diferenças de temperatura tendem a diminuir, ficando bem próximas uma da outra. A figura 10 mostra o fluxo dos fluidos em corrente paralela.

Figura 10. Fluxo dos fluidos em uma corrente paralela. A figura mostra a variação de temperatura dos fluidos na entrada e na saída dos trocadores de calor. Observe que essa diferença de temperatura diminui com as trocas de calor.



Fonte: Figura adaptada de ARAUJO, 2014

A média logarítmica de diferenças de temperatura (MLDT) de um trocador de calor duplo tubo é dada pela seguinte equação:

$$MLDT = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2}}$$

onde:

MLDT = média logarítmica de diferenças de temperatura

T_1 = temperatura de entrada do fluido quente

T_2 = temperatura de saída do fluido quente t_1

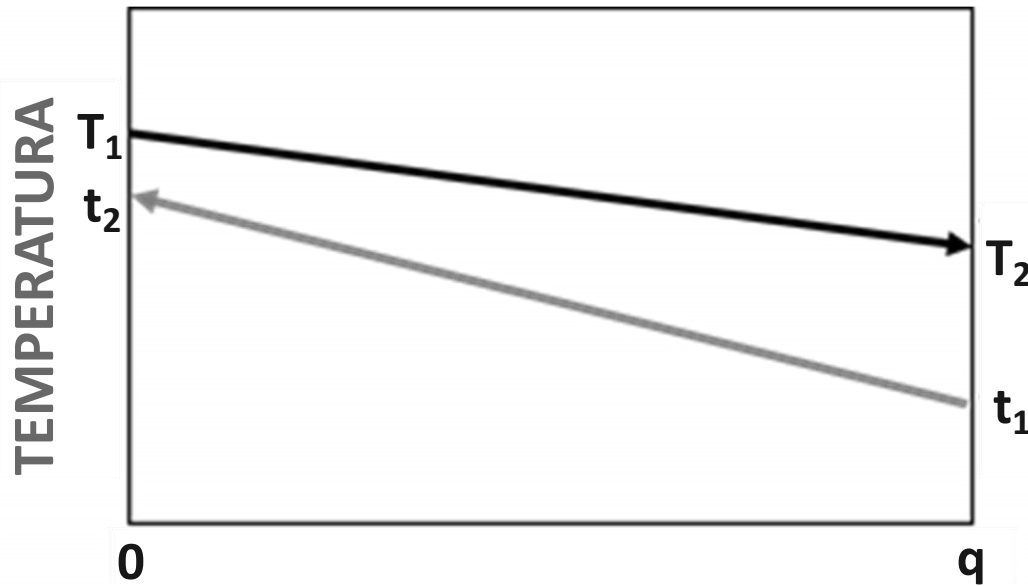
= temperatura de entrada do fluido frio t_2 =

temperatura de saída do fluido frio

Contracorrente

Nesse processo os fluidos entram em lados opostos no trocador e isso faz com que as trocas de calor sejam mais eficazes do que no trocador de calor em paralelo. Nesse tipo de trocador a temperatura do fluido frio pode ser maior do que a do fluido quente, o que torna esse sistema de trocas mais eficaz. A figura 11 mostra o fluxo dos fluidos em contracorrente.

Figura 11. Fluxo dos fluidos em contracorrente. A figura mostra a variação de temperatura dos fluidos na entrada e na saída dos trocadores de calor. Observe que essa diferença de temperatura diminui com as trocas de calor.



Fonte: Figura adaptada de ARAUJO, 2014

A média logarítmica de diferenças de temperatura (MLDT) em um trocador de calor duplo tubo em contracorrente é dada pela seguinte equação:

$$MLDT = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}}$$

onde:

MLDT = média logarítmica de diferenças de temperatura;

T_1 = temperatura de entrada do fluido quente;

T_2 = temperatura de saída do fluido quente; t_1

= temperatura de entrada do fluido frio; t_2 =

temperatura de saída do fluido frio.

CAPÍTULO 2

Adsorção e absorção

Processos envolvendo a separação de componentes em uma mistura são muito relevantes nas operações unitárias. Vimos vários processos envolvendo as separações de misturas sólidas, líquidas e gasosas. Agora veremos mais dois processos de separação, a adsorção e a absorção. Na adsorção temos um processo onde as partículas (átomos, moléculas ou íons) ficam retidas na superfície de um sólido por meio de interações físicas ou químicas. Na absorção, essas mesmas partículas são incorporadas ao sólido, penetrando em seu interior.

Veremos nesse capítulo um pouco mais sobre esses dois processos e as principais diferenças entre eles.

Contextualizando com o cotidiano

Adsorção

O processo de adsorção é bem conhecido na indústria e está presente em vários processos industriais como, por exemplo, para a separação de compostos em colunas de cromatografia onde muitas substâncias estão presentes em uma mistura e é necessário separá-las, ou, na limpeza de efluentes, onde o material adsorvente retira esses resíduos de um determinado meio.

A utilização de materiais adsorventes é muito comum e a cada dia é mais estudada em laboratórios de pesquisas em vários centros universitários e empresariais. O objetivo nesse tipo de pesquisa é utilizar um material biodegradável, por exemplo, que possa reagir com o efluente e degradá-lo junto com o material adsorvente. Isso seria de grande valia para a indústria e para a população de modo geral porque poderia retirar do meio ambiente uma grande quantidade de lixo.

Quando falamos de separação de misturas por adsorção podemos citar a separação de gases raros, como xenônio e criptônio, que é feita por adsorção a baixas temperaturas. Outros exemplos usando a adsorção para a separação de misturas gasosas é a recuperação de vapores de solventes valiosos arrastados pelos gases, a desodorização do gás carbônico, das bebidas, de esgotos, de cozinhas e sanitários ou do ar aspirado, bem como a realização de inúmeros fracionamentos de misturas de hidrocarbonetos leves. Além de gases com alto valor agregado, a indústria também utiliza a adsorção para remover umidade da

gasolina, por exemplo, ou branquear soluções de açúcar, de óleos vegetais e minerais. A secagem de gases por adsorção em sílica-gel é prática comum.

Embora o uso da adsorção seja muito conhecido na indústria, seu uso em operações unitárias é algo mais recente. Uma característica importante na adsorção, que a faz ser importante no estudo das operações unitárias é o seu alto grau de recuperação mesmo em soluções muito diluídas. Além disso, a eficiência nas separações por essa técnica supera todas as outras realizadas por transferência de massa.

É uma técnica muito usada quando há misturas muito diluídas, que são difíceis de serem separadas por destilação.

Absorção

A absorção tem muitas aplicações nas operações unitárias. Essas aplicações são vistas em diversos seguimentos industriais, tais como: indústrias petroquímicas, químicas e de alimentos; além de serem usadas também em empresas que trabalham com controle de poluição ambiental.

Esse processo é muito utilizado para a purificação de produtos obtidos após reações ocorridas nas indústrias, porém a absorção não se restringe apenas à purificação dos produtos, ela também está presente nos processos industriais, desde a preparação da matéria-prima até a transformação de insumos em produtos finais.

Alguns exemplos de uso de absorção são:

- » Produção de ácido clorídrico e ácido sulfúrico: a técnica da absorção é utilizada no final do processo para a obtenção desses gases.
- » Recuperação de produtos gasosos de misturas diluídas: pela absorção é possível recuperar gases, como é o caso da absorção da amônia na lavagem do gás de coque.
- » Indústria do petróleo: nesse caso a absorção é usada para retirar os produtos mais leves para a produção de gás natural.

Aplicação dos processos de adsorção e de absorção na indústria

Adsorção

A adsorção é um processo industrial baseado na operação de transferência de massa, com ou sem reação química, onde uma das fases é um sólido e a outra pode ser um líquido ou

um gás que interage de forma física (fisissorção) ou química (quimissorção) com o sólido. Esse tipo de processo industrial é utilizado para a separação de misturas (análise cromatográfica) ou para a purificação de correntes (purificação de gases e tratamento de resíduos industriais) (KO, 2003; PERUZZO, 2003).

Nessa técnica, para que a separação e a purificação sejam eficientes, o sólido é seletivo, ou seja, apenas o que se deseja separar fica adsorvido em sua superfície. A quantidade total adsorvida normalmente varia entre 5% e 30% do peso do sólido adsorvente, podendo chegar excepcionalmente a 50%. Um fator a ser considerado quando se trabalha com adsorção é a superfície de contato. Quanto maior a superfície de contato, mais partículas poderão ser adsorvidas. Por esse motivo, as partículas de um material adsorvente são, geralmente, porosas e esses poros são classificados, segundo a IUPAC, de acordo com o seu tamanho em: (GREGG; SING, 1982)

» Macroporos: diâmetro maior que 50 nm

» Mesoporos: diâmetros entre 2 e 50 nm

» Microporos: diâmetros inferiores a 2 nm

Além da superfície de contato, outros fatores são importantes quando se escolhe um sólido adsorvente:

» Alta capacidade de adsorção: quanto mais um adsorvente for capaz de adsorver o adsorvato, mais eficiente será o sistema, pois precisará de menos material para a separação dos fluidos.

» Reversibilidade de adsorção: materiais adsorventes que se ligam fortemente ao adsorvato são considerados um problema, pois precisarão de técnicas mais caras para a sua remoção. Na escolha do adsorvente deve-se levar em consideração o processo de dessorção (retirada do material que foi adsorvido). Geralmente esse material é dessorvido alterando-se a pressão e/ou a temperatura do meio. Pressão alta e temperatura baixa facilitam a adsorção, que é um fenômeno exotérmico, já a diminuição da pressão e o aumento da temperatura facilitam a dessorção (fenômeno endotérmico).

» Seletividade: a escolha do adsorvente deve se basear nos componentes da mistura. Ele deve ser eficiente para a separação do adsorvato de interesse, ou seja, não deve adsorver as outras substâncias presentes no meio.

- » Fácil regeneração: na produção não se pode perder tempo com a regeneração das colunas, portanto, o processo de dessorção e, consequentemente, de regeneração das colunas deve ser rápido e fácil.
- » Baixo custo: o adsorvente deve ser constituído de materiais mais baratos.
- » Insolubilidade: o adsorvente não pode ser arrastado na coluna de separação.
- » Boa resistência mecânica quando usado na forma de pérolas ou pellets.

Classificação da adsorção

Adsorção não específica ou eletrolítica

A adsorção não específica ocorre quando a superfície do adsorvente tem carga (íons) e o adsorvato tem carga oposta. Nesse caso, o adsorvato é atraído pela carga do adsorvente e fica fixado na superfície enquanto o restante da mistura sai do sistema (PARKS, 1975).

Nesse tipo de adsorção também podemos falar na permuta iônica, que é a troca de um determinado íon por outro em uma coluna recheada de material adsorvente. As resinas de permuta iônica podem ser usadas em várias aplicações industriais, tais como, hidrometalúrgicas e separações de produtos biológicos. Esse tipo de adsorção é física, na qual o adsorvente pode ser facilmente removido ao final da separação.

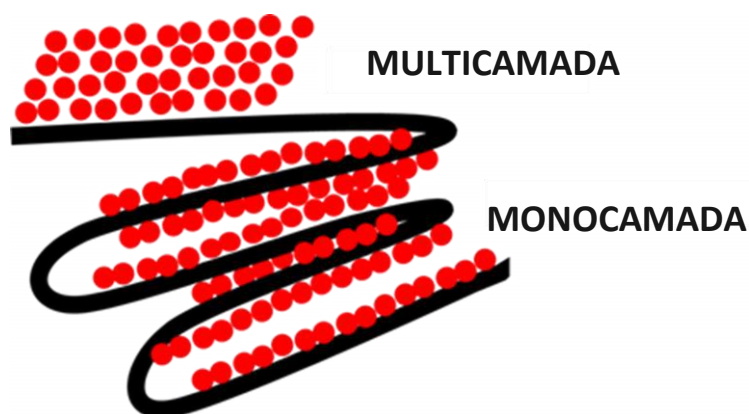
Adsorção específica

Esse tipo de adsorção pode ser tanto física quanto química. Nele a interação se dá por meio de afinidade entre a fase estacionária (adsorvente) e a fase móvel (adsorvato), sem que haja atração eletrostática. Essa adsorção ocorre de forma mais lenta e controlada e demora mais para atingir o ponto de equilíbrio (PARKS, 1975).

Adsorção física ou fisissorção

A adsorção física é um processo industrial de separação ou purificação de compostos por afinidade pela fase estacionária (adsorvente). Nesse processo as forças presentes são as de Van der Waals, o que permite a formação de apenas uma camada (monocamada) ou de várias camadas (multicamadas) (Figura 12). Por se tratar de uma atração por forças intermoleculares fracas, o adsorbato (substância que foi adsorvida no sólido) pode ser removido do adsorvente aumentando-se a pressão ou a temperatura após a separação.

Figura 12. Adsorção em monocamadas ou multicamadas. A figura mostra a superfície sólida (adsorvente) e a formação de monocamadas (uma camada) e multicamadas de adsorvato que podem ser líquidos ou gases.



Fonte: Figura de própria autoria.

Uma analogia para facilitar o entendimento desse processo seria pensar na adsorção como uma “condensação”, onde o adsorvato seria, por exemplo, o vapor d’água condensado em um vidro frio. Veja, isso é apenas uma analogia. Esse vapor fica retido ao vidro e pode ser facilmente removido. O mesmo ocorre com a adsorção física. Como as forças de Van der Waals são fracas, é fácil remover o adsorvente. Na indústria é muito importante que essa remoção seja fácil tanto para fins de seu aproveitamento, quanto para regenerar o adsorvente. Esse processo precisa ser econômico também, para que o processo seja financeiramente vantajoso.

Adsorção química ou quimissorção

Na adsorção química, as forças na superfície são tão altas que ocorrem ligações químicas covalentes. Nesse tipo de adsorção ocorrem reações químicas que não são úteis para as operações unitárias, porém são de grande interesse para processos catalíticos. Nesse tipo de adsorção, o material pode ser estruturado com catalisadores que aceleram a velocidade das reações. Esses catalisadores podem ser, inclusive, nanoestruturados, o que deixa a superfície de contato ainda maior.

Principais adsorventes

Muitos materiais podem ser utilizados como adsorventes, dentre eles podemos citar os exemplos abaixo:

- » Carvão ativado, usado para a remoção de poluentes orgânicos de líquidos e gases. Ele é um adsorvente hidrofóbico muito usado no controle de poluição por ser muito barato. Também é muito usado em casas como desodorizador de ambientes (geladeiras, por exemplo).
- » Peneira molecular de carbono (PMC): usada para a separação de ar. Muito usada para a separação de O_2 em misturas com N_2 .

- » Sílica-gel: é um adsorvente de alta capacidade hidrofílica, muito usado para secagem de ar e outros gases.
- » Peneira molecular de zeólitas (PMZ): usada para a desidratação, separação de ar e separação de moléculas baseada em tamanho e forma. É bem específica, porém, a sua capacidade adsotiva é menor, se comparada com outros adsorventes.

Absorção

Na absorção (*“scrubbing”*), ao contrário do que ocorre na adsorção, o solvente (fase móvel) é inserido no soluto (fase fixa), de forma a ficar retido em seu interior e não apenas na sua superfície. Industrialmente, a absorção gasosa é uma operação unitária que envolve vários componentes de uma mistura gasosa de alimentação. Nela a remoção de um ou mais componentes de uma mistura gasosa ocorre por contato com uma corrente líquida onde esses componentes se dissolvem. Após o soluto ficar carregado pelo solvente que foi absorvido, esse processo precisa ser revertido. Para isso, utiliza-se a técnica da desabsorção (*“desorption”* ou *“stripping”*). Nesse processo, o gás que ficou retido passa novamente para a fase gasosa e é arrastado por um gás inerte.

Essa é uma técnica muito parecida com a destilação, porém, no processo de destilação temos um líquido que é aquecido até a fase gasosa e esse gás passa por um condensador e se condensa. No caso da absorção, a mistura toda está na fase gasosa, então utilizam-se pratos com o material absorvente por onde irão passar os gases e, os gases específicos serão retidos deixando passar os demais.

Aplicação industrial

A absorção é muito utilizada na indústria para produção, separação e a purificação de misturas gasosas. Também é bastante usada para a remoção de contaminantes gasosos em processos de proteção ambiental e na concentração de gases.

Quando falamos na produção de gases, a técnica da adsorção pode ser usada para a produção de H_2S , H_2SO_4 , HCl , HNO_3 , H_3PO_4 , NH_3 , além de formaldeídos, dentre outros gases. Quando falamos na remoção de separação, podemos citar a remoção de amônia da água. Também pode-se utilizar a técnica para a separação de hidrocarbonetos de baixo peso molecular. Na área ambiental, pode-se remover, por exemplo o benzeno (composto mutagênico e carcinogênico) de águas residuais ou remover compostos tóxicos ou de odor desagradável do petróleo nas refinarias.

Referências

ARAUJO, E. C. da C., **Operações unitárias envolvendo transmissão de calor**, São Carlos: EdUFSCar, 2013.

_____. **Trocadores de calor**. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

BELL, K. J. **Construction features of shell and tube heat exchangers**. In: KAKAÇ, S.; BERGLES, A. E.; MAYINGER, F. (Eds.), **Heat exchangers: termal-hidraulic fundamentals and design**. Hemisphere Publishing Corp., Washington, 1981.

BLACKADDER, D. A.; NEDDERMAN, R. M. **Manual de Operações Unitárias**. Londres: Hemus, 2004.

BOHORQUEZ, W. O. I. **Trocadores de calor**. UFJF/Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica. Disponível em: <http://www.ufff.br/washington_irrazabal/files/2014/05/Aula-23_Trocadores-de-Calor.pdf>. Acesso em: 5/6/2018.

CDC Equipamentos. **Trocadores de calor**. Disponível em: <<https://www.cdcequipamentos.com/tipos-de-trocador-de-calor.html?locale=pt>>. Acesso em: 10/6/2018.

COX, M.; FLETT, D.S. Metal extractant chemistry. In: LO, T.C.; BAIRD, M.H.I., HANSON, C. (Coord.). **Handbook of solvent extraction**. USA: John Willey and Sons, 1983.

GAUTO, M. A., ROSA, G. R., **Processos e operações unitárias da Química Industrial**, Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2011.

GOMIDE, R., **Operações Unitárias – Separações Mecânicas**, 3º Volume, São Paulo: R. Gomide, 1980.

GREGG, S. J.; SING, K. S. W. **Adsorption, Surface Area and Porosity**. 2. ed. London: Academic Press, 1982.

FOUST, A. S. *et al.* **Princípios das Operações Unitárias**. Ed. Guanabara, 1982.

KERN, D. Q. **Processos de transmissão de calor**. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1980.

REFERÊNCIAS

KERN, D. Q. **Processos de Transmissão de Calor**. Ed. Guanabara Koogan S.A., Rio de Janeiro, 1987.

KO, D. C. K. et al. **Applications of Multipore Model for the Mechanism Identification During the Adsorption of Dye on Activated Carbon and Bagasse Pith.** Langmuir, v. 19, 2003.

Lopes, Roberto Precci; Souza e Silva, Juarez; Rezende, Ricardo Caetano. **Princípios Básicos de Psicrometria.** Disponível em: <<ftp://ftp.ufv.br/dea/Disciplinas/Evandro/Eng671/Aulas/Aula03-1-Principios%20basicos%20de%20psicrometria.pdf>>. Acesso em: 10/7/2018.

MACHADO, W. R. C. **Operações Unitárias II.** UFMT/Instituto Universitário do Araguaiana. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAfxbwAJ/trabalho-trocadores-calor-a-placas>>. Acesso em: 4/6/2018.

MECÂNICA DE FLUÍDOS 1, Disponível em: <http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_autom_ind/mec_fluido/161012_mec_fluidos.pdf>. Acesso em: 4/6/2018.

MECÂNICA DE FLUÍDOS 2, Disponível em: <<http://www.engbrasil.eng.br/pp/mf/mef.pdf>>. Acesso em: 4/6/2018.

OPERAÇÕES UNITÁRIAS, Disponível em: <https://www.cintegrado.com.br/site/documentos/Operacoes_Unitarias_09-2013.pdf>. Acesso em: 5/6/2018.

PARKS, G. A. **Adsorption in the Marine Environment.** In: SKIRROW, G.; RILEY J. P. (Ed.) Chemical Oceanography. 2. ed. New York: Academic Press, v. 1, 1975.

PERRY, R.H.; CHILTON, C.H. **Manual de Engenharia Química**, 5ª edição. Ed. Guanabara Dois S.A., Rio de Janeiro, 1980.

PERUZZO, L.C. **Influência de agentes auxiliares na adsorção de corantes de efluentes da indústria têxtil em colunas de leito fixo.** Dissertação - Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

Projeto termo-hidráulico de trocadores de calor tipo casco e tubos. Disponível em: <<http://essel.com.br/cursos/material/o3/CAP5A.pdf>>. Acesso em: 5/6/2018.

SAUNDERS, E. A. D. **Heat exchangers: selection, design and construction.** Harlow, Longman Scientific & Technical, 1988.

SILVA, Juarez de SOUZA. **Secagem e armazenagem de produtos agrícola.** Ed. Aprenda Fácil. Viçosa. 2008.

TEMA **Standards of tubular exchanger manufacturers Association**. 9ª edição, Nova York, 2007. Disponível em: <<http://www.daboosanat.com/images/pdf/Standard/Standards-of-the-Tubular-Exchanger-Manufacturers-Association.TEMA.-9th-Edition.-2007.pdf>>. Acesso em: 5/6/2018.

TERMO-TEK® **Trocadores de calor**. Disponível em: <<http://www.termotek.com.br/trocador-calor-recuperador>>. Acesso em: 5/6/2018.

Evaporadores 1. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=X45veCvvcgs&t=10s>>. Acesso em: 5/6/2018.

Destilação 1. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=D4AWBOsTDSc>>. Acesso em: 5/6/2018.

Destilação 2. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=LLgf-LWkSLI>>. Acesso em: 5/6/2018.

Destilação 3. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=mzKor2Ob1O8>>. Acesso em: 5/6/2018.

Destilação 4. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=JNzFlMPG6lo>>. Acesso em: 5/6/2018.

Destilação 5. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ruxxg6oLYew>>. Acesso em: 5/6/2018.

Destilação 6. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=u98sWo4a264>>. Acesso em: 5/6/2018.

Secagem 1. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=GICyfDKqjio>>. Acesso em: 5/6/2018.

Secagem 2. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=oGkNRkxkPhQ>>. Acesso em: 5/6/2018.

Psicrometria: <<https://www.youtube.com/watch?v=NHJDzYohbNI>>. Acesso em: 5/6/2018.

Animação de Flash Dryer: <<https://www.youtube.com/watch?v=Z8jI7wma8lE>>. Acesso em: 27/8/2018.

Processo de Secagem spray: <<https://www.youtube.com/watch?v=3DZr5cOgWEg>>.

Acesso em: 27/8/2018.



Segurança nas Indústrias Químicas

Brasília-DF.

Elaboração

Silvia Barreira Zambuzi

Atualização

Caio Augusto Magalhães

Produção

Equipe Técnica de Avaliação, Revisão Linguística e Editoração

Sumário

APRESENTAÇÃO	5
ORGANIZAÇÃO DO CADERNO DE ESTUDOS E PESQUISA	6
INTRODUÇÃO.....	8
UNIDADE I	
RISCOS AMBIENTAIS	11
CAPÍTULO 1	
RISCOS	11
CAPÍTULO 2	
LEGISLAÇÃO APLICADA E NORMAS TÉCNICAS	19
CAPÍTULO 3	
CONCEITOS BÁSICOS DE GERENCIAMENTO DE RISCO	28
CAPÍTULO 4	
RELAÇÃO ENTRE EIA-RIMA, EAR E PGR	39
UNIDADE II	
AVALIAÇÃO DE RISCOS TECNOLÓGICOS	41
CAPÍTULO 1	
AVALIAÇÃO DE RISCOS TECNOLÓGICOS E POTENCIAL PARA OCORRÊNCIA DE CRISES	41
CAPÍTULO 2	
LEIS E NORMAS SOBRE RISCOS: A NORMA TÉCNICA P4.261	50
UNIDADE III	
MÉTODOS DE ANÁLISE DE RISCOS AMBIENTAIS	58
CAPÍTULO 1	
ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGO (APP) OU ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS (APR)	60
CAPÍTULO 2	
HAZOP (<i>HAZARD AND OPERABILITY STUDIES</i>)	68
CAPÍTULO 3	
OUTROS MÉTODOS DE ANÁLISE DE RISCO	81
UNIDADE IV	
GERENCIAMENTO DE RISCO	89
1	CAPÍTULO 1

ELABORAÇÃO DE PLANOS DE RISCO	89
CAPÍTULO 2	
ESTUDOS DE ANÁLISE DE RISCOS (EAR) E O GERENCIAMENTO DE RISCOS	100
PARA (NÃO) FINALIZAR	133
REFERÊNCIAS	138

Apresentação

Caro aluno

A proposta editorial deste Caderno de Estudos e Pesquisa reúne elementos que se entendem necessários para o desenvolvimento do estudo com segurança e qualidade. Caracteriza-se pela atualidade, dinâmica e pertinência de seu conteúdo, bem como pela interatividade e modernidade de sua estrutura formal, adequadas à metodologia da Educação a Distância – EaD.

Pretende-se, com este material, levá-lo à reflexão e à compreensão da pluralidade dos conhecimentos a serem oferecidos, possibilitando-lhe ampliar conceitos específicos da área e atuar de forma competente e conscienciosa, como convém ao profissional que busca a formação continuada para vencer os desafios que a evolução científico-tecnológica impõe ao mundo contemporâneo.

Elaborou-se a presente publicação com a intenção de torná-la subsídio valioso, de modo a facilitar sua caminhada na trajetória a ser percorrida tanto na vida pessoal quanto na profissional. Utilize-a como instrumento para seu sucesso na carreira.

Conselho Editorial

Organização do Caderno de Estudos e Pesquisa

Para facilitar seu estudo, os conteúdos são organizados em unidades, subdivididas em capítulos, de forma didática, objetiva e coerente. Eles serão abordados por meio de textos básicos, com questões para reflexão, entre outros recursos editoriais que visam tornar sua leitura mais agradável. Ao final, serão indicadas, também, fontes de consulta para aprofundar seus estudos com leituras e pesquisas complementares.

A seguir, apresentamos uma breve descrição dos ícones utilizados na organização dos Cadernos de Estudos e Pesquisa.



Provocação

Textos que buscam instigar o aluno a refletir sobre determinado assunto antes mesmo de iniciar sua leitura ou após algum trecho pertinente para o autor conteudista.



Para refletir

Questões inseridas no decorrer do estudo a fim de que o aluno faça uma pausa e reflita sobre o conteúdo estudado ou temas que o ajudem em seu raciocínio. É importante que ele verifique seus conhecimentos, suas experiências e seus sentimentos. As reflexões são o ponto de partida para a construção de suas conclusões.



Sugestão de estudo complementar

Sugestões de leituras adicionais, filmes e sites para aprofundamento do estudo, discussões em fóruns ou encontros presenciais quando for o caso.



Atenção

Chamadas para alertar detalhes/tópicos importantes que contribuam para a síntese/conclusão do assunto abordado.

6



Saiba mais

Informações complementares para elucidar a construção das sínteses/conclusões sobre o assunto abordado.



Sintetizando

Trecho que busca resumir informações relevantes do conteúdo, facilitando o entendimento pelo aluno sobre trechos mais complexos.



Para (não) finalizar

Texto integrador, ao final do módulo, que motiva o aluno a continuar a aprendizagem ou estimula ponderações complementares sobre o módulo estudado.

Introdução

Os riscos são ações inerentes à atividade humana. A evolução da sociedade, e de suas atividades, sempre esteve ligada à exposição dos seres humanos aos riscos e perigos, desde as atividades mais antigas de caça e pesca, incluindo os equipamentos desenvolvidos para tal, até as atividades industriais modernas – desenvolvidas a partir da Revolução Industrial.

O aumento constante da produção industrial levou a um aumento da exposição aos riscos. Por isso, o gerenciamento destes tornou-se algo necessário para controlá-los e minimizá-los de maneira a reduzir lesões, incapacidades, mortes e danos materiais para níveis mínimos aceitáveis.

Neste material, discutiremos a necessidade e as formas de gerenciamento de riscos, e a elaboração dos Planos de Riscos existentes, visando operacionalizar um processo de atendimento a acidentes – naturais e tecnológicos – com base na legislação, em convenções internacionais e em planos desenvolvidos por empresas.

Na primeira unidade deste material, retomaremos a conceituação de risco e faremos uma revisão de leis, normas e órgãos que envolvem a análise desses riscos, especialmente enfatizando a importância da Defesa Civil como agente de ações preventivas em todo o país.

Na segunda unidade, focaremos na introdução do gerenciamento de riscos ambientais e em como identificar esses perigos. Nessa unidade, será possível aprender também o processo de mapeamento desses riscos, seja nas grandes empresas, seja na área de políticas públicas, defesa civil e seus respectivos processos destrutivos.

Por fim, na terceira unidade, veremos sobre um tema de grande interesse, principalmente para as empresas modernas e para a sociedade em geral, que é o planejamento das ações de emergência (especialmente importante para os casos em que os efeitos dos riscos que causam acidentes possam extrapolar os limites da própria empresa e causar danos à sociedade e ao meio ambiente). Para isso, o desenvolvimento de um Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) e de um Plano de Ação de Emergência (PAE) será indicado. Embora esses dois sejam indicados muitas vezes como dois programas independentes, o PAE pode ser considerado como um dos elementos de um PGR.

Esperamos que este material seja importante para a compreensão do assunto e para a trajetória do seu conhecimento.

Bons estudos!

Objetivos

- » Estudar a conceituação do termo risco.
- » Conhecer os riscos ambientais e suas consequências.
- » Conhecer as principais legislações aplicadas ao meio ambiente e ao gerenciamento dos riscos ambientais.
- » Aprender a elaborar Planos de Risco.
- » Conhecer as principais ferramentas de análise e Gestão de Riscos e

Emergências Ambientais.

- » Montar Planos de Gestão de Riscos Ambientais.
- » Conhecer os principais riscos ambientais e as formas de remediação de suas consequências.

RISCOS AMBIENTAIS

UNIDADE I

Nesta primeira unidade, faremos uma introdução sobre o risco, a partir de uma análise dos significados do termo.

O primeiro capítulo traz as principais conceituações sobre risco e esclarece alguns conceitos importantes para compreensão da disciplina e do modelo de gerenciamento proposto pela ONU, que será visto adiante.

O segundo capítulo focaliza na legislação vigente e nas políticas públicas de prevenção de riscos socioambientais, tanto nas esferas públicas (federal, estadual e municipal) quanto no âmbito não governamental.

CAPÍTULO 1

Riscos

Os estudos relacionados aos riscos ambientais vêm sendo desenvolvidos em vários setores. A palavra risco refere-se à probabilidade de ocorrência de processos no tempo e no espaço, não constantes e não determinados, e à maneira como esses processos afetam (direta ou indiretamente) a vida humana. Dessa forma, podemos afirmar que a origem dos riscos, assim como o aumento da capacidade de gerar danos e de sua escala de abrangência, acompanha a história da sociedade humana.

O risco pode ser qualificado como ambiental, social, tecnológico, natural, biológico, entre tantas outras definições. Podemos distinguir, inicialmente, três principais abordagens: a primeira está relacionada às Geociências, com enfoque em processos catastróficos e rápidos; a segunda abordagem, aos chamados riscos tecnológicos e sociais; e a terceira, aos riscos empresariais e financeiros.

É importante lembrar que as noções de risco, de ameaça e de vulnerabilidade são utilizadas em diversos campos disciplinares distintos, o que dificulta o consenso em definições sobre tais termos. Por isso, as interpretações e discussões sobre o assunto são inúmeras e distintas.

Entretanto, essa pluralidade e, em alguns casos, a falta de rigor conceitual têm se mostrado comprometedoras no caso da investigação dos riscos ambientais, já que dificultam o diálogo entre os diferentes saberes envolvidos, sobretudo entre as ciências naturais e as ciências humanas.

A noção de risco nas geociências, por exemplo, é conceituada como um produto da probabilidade de ocorrência de um fenômeno natural indutor de acidentes pelas possíveis consequências que serão geradas (perdas econômicas ou sociais) em uma dada comunidade. Com base nessa ideia, a expressão $R \text{ (risco)} = P \text{ (probabilidade)} \times C \text{ (consequências)}$ e suas derivações são difundidas por vários autores no Brasil e no exterior.

Alguns autores, entretanto, entendem que a situação de risco é caracterizada pela existência ou pela interação de dois elementos: a ameaça e a vulnerabilidade. A ameaça está diretamente relacionada às condições físico-naturais do terreno ou da área ocupada, por exemplo, indicando sua maior ou menor suscetibilidade à ocorrência de fenômenos que podem colocar o ser humano em situações de perigo em potencial, como nos casos de escorregamento, inundações, terremotos, furacões etc., já a vulnerabilidade está relacionada às condições objetivas e subjetivas de existência, que originam ou aumentam a predisposição de uma comunidade ou ser humano a ser afetada pelos possíveis danos decorrentes de uma ameaça (CAMPOS, 1999).

Atualmente, é possível pensar em Risco como algo associado à probabilidade de acontecer um evento indesejado. Assim, deve-se entender que **perigo é uma propriedade intrínseca de uma situação, ser ou coisa, e não pode ser controlado ou reduzido**. Por outro lado, o **risco sempre pode ser gerenciado, atuando-se na sua frequência de ocorrência, nas consequências ou em ambas**. Para uma empresa e/ou indústria, é uma medida de perda econômica e/ou danos à vida humana (nesse caso, fatalidades) resultante da combinação entre: frequência de ocorrência de um evento indesejável e magnitude das perdas ou danos, ou seja, suas consequências.

Internacionalmente, podemos considerar a classificação da Estratégia Internacional de Redução de Desastres (EIRD – *International Strategy for Disaster Reduction*), criada

em 1999, pela Organização das Nações Unidas (ONU), para assegurar sinergias entre as atividades das Nações Unidas e Organizações Regionais em torno da redução de desastres e atividades nos campos socioeconômicos e humanitários. Essa Estratégia estrutura-se em torno de três conceitos fundamentais: perigos naturais, vulnerabilidade e risco.

- » Perigos naturais: fenômenos como terremotos, vulcões, tsunamis, ciclones, incêndios florestais, pragas, entre outros.
- » Vulnerabilidade: é definida em função das ações e do comportamento humano. O grau de vulnerabilidade é determinado por fatores que incluem a consciência da população acerca desses perigos, as condições de vida nos assentamentos humanos e a infraestrutura existente, as políticas e a administração públicas, e as habilidades organizativas em todos os campos relacionados com a gestão de desastres. A pobreza, é importante dizer, também pode ser considerada uma das principais causas da vulnerabilidade.

O desastre natural deve ser entendido como uma consequência do impacto de um perigo natural em um sistema com determinado nível de vulnerabilidade. A EIRD inclui os desastres tecnológicos e ambientais somente quando são causados por perigos naturais. Desse modo, a expressão “perigos naturais e desastres tecnológicos ou ambientais” descreve situações em que os desastres de origem natural se combinam com a ocorrência de danos tecnológicos e ambientais.

- » Risco: o valor do risco depende da avaliação da vulnerabilidade e da predição do impacto, levando em consideração as margens que definem um risco aceitável em determinada comunidade.

A EIRD classifica os riscos em três categorias principais:

- » riscos naturais;
- » riscos tecnológicos;
- » riscos de degradação ambiental.

Os chamados riscos naturais são os provenientes dos fenômenos da natureza, que podem resultar em danos. Esses riscos são classificados a partir da sua origem, podendo ser geológicos, hidrometeorológicos ou biológicos. Os riscos geológicos são

relacionados às atividades de movimentação de massa, podendo ser endógenas ou exógenas, como os deslizamentos, as erupções vulcânicas, os maremotos e os terremotos. Já os riscos hidrometeorológicos podem ser fenômenos atmosféricos, pluviais ou oceânicos, como as chuvas, as tempestades, as inundações, as avalanches de neve, o processo de desertificação, as secas, os incêndios florestais, entre outros.

O último dos riscos naturais é classificado como biológico e tem procedência orgânica, como exposição a patologias ou toxinas, como as epidemias, as infestações e o contágio.

Os riscos tecnológicos são os associados a acidentes e falhas que causam perdas e danos à sociedade e ao ambiente, como poluição, radioatividade, acidentes de transportes, incêndios, explosões, acidentes em obras civis, dentre outros.

Os riscos de degradação ambiental, às vezes confundidos com os riscos naturais, são frutos da ação destrutiva do homem, como desflorestamento, mudanças climáticas, extinção da biodiversidade, depleção do ozônio, entre outros.



Entre outras ações, a **EIRD** é responsável pela coordenação dos Esforços Internacionais na Redução de Risco de Desastres, trabalhando para guiar, monitorar e informar o progresso na implementação do **Marco de Ação de Hyogo (MAH)**.

O MAH é um importante instrumento de ação na Implementação da Redução de Riscos de Desastres adotado pelos Estados-Membros das Nações Unidas. O principal objetivo do MAH é aumentar a resiliência das nações e comunidades diante de desastres, buscando, assim, a redução das perdas ocasionadas por desastres, de vidas humanas, bens sociais, econômicos e ambientais.

Esse Marco de Ação de Hyogo oferece cinco áreas prioritárias para a tomada de ações e medidas para reduzir vulnerabilidades:

- » reduzir o risco de desastre, que deve ser uma prioridade;
- » conhecer o risco e adotar medidas;
- » desenvolver maior compreensão e conscientização;
- » reduzir o risco;

- » preparar para uma resposta eficaz em caso de desastres, em todos os níveis.

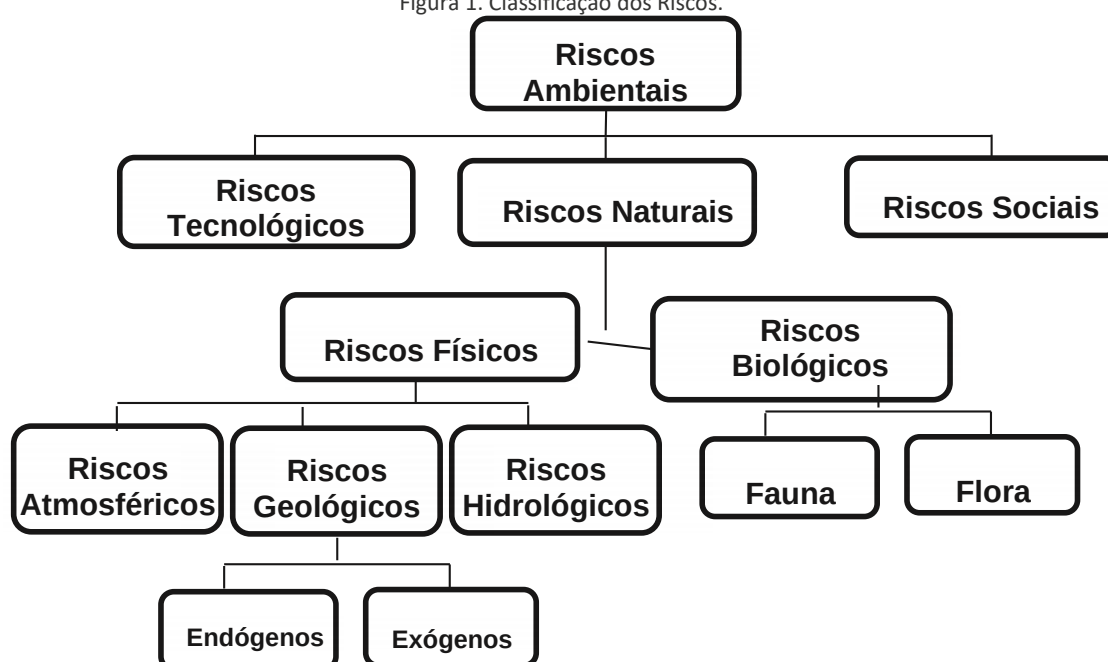
Segundo Souza e Zanella (2009), os riscos devem ser tratados como um resultado da relação entre a ameaça e a vulnerabilidade, que apresentam dependências entre si.

A noção de risco se estabelece com base na relação conflituosa entre o homem e o seu ambiente, em um processo de mútua influência. Portanto, deve-se procurar também rejeitar a ideia maniqueísta da existência de um evento natural agressor atuando sobre uma sociedade que, por sua vez, é tida como vítima.

Cerri e Amaral (1998) propõem uma classificação para os riscos ambientais, apresentada na Figura 1. Tal classificação parte do princípio de que os riscos ambientais constituem a maior classe dos riscos que, por sua vez, são subdivididos em classes e subclasses.

Entretanto, existem muitas outras formas de classificação dos riscos. Na Política Nacional de Defesa Civil, por exemplo, a classificação considera também a evolução dos fenômenos (de natureza súbita, gradual etc.) e a intensidade ou porte do possível acidente, adicionalmente à origem da ameaça (de ordem natural, de ordem humana ou mista).

Figura 1. Classificação dos Riscos.



Fonte: Adaptado de Cerri e Amaral (1998).

A classificação é semelhante ao proposto pela EIRD. Segundo os autores, entre os riscos tecnológicos estão os vazamentos de produtos tóxicos, os acidentes nucleares, as explosões de material inflamável etc.

No grupo dos riscos sociais encontram-se os riscos ligados ao terrorismo, às guerras, aos sequestros, aos homicídios, entre outros.

Os riscos naturais podem envolver tanto os riscos físicos quanto os riscos biológicos. Os riscos naturais físicos estão organizados em três outros grupos menores: riscos atmosféricos (furacões, tornados etc.), riscos geológicos (terremotos, escorregamentos etc.) e riscos hidrológicos (inundações etc.). Os riscos biológicos são divididos em riscos ligados à flora (pragas em lavouras etc.) e em riscos ligados à fauna (epidemias etc.).

Os riscos geológicos podem ser de dois tipos: decorrentes de processos exógenos (escorregamentos, quedas, fluxos etc.) ou decorrentes de processos endógenos (terremotos, erupções vulcânicas etc.).

Contudo, embora alguns processos possam estar operacionalmente inseridos no campo dos riscos naturais, muitos deles têm sua origem ou agravamento sob condições de influência humana, especialmente quando se manifestam em áreas urbanas.

Conceitos importantes

Para prosseguirmos com o estudo do Gerenciamento de Planos de Risco Ambiental, é importante conhecermos alguns termos definidos e ilustrados pelo Ministério das Cidades (2008):

» **Evento** – fenômeno natural já ocorrido, sem perdas sociais e/ou econômicas.

» **Acidente ou desastre** – resultado de processos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um sistema vulnerável, causando danos humanos, ambientais e/ou materiais e consequentes prejuízos econômicos e sociais.

» **Perigo** – situação de ameaça potencial a pessoas, bens ou ambiente, com ênfase nos fatores condicionantes do processo.

Figura 2. Formação de furacão na atmosfera.



Fonte: OHG (2015). Disponível em: <<http://obshistoricogeo.blogspot.com.br/2015/06/a-formacao-dos-furacoes-o-maiorevento.html>>.

- » **Risco** – possibilidade de danos causados por eventos físicos, fenômenos da natureza ou atividade humana, que podem resultar em perdas de vidas, ferimento, danos à propriedade, rupturas sociais e econômicas ou degradação ambiental.
- » **Susceptibilidade** – característica inerente ao meio, que expressa a probabilidade de ocorrência de eventos ou acidentes.
- » **Vulnerabilidade** – predisposição de um sujeito, sistema ou elemento, ser afetado por ocasião de um acidente.
- » **Análise de riscos** – técnica de avaliação que caracteriza os eventos potencialmente perigosos, sua frequência, e define condições espaciais e temporais para a sua ocorrência, indicando a probabilidade de danos.
- » **Gerenciamento de risco** – conjunto de ações voltadas para a redução e o controle do risco.

- » **Tipos de risco** – forma de agregação que tem por base a natureza do processo gerador, como risco geológico, risco ambiental, risco topográfico, risco natural, risco induzido etc.
- » **Fatores de risco** – elementos ou características que contribuem para a composição do risco, como declividade, litologia, uso do solo, chuvas etc.

Figura 3. Declividade, chuvas e desmatamento são fatores que contribuem para o risco.



Fonte: Nitahara (2012). Disponível em: <<http://www.ebc.com.br/2012/11/ibge-apanas-62-dos-municipios-tem-plano-de-reducao-de-riscos-de-desastres-naturais>>.

- » **Grau de risco** – dimensiona a probabilidade de ocorrência de acidentes, segundo uma escala de intensidade. Usualmente vêm sendo adotados quatro intervalos (1 – Risco Baixo; 2 – Risco Médio; 3 – Risco Alto; 4 – Risco Muito Alto).
- » **Setor de risco** – porção do território, analisado em escala de detalhe (>1: 5.000), que apresenta características similares quanto ao processo gerador de desastres e quanto à sua probabilidade de ocorrência. São mapeados como polígonos fechados, aos quais são atribuídos os graus de risco (1 – Risco Baixo; 2 – Risco Médio; 3 – Risco Alto; 4 – Risco Muito Alto).
- » **Mapa de risco** – mapa no qual são lançados os resultados da análise de risco, com os setores de risco delimitados e codificados por cores semafóricas (risco baixo – verde; médio – amarelo; alto – vermelho; muito alto – roxo).
- » **Cadastro de risco** – conjunto de informações sistematizadas sobre moradias em situação de risco, constando de informações sobre: localização e condições da edificação, nomes dos ocupantes e dados que permitam avaliar sua

vulnerabilidade frente a um possível acidente, além de outros dados cadastrais de interesse para a Defesa Civil. Essas informações deverão ser armazenadas em planilhas digitais; e as moradias, localizadas em mapa, para facilitar a visualização espacial dos problemas na área.

Legislação aplicada e normas técnicas

Existem, em todo o mundo, diversas normas e leis que tratam da questão dos riscos. Mais do que tratar de riscos, é importante apontar que muitas são as regulamentações existentes não só apenas ao chamado Gerenciamento de Risco, mas para todo o Sistema Integrado de Saúde, Segurança e Meio Ambiente, no qual a área de gerenciamento de risco está diretamente ligada.



O que é um SGI?

O Sistema de Gestão Integrada (SGI) é basicamente a combinação de processos, procedimentos e práticas adotadas por uma organização, com o objetivo de implementar políticas e atingir os objetivos pretendidos de forma mais eficiente, em vez de utilizar múltiplos sistemas de gestão de forma individualizada. Permite, assim, integrar de forma mais eficiente, nas operações do dia a dia das empresas, os aspectos e objetivos da qualidade, do desempenho ambiental, da responsabilidade social, da saúde e segurança ocupacional, entre outros setores.

A grande vantagem do sistema integrado é a possibilidade de utilização de vários elementos comuns à gestão de cada um dos itens, o que evita a duplicação de procedimentos da empresa.

Normas e Legislações

Existem diversas normas internacionais que tratam da questão dos sistemas de gestão, entre as quais as mais conhecidas são as da ISO, para qualidade e meio ambiente, e a da OHSAS, para as questões de saúde e segurança.

Nos EUA, por exemplo, há ainda a norma do API (*American Petroleum Institute*), que não é considerada uma exigência legal, mas uma prática recomendada da instituição para os seus membros. Já as regulamentações da EPA (*Environmental Protection Agency*) e OSHA (*Occupational Health and Safety Administration*) são instrumentos legais que obrigam as empresas sob as respectivas autoridades das agências governamentais a implementarem o sistema. Existe grande sobreposição dos dois sistemas (EPA e OSHA), mas também algumas diferenças. De modo geral, esses dois sistemas se complementam, com o da EPA, que enfatiza os perigos que podem trazer

danos às comunidades vizinhas, e o da OSHA, que enfatiza os perigos que podem trazer danos à saúde e à vida dos trabalhadores da empresa (VERITAS, 2006).

No Brasil, a legislação e a normatização do gerenciamento de risco estão também relacionadas ao licenciamento ambiental de empreendimentos com potencial geração de riscos e impactos socioambientais.

A seguir serão listadas as principais leis e normas relativas ao tema:

- » Resolução Conama nº 1, de 23 de janeiro de 1986: Institui o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (Rima).
- » Resolução Conama nº 237, de 19 de dezembro de 1997: Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional de Meio Ambiente. “Art. 10. O procedimento de licenciamento ambiental obedecerá as seguintes etapas: [...] III – Estudos ambientais: todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: [...] análise preliminar de risco”.
- » Constituição Federal de 1988: “Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. § 1º Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público: [...] V – controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a qualidade de vida e o meio ambiente”.
- » Lei Federal nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (Lei dos Crimes Ambientais).
- » Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012: Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e seu papel no gerenciamento de risco

A ABNT, criada em 1940, é uma entidade privada sem fins lucrativos responsável pela elaboração das Normas Brasileiras (NBRs) e pela publicação das normas ISO. A associação atua também com avaliações de conformidade e dispõe de programas para certificação de produtos, sistemas e rotulagem ambiental.

Com o surgimento das discussões e necessidades de se estabelecer formas de gerenciamento de riscos, para as diversas necessidades das mais variadas organizações, surgiram assim várias normas privadas e setoriais, com o objetivo de harmonizar conceitos e terminologias sobre o tema. Nesse contexto, o estabelecimento de uma norma global assumiu uma importância decisiva para apoiar a gestão de riscos ao longo da vida das organizações e um amplo conjunto de atividades desenvolvido por estas, incluindo, por exemplo, estratégias, processos e projetos. A publicação da ABNT NBR ISO 31000:2009 veio ao encontro dessa necessidade de se estabelecer uma abordagem genérica para o tema.

A norma ABNT NBR ISO 31000:2009 trata da Gestão de Riscos – Princípios e diretrizes, abordando de forma genérica o tema, com enfoque em qualquer indústria ou setor.

No mesmo ano, foi lançada a norma ABNT ISO GUIDE 73:2009 Gestão de Riscos – Vocabulário. Ela apresenta as definições de termos genéricos relativos à gestão de riscos.

Em 2012, foi publicada uma norma complementar à NBR ISO 31000, a ABNT NBR ISO/IEC 31010:2012 Gestão de riscos – Técnicas para o processo de avaliação de riscos, que descreve as ferramentas de análise de risco, fornecendo orientações sobre a seleção e aplicação de técnicas sistemáticas para o processo de avaliação de riscos.

Além dessas, há outras normas, como as relacionadas aos Sistemas de Gestão, que também englobam os riscos, ainda que indiretamente.

Políticas Públicas – importância na prevenção dos riscos ambientais



O que são políticas públicas?

Segundo o Ministério das Cidades (2008),

Políticas Públicas: são aquelas relacionadas às ações com fins públicos de acesso a toda a população, oriundas de determinações de governo

para atender necessidades da sociedade. Não devem ser confundidas com políticas governamentais ou partidárias, que estariam então sujeitas às alterações cíclicas de mudança do poder, mas devem ser compreendidas como políticas de estado, nas diferentes esferas de governo (adaptado de ALMEIDA, 2008).

As ações de identificação, prevenção e ações remediadoras dos riscos, por serem complexas e distintas nas suas mais diversas formas e causas, envolvem também diversos setores públicos distintos, como órgãos de Saúde, Habitação, Saneamento Básico, Recursos Hídricos, Educação e Meio Ambiente.

Ao analisarmos hierarquicamente os órgãos – do âmbito federal ao estadual e municipal –, o Ministério das Cidades é reconhecido como um órgão associado diretamente aos desastres naturais. Criado em 2003, desenvolveu uma Ação de Apoio à Prevenção e Erradicação de Riscos em Assentamentos Precários, no âmbito do Programa de Urbanização, Regularização e Integração de Assentamentos Precários.

Nessa ação, há a articulação das ações de redução de riscos em áreas urbanas com o Sistema Nacional de Defesa Civil, que será explicado adiante, a fim de incorporar as necessidades de cada município. São realizadas algumas ações para evitar desastres, especialmente na relação entre Ministério das Cidades e órgãos municipais, como a realização de treinamentos de capacitação das prefeituras para elaboração de diagnóstico, prevenção e gerenciamento de risco; apoio financeiro para a elaboração de tal documento, para projetos preventivos como contenção de encostas em áreas de risco consideradas prioritárias nos Planos Municipais de Redução de Riscos.



Na página do Ministério das Cidades, podem ser encontrados para *download* vários materiais produzidos pelo Programa de Redução de Riscos, como livros, manuais, banco de experiências municipais e os Planos Municipais de Redução de Risco (PMRR), de vários municípios. Acesse: <<http://www.cidades.gov.br/secretariasnacionais/programas-urbanos/biblioteca/prevencao-deriscos>>.

Além do Ministério das Cidades, o Ministério da Integração Nacional também possui secretarias com atribuições relacionadas à gestão de riscos:

- » Secretaria Nacional de Defesa Civil;
- » Secretaria de Infraestrutura Hídrica;
- » Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional;
- » Secretaria de Programas Regionais;

Na Secretaria Nacional de Defesa Civil são desenvolvidas as ações da política de redução de desastres no país. O Sistema Nacional de Defesa Civil (Sindic), também interligado a esse Ministério de Integração Nacional, é um dos maiores exemplos disso.

Defesa Civil

A Defesa Civil tem como principal função o atendimento a calamidades e situações de emergência. É definido como o “conjunto de ações preventivas, de socorro, assistenciais e reconstrutivas destinadas a evitar ou minimizar os desastres, preservar o moral da população e restabelecer a normalidade social” (MC, 2008). Para a Defesa Civil, as ações para a redução de desastres abrangem as fases de:

- » **Prevenção:** ações que buscam a avaliação e a redução dos riscos;
- » **Preparação:** medidas e ações destinadas à redução – ao mínimo – da perda de vidas humanas e outros danos;
- » **Resposta:** ações desenvolvidas durante um evento adverso para salvar vidas, reduzindo, assim, o sofrimento humano e diminuindo perdas;
- » **Reconstrução:** processo realizado para a reparação e restauração buscando a normalidade.



O Decreto nº 8.980, de 1º de fevereiro de 2017, atualizou todo o organograma de funcionamento e atribuições do Ministério da Integração Nacional, no qual faz parte a Secretaria Nacional de Defesa Civil. Dentro dessa secretaria, os órgãos ligados à proteção de desastres são:

1. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (Cenad);
2. Departamento de Articulação e Gestão;
3. Departamento de Prevenção e Preparação;
4. Departamento de Reabilitação e de Reconstrução; e
5. Departamento de Operações de Socorro em Desastres;

Saiba mais sobre as atribuições de cada um desses departamentos disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Decreto/D8980.htm#art9>.

No âmbito federal, o órgão central da Defesa Civil é a Secretaria Nacional de Defesa Civil (Sedec), que articula, coordena e gerencia todo o sistema. Os órgãos estaduais de Defesa Civil realizam essas atividades em âmbito estadual, da mesma forma que os órgãos municipais têm âmbito de atuação de decisão municipal.

Há também os Núcleos Comunitários de Defesa Civil (Nudecs), formados nas comunidades para cooperar de forma direta no planejamento e coordenação das atividades da defesa civil. Esses núcleos são muito importantes para aproximar a população e envolvê-la também no planejamento de ações, o que dá uma resposta imediata e positiva na redução de desastres.



A cidade de Santos, litoral do Estado de São Paulo, sofre constantemente com eventos climáticos que acentuam os riscos relacionados às áreas de encosta de morros com ocupações irregulares, além das constantes “invasões” do mar em trechos urbanos, em épocas de ressaca, com o alagamento de ruas, avenidas, prédios etc. Por isso, a Defesa Civil está constantemente promovendo cursos de capacitação para a formação dos Nudecs.

Figuras 4 e 5. Treinamento da população para formação dos Nudecs.



Fonte: Prefeitura Municipal de Santos (2017). Disponível em: <<http://www.santos.sp.gov.br/?q=tags/n-cleos-comunit-rios-dedefesa-civil>>.

Essa é uma ação fundamental especialmente para os municípios que possuem áreas de risco ou atividades potencialmente de risco. Dessa forma, a prevenção de acidentes torna o trabalho mais eficiente e diminui os riscos existentes.

Em especial, destacam-se os municípios que estão em regiões litorâneas, especialmente nas proximidades de mares e canais, bem como municípios próximos aos rios que constantemente sofrem com cheias, além dos municípios próximos às encostas, em regiões serranas, de relevo acidentado ou solo suscetível à erosão, entre outros casos.

Ainda integram o Sindec alguns órgãos setoriais da administração pública das diversas esferas que auxiliam a atuação da Defesa Civil e alguns órgãos de apoio, como entidades privadas, associações, voluntários, ONGs que apoiam o sistema.

Ações dos órgãos de defesa civil

Os órgãos oficiais de defesa civil devem estar estruturados para exercer atividades no sentido de:

- » educar e preparar as populações para a questão dos riscos e prevenção destas;
- » prevenir e sugerir medidas e obras públicas para os pontos críticos de risco;
- » planejar e elaborar planos operacionais específicos;
- » socorrer as vítimas em caso de acidentes;
- » dar assistência aos desabrigados, encaminhando-os a locais seguros, fornecendo medicamentos, alimentos e agasalhos;
- » recuperar a área a fim de possibilitar à comunidade seu retorno à normalidade.



Embora essas sejam as funções básicas da defesa civil, cabe ressaltar que as ações mais comumente empregadas no país são as ações de socorro às vítimas posteriormente à ocorrência de acidentes. Isso porque, embora haja algumas ações preventivas, elas não são suficientes para minimizar as constantes problemáticas – principalmente urbanas – como a ocupação de áreas de risco, por exemplo, que não são assistidas pelos órgãos públicos da forma e com a agilidade que deveria para que houvesse a prevenção desses acidentes.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), grandes acidentes relacionados a deslizamentos de encostas, por exemplo, atingem de forma recorrente uma pequena parcela dos municípios do país. Entretanto, fatores como intensidade de chuvas, relevo e solos propícios a escorregamentos só tendem a somar com a questão da ocupação de encostas pelos assentamentos precários, favelas e loteamentos irregulares para potencializar a frequência e magnitude dos acidentes, muitas vezes, com a remoção da vegetação, execução de cortes no terreno, realização de aterros irregulares, abertura de vias de acesso, ausência de drenagem correta de água, deposição irregular de lixo, entre outras ações que tornam frágeis o ambiente.

Dessa forma, a prevenção de desastres associados a esse tipo de ocorrência deve fazer parte da gestão prioritária de território e desenvolvimento urbano dos municípios.



Na virada do ano de 2010, o município de Angra dos Reis, estado do Rio de Janeiro, foi palco de uma tragédia grande causada por um deslizamento de terra, que vitimou 52 pessoas. Uma pousada e casas vizinhas que foram construídas em áreas de encosta foram engolidas por um deslizamento de terra, causado por sucessivas chuvas.

Figura 6. Praia do Bananal, onde ocorreu o deslizamento de terra.



Fonte: LOBO, 2010. <<http://www.oeco.org.br/reportagens/23228-estudo-avisou-sobre-tragedia-em-angra/>>.

Embora as forças da natureza sejam imprevisíveis, após a tragédia diversos especialistas trataram de afirmar que o acidente não era tão imprevisível assim: estudos realizados três anos antes, em 2007, já alertavam para as construções irregulares na praia do Bananal em área de vertente, nas cotas de 100 metros e ocupação desordenada na cota acima de 40 metros do morro (LOBO, 2010).

Especialistas afirmaram também que os deslizamentos poderiam ter sido evitados – ou minimizados – caso fossem realizados o mapeamento e a gestão das áreas de risco (REDE NOTÍCIA, 2010).

Casos como o de Angra dos Reis indicam a necessidade e o investimento em ações preventivas que contribuam para evitar, além de danos ao meio ambiente, a perda de vidas humanas.

A grande dificuldade dos municípios é manter os programas e trabalhos da defesa civil, uma vez que é comum que as mudanças administrativas interrompam o processo em andamento, e começar do zero demanda tempo, custos e muitas vezes a memória do que já havia sido realizado não é levada em consideração.

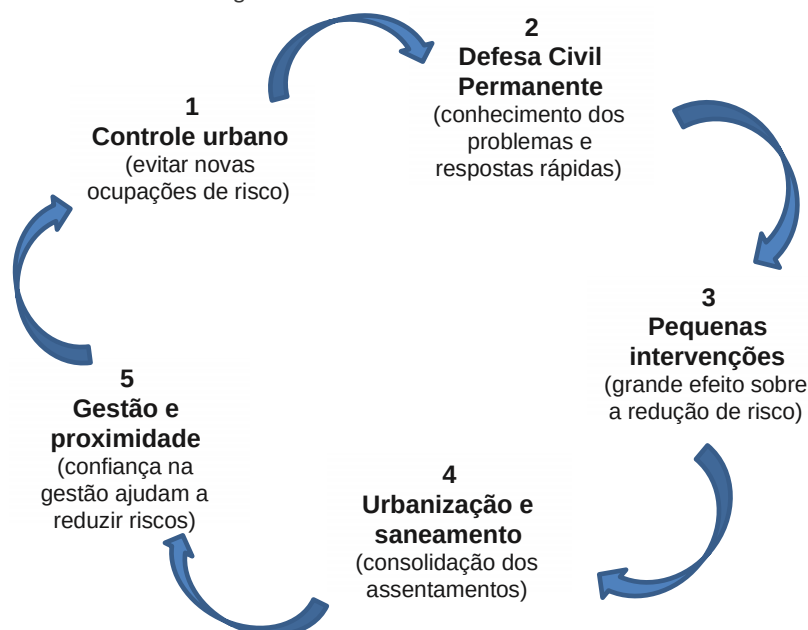
Além disso, priorizam-se muito pouco no Brasil as medidas preventivas de gestão de risco, embora haja corpo técnico qualificado e pesquisas desenvolvidas em universidades e institutos de pesquisa capazes de subsidiar a elaboração de políticas urbanas de prevenção de riscos. Isso ocorre principalmente pela falta de investimentos das prefeituras municipais em suas políticas de desenvolvimento urbano.

A continuidade das ações – e segurança dessa continuidade – é fundamental para a evolução desta. Para isso, a formação de uma Política Pública de Risco, desenvolvida por meio do Ministério das Cidades, e realizada de forma efetiva para orientar os âmbitos estaduais e municipais, é importante.

Além disso, é importante que o município invista num quadro técnico eficiente e capacitado para trabalhar, com profissionais como geólogos, geógrafos, engenheiros e assistentes sociais, entre outros, que juntos assegurarão planejamento e ações em todos os aspectos que tangem a defesa civil e o gerenciamento de riscos. O dimensionamento da equipe depende, principalmente, dos problemas estimados que o município pode enfrentar ou já enfrenta. Convém ressaltar que, nos períodos críticos de chuvas, essas equipes necessitam do reforço de técnicos de outros órgãos participantes do sistema (saúde, obras, limpeza urbana, entre outros) para atender adequadamente ao leque de demandas que surge nesses períodos de anormalidade.

A Figura 7 a seguir mostra o processo de gerenciamento de risco que seria ideal, considerando a efetividade dos trabalhos de defesa civil em todas as esferas: federal, estadual e municipal e a participação de organizações da sociedade civil, bem como políticas públicas para a prevenção de acidentes.

Figura 7. Gerenciamento de risco ideal.



Fonte: Adaptado de Ministério das Cidades (2006).

Conceitos básicos de gerenciamento

de risco

É importante lembrar que o gerenciamento de riscos envolve tanto a prevenção de riscos aos seres humanos quanto a prevenção de riscos ao meio ambiente. Dessa forma, vamos analisar como são classificados os riscos quando estão diretamente relacionados à vida humana e, posteriormente, como esse gerenciamento atua na prevenção de danos ambientais – ferramenta fundamental em estudos de licenciamento ambiental, por exemplo. Vamos enfatizar uma ferramenta atual muito comum nos empreendimentos industriais e nas políticas públicas de prevenção a acidentes.

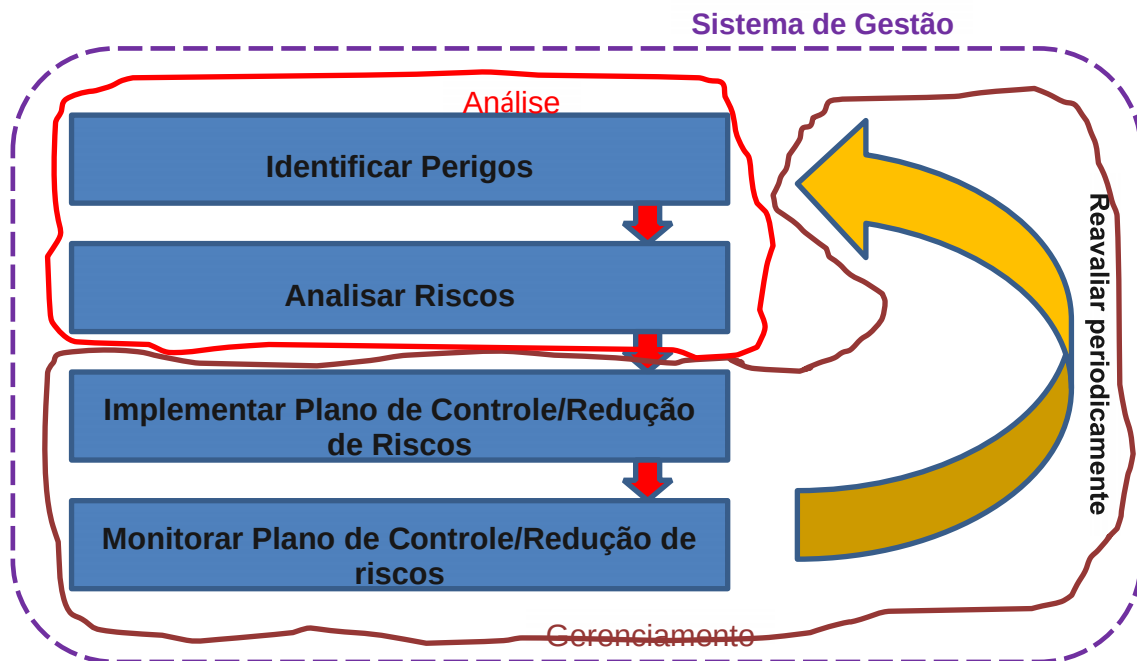
Segundo Diniz (2006), uma boa definição de Gerenciamento de Risco foi apresentada pelo *American Institute of Chemical Engineers*, definindo-o como “Aplicação sistemática de políticas de gestão, procedimentos e práticas de análises, avaliação e controle dos riscos, com o objetivo de proteger os funcionários, o público em geral, o meio ambiente e as instalações, evitando a interrupção do processo”.

De forma geral, o gerenciamento de riscos pode ser compreendido como um processo, cujos passos básicos são:

1. identificação dos perigos;
2. análise dos riscos;
3. implementação de um plano de controle/redução dos riscos;
4. monitoração do plano;
5. reavaliação periódica do plano.

A Figura 8 a seguir ilustra esse processo:

Figura 8. Processo de gerenciamento de risco.



Fonte: Adaptado de Diniz (2006).

Podemos ainda dizer que o gerenciamento de risco é um processo de decisão no qual escolhas podem ser feitas a partir de alternativas capazes de atingir um resultado esperado. Esses resultados podem decorrer tanto de normas ambientais (externas, internas, da própria empresa) quanto de exigências regulatórias e de legislação.

Esses resultados devem sempre resultar na redução dos riscos para níveis “toleráveis ou aceitáveis” dentro das restrições impostas pelos recursos disponíveis.

Como podemos ver acima, o gerenciamento de riscos apresenta uma etapa de análise, na qual devem ser identificados os perigos e analisados os riscos. Posteriormente, na etapa de gerenciamento propriamente dito, é importante a implementação de Planos de Controle e Redução de riscos e o monitoramento desses planos de controle e redução, que devem ser revisados constantemente.



É fundamental lembrar que o gerenciamento de risco necessita de reavaliação periódica a fim de encontrar novos riscos, rever processo de controle e redução destes!

Neste material, vamos enfatizar a questão dos Planos de Controle e Redução de Riscos. Entretanto, cabe fazer uma breve descrição das formas de identificação de perigo e análise de riscos.

O gerenciamento de riscos depende, minimamente, da identificação inicial dos perigos que podem gerar riscos.

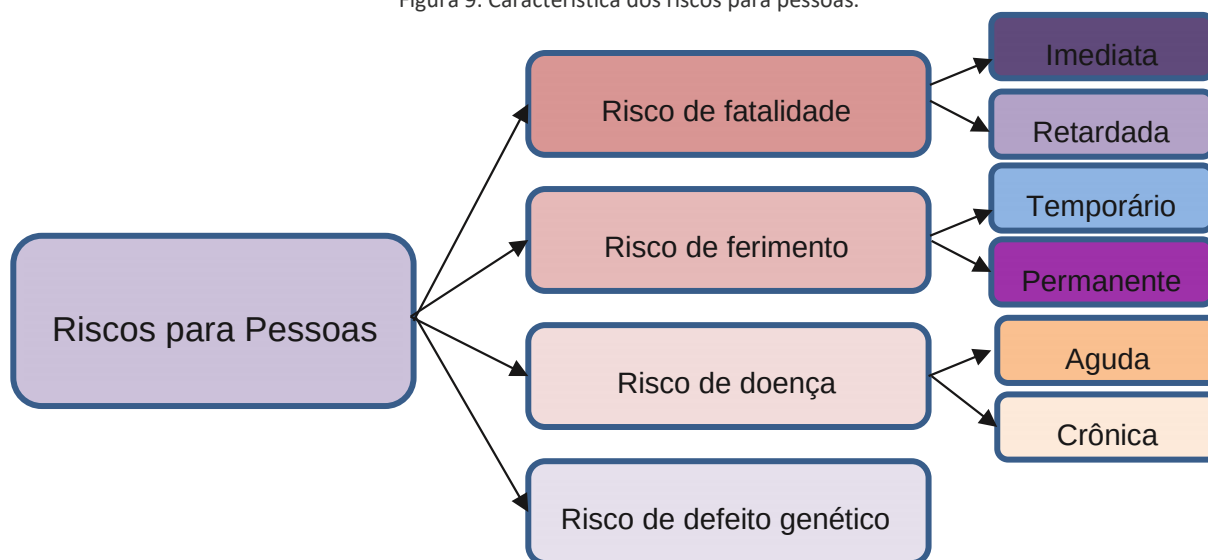
1. Perigo: *característica de uma atividade ou substância que expressa a sua condição de causar algum tipo de dano a pessoas, a instalações ou ao meio ambiente.*

Perigo, então, é a fonte dos riscos. É a partir da identificação desses perigos, que pode ser tanto uma atividade (como um processo industrial) quanto uma substância (tóxica, explosiva, corrosiva etc.), é que começa a análise desses riscos potenciais.

Uma das formas de classificar os riscos está no objeto do dano causado por ele, podendo ser: para pessoas, para o meio ambiente e para o patrimônio (da empresa ou da sociedade).

No que se refere aos riscos para pessoas, existe ainda uma forma de classificação baseada no tipo de consequência avaliada. Essas consequências podem ser: fatalidades, ferimentos, doenças, defeitos genéticos, entre outros. Cada uma dessas consequências possui características específicas, conforme podemos ver na Figura 9 a seguir:

Figura 9. Característica dos riscos para pessoas.



Fonte: Adaptado de Diniz (2006).

Nas análises quantitativas de risco, realizadas para instalações que lidam com produtos perigosos, por exemplo, avalia-se apenas os riscos de fatalidades imediatas, como indicador dos riscos das instalações analisadas. De modo geral, esse indicador é suficiente

para se obter uma noção clara da diferença de instalações consideradas de alto risco das de baixo risco (DINIZ, 2006).

Riscos sociais e individuais

Nos estudos de análise de riscos com cenários acidentais que vão além dos limites do empreendimento, podendo inclusive afetar pessoas, os riscos deverão ser estimados e apresentados nas formas de Risco Social e Risco Individual.

O **risco social** pode ser considerado como um risco existente para um determinado número ou agrupamento de pessoas expostas aos danos decorrentes de um ou mais cenários acidentais.

Nesse sentido, o risco social procura responder a perguntas como:

- » Quantas pessoas estão sob risco?
- » Quantas pessoas podem ser afetadas em caso de um acidente?
- » Quais os efeitos globais sobre a comunidade?

Além disso, é importante obter informações como:

- » tipo de população (residências, estabelecimentos, indústrias, áreas rurais, escolas, hospitais etc.);
- » efeitos em diferentes períodos (diurno e noturno) e respectivas condições meteorológicas, para o dimensionamento considerado adequado do número de pessoas expostas;
- » características das edificações onde as pessoas se encontram, para se levar em consideração eventuais proteções.

Os riscos sociais são de grande valia quando a população exposta é grande. Nesse caso, os indicadores de risco social são aqueles que conseguem distinguir a significância do risco de diferentes acidentes (os de grande número de vítimas daqueles de baixo número de vítimas e respectivas frequências de ocorrência).

Por sua vez, os **riscos individuais** expressam a preocupação com os riscos para cada um dos membros da população exposta e visam responder a perguntas tais como:

- » Qual a chance de eu vir a ser afetado?

» Qual a chance de danos a um pequeno grupo de pessoas situadas em determinada posição?

Pode haver casos em que os riscos sociais são baixos porque a população exposta não é grande; no entanto, alguns membros da população estão expostos a riscos individuais inaceitavelmente altos. Nesse caso, os indicadores de risco individual poderiam indicar tal situação. Da mesma forma, poderia acontecer a situação inversa, ou seja, cada indivíduo de uma população está exposto a um nível de risco baixo, mas devido ao grande número de pessoas expostas, o risco social poderia estar acima do critério de aceitabilidade correspondente. Assim, de modo geral, os dois tipos de indicadores – risco individual e social – são necessários para se ter um quadro completo dos riscos (DINIZ *et al.*, 2006).

Riscos ambientais

O meio ambiente também pode ser prejudicado pelos acidentes causados a partir de riscos em atividades e substâncias de determinado empreendimento. Ou, se pensarmos em riscos naturais, esses acidentes podem ser causados pela ocupação irregular de encostas, pelo desmatamento etc.

Podemos pensar, como exemplo de atividades, algum processo industrial que gere fumaça emitindo CO₂ na atmosfera, por exemplo, ou até mesmo algum equipamento que utiliza água no processo, sendo esta despejada de forma inadequada.

Em relação às substâncias, podem ser prejudiciais ao meio ambiente por serem radioativas, corrosivas, explosivas, tóxicas etc. e, em contato com o solo/água/ar, poderá causar acidentes danosos à fauna, à flora ou a todo o ecossistema.

O principal embasamento legal para diagnosticar os potenciais riscos de um empreendimento é encontrado na Resolução Conama nº 001, de 1986. Nessa resolução, são indicadas diretrizes para o diagnóstico ambiental do empreendimento para a posterior obtenção de licença ambiental.

Esse diagnóstico proposto na resolução abrange descrições do meio físico, biótico e socioeconômico. A partir disso, podemos definir que os potenciais riscos que podem ser identificados para o meio ambiente são (DINIZ, 2006):

» Meio físico:

- › contaminação do solo;
 - › contaminação de águas;
 - › contaminação atmosférica; ›
- alterações climáticas.

» Meio biológico e ecossistemas naturais:

- › danos à flora e à fauna.

» Meio socioeconômico:

- › destruição de sítios/monumentos arqueológicos;
- › interrupção da atividade produtiva;
- › comprometimento futuro de meios produtivos.

São várias as medidas de proteção para se evitar os riscos ambientais, sendo a principal aquela relacionada ao distanciamento físico entre o agente do perigo e o recurso vulnerável (como, por exemplo, a ocupação de encostas). Importantes ferramentas para isso são o **zoneamento urbano** e o **planejamento ambiental**.

Outra medida importante é a busca por projetos seguros (por exemplo, a eliminação/substituição de substâncias poluidoras por outras menos poluentes). Também a implementação de PGRs é fundamental para a redução do número de acidentes.

Uma das ferramentas mais importantes para a proteção do meio ambiente diante do potencial de riscos existentes em um determinado lugar é o mapeamento de riscos. Vamos falar um pouco mais sobre isso a seguir.

Mapeamento de áreas de risco

Qual é a diferença entre mapa de áreas de risco e mapa de risco?

Os termos são semelhantes e partem do mesmo princípio: mapear as áreas de risco. O mapa de risco é um instrumento muito utilizado por empreendimentos industriais que apresentam um potencial de geração de riscos para indicar, baseado em critérios específicos, as áreas que apresentam maior risco dentro do estabelecimento desse empreendimento. Esse instrumento é fundamental para contribuir para a segurança dos colaboradores.

A realização de mapeamento de riscos tornou-se obrigatória para todas as empresas do país que tenham Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (Cipa), por meio da Portaria nº 5, de 17 de agosto de 1992, do Departamento Nacional de Segurança e Saúde do Trabalhador do Ministério do Trabalho.

Como eles são elaborados?

Após a identificação dos riscos em cada processo dentro do empreendimento, e depois de identificadas as medidas preventivas, sob o *layout* da planta do empreendimento são feitas sinalizações circulares relativas à intensidade do risco, quantidade de pessoas que podem ser afetadas, entre outras características. As Figuras 10 e 11 indicam a tabela-padrão de Gravidade de Riscos e a simbologia das cores utilizadas:

Figura 10. Tabela de gravidade de riscos.

Símbolo	Proporção	Tipos de Riscos
	4	Grande
	2	Médio
	1	Pequeno

Fonte: Adaptado de Compur (2013). Disponível em: <<http://compur.com.br/cipa-site/mapa-de-risco01.html>>.

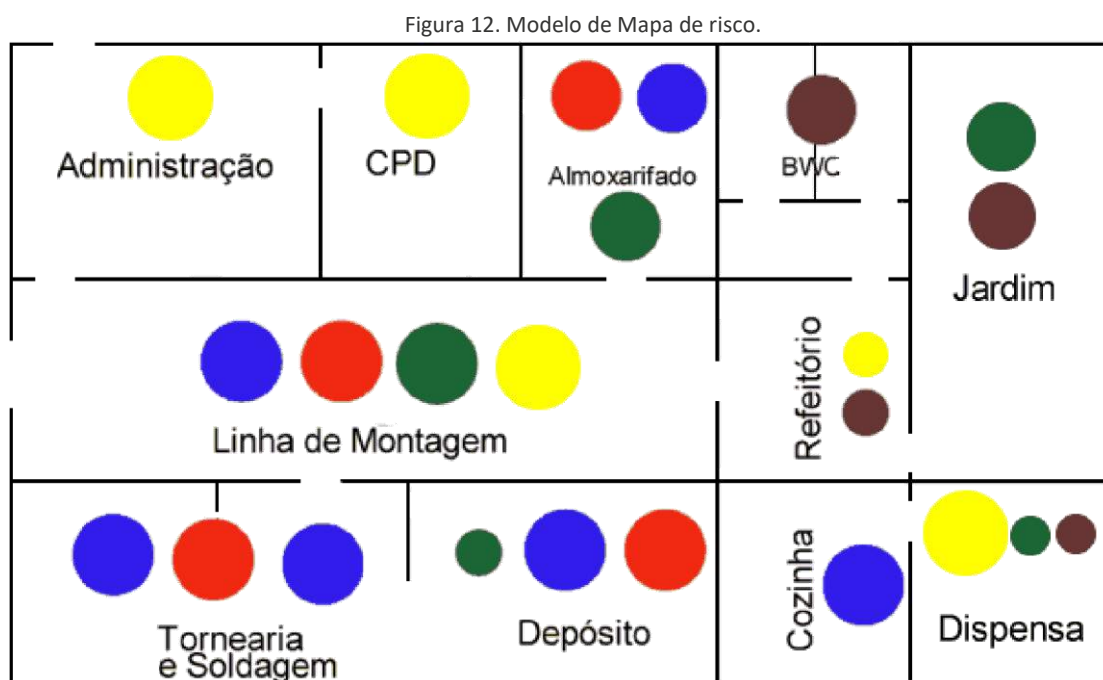
Figura 11. Simbologia das cores.

Simbologia das Cores No Mapa de Risco, os riscos são representados e indicados por círculos coloridos de três tamanhos diferentes, a saber:		Risco Químico Leve		Risco Físico Leve
		Risco Químico Médio		Risco Físico Médio

			Risco Químico Elevado		Risco Físico Elevado
	Risco Biológico Leve		Risco Ergonômico Leve		Risco Mecânico Leve
	Risco Biológico Médio		Risco Ergonômico Médio		Risco Mecânico Médio
	Risco Biológico Elevado		Risco Ergonômico Elevado		Risco Mecânico Elevado

Fonte: Adaptado de Compur (2013). Disponível em: <<http://compur.com.br/cipa-site/mapa-de-risco01.html>>.

Após ser desenvolvido, o mapa de riscos deve ser aprovado pelos responsáveis do setor da empresa e devem ser afixados em cada local analisado, para o fácil acesso e entendimento de todos os trabalhadores. A Figura 12 mostra um modelo de mapa de risco:



Fonte: PUC Minas, 2016. Disponível em: <http://www1.pucminas.br/imagedb/documento/DOC_DSC_NOME_ARQUI20081104143622.pdf>.

Já o mapeamento de áreas de riscos é um instrumento importante que envolve, além das políticas públicas de prevenção de riscos e defesa Civil, a comunidade de uma determinada região considerada de risco. Esse método é muito utilizado em gestões de prefeituras e no planejamento urbano municipal, e depende de técnicos especializados em programas de Sistema de Informações Geográficas (SIG) para a elaboração deste, que é um importante suporte na prevenção de desastres. Falaremos mais disso adiante.

Mapeamento de áreas de risco

Segundo Déstro (2009), as áreas de risco ambiental são entendidas como:

Áreas com risco de ocorrência de acidentes ambientais cujos potenciais danos diretos ou indiretos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger estão relacionados com as atividades potencialmente impactantes e com a vulnerabilidade dos sítios frágeis associados.

No âmbito federal, o mapeamento de áreas de risco faz parte das ações de controle de emergências ambientais previsto por lei (Decreto nº 6.099, de 2007). É também um produto nos trabalhos de fiscalização preventiva, licenciamento e orientações para elaboração de Planos de Emergência.

Para a elaboração de mapa de risco ambiental, é preciso, inicialmente, desenvolver um mapa base, com informações relacionadas à descrição do local, sendo importante também um mapa de suscetibilidade, importante de ser desenvolvido para ser a base das informações de risco ambiental. Este é muito importante para a elaboração de medidas de prevenção e planejamento do uso e ocupação, pois indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em áreas de risco, expressando a suscetibilidade segundo classes de probabilidade de ocorrência.

Tendo isso, é possível elaborar o mapa de risco, que será importante para a avaliação de dano potencial à ocupação, expresso segundo diferentes graus de risco, resultantes da junção da probabilidade de ocorrência de processos geológicos naturais ou induzidos, e das consequências sociais e econômicas decorrentes.

As principais características do mapa de risco ambiental são:

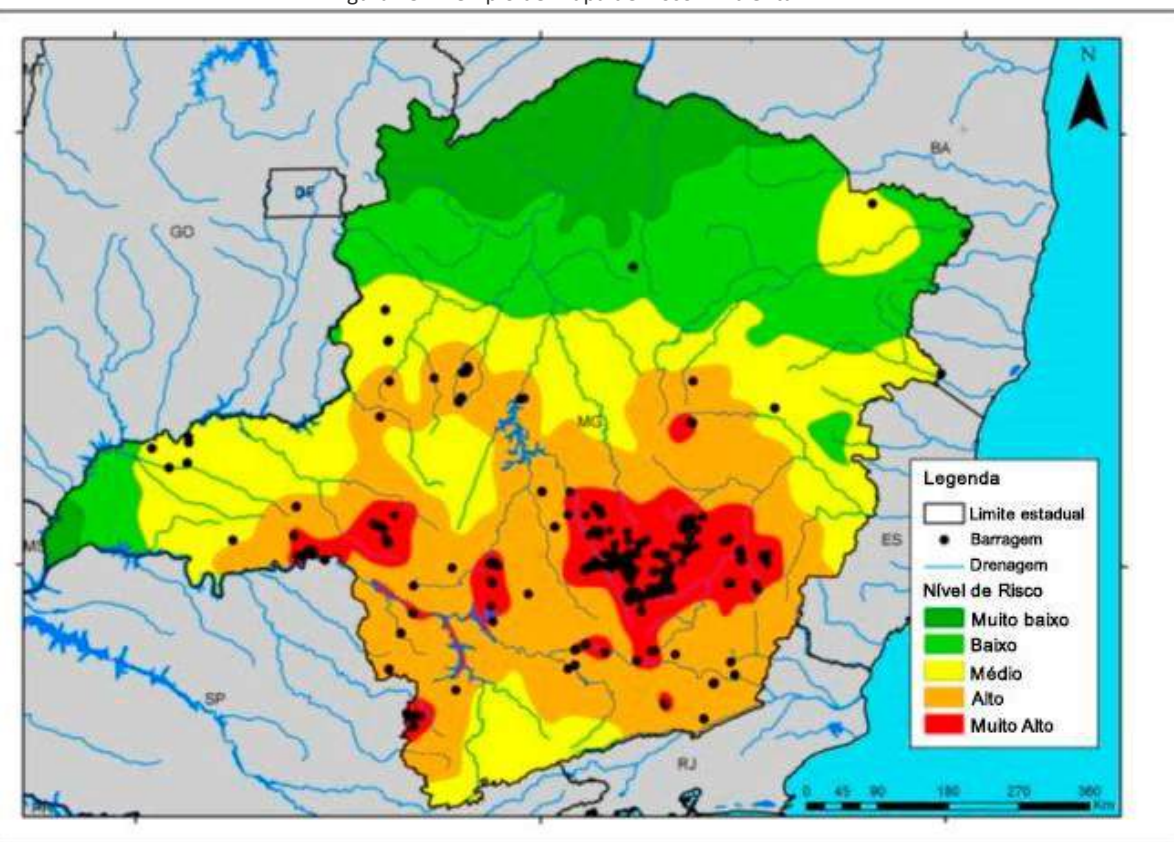
- » conteúdo: probabilidade temporal e espacial, tipologia e comportamento do fenômeno;
- » vulnerabilidade dos elementos sob risco;
- » custos dos danos;
- » aplicabilidade temporal limitada.

Para elaborá-lo, é fundamental o domínio de programas de SIG. Entretanto, é importante que haja um refinamento da topografia e hidrografia do local. Segundo Déstro (2009) “nem sempre a melhor solução é aquela resultante unicamente do processamento por

softwares, devendo-se avaliar criticamente as características da paisagem para determinar qual a melhor alternativa na definição das áreas de risco”. Além disso, especialmente em municípios com alta suscetibilidade a riscos ambientais, vistorias nos locais mais frágeis são fundamentais para embasar e tornar o mapeamento o mais real possível, evitando, assim, distorções que podem ocorrer com o processamento de imagens de satélite pura e simplesmente, por exemplo.

A Figura 13 a seguir mostra um exemplo de Mapa de Risco ambiental relacionado com barragens no Estado de Minas Gerais.

Figura 13. Exemplo de Mapa de Risco Ambiental.



Fonte: Déstro (2009).



Atualmente, uma nova tecnologia em desenvolvimento vem sendo cada vez mais utilizada para a realização do mapeamento: o uso de Drones (ou Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT) para a realização de sobrevoos em áreas potencialmente de risco e de difícil acesso, a fim de se obter as melhores informações como base para o posterior mapeamento de áreas de risco ambiental.

O recurso já está sendo utilizado por diversos órgãos municipais e estaduais, como o Instituto de Tecnologia de Pernambuco (Itep), por exemplo, em parceria com a Coordenadoria Municipal de

Proteção e Defesa Civil (Compdec) do município de Garanhuns para mapear áreas de riscos de desastres naturais e elaboração de projetos de contenção de erosões (DELAMURA, 2015). O drone consegue, com câmeras de alta definição e possibilidade de realização de voos em áreas de difícil acesso, gerar produtos cartográficos úteis – a partir de programas de processamento de imagens e dados – com o detalhamento de curvas, perfil do terreno, entre outros resultados.

Figura 14. Imagem de área de risco gerada por drones.



Fonte: Delamura (2015).

Além do mapeamento de áreas de risco ambiental, há outras ações em que os drones estão sendo cada vez mais utilizados, especialmente no que tange à segurança e ao gerenciamento de riscos industriais de grandes empreendimentos, como minerações (em que pode haver o monitoramento das barragens de rejeito por drones, por exemplo), hidrelétricas (em que é possível, por meio de drones, analisar eventuais rachaduras em barragens, por exemplo), além do uso em casos de acidentes, como, por exemplo, acidentes ambientais de derramamento de óleo, acidentes com cargas perigosas em rodovias, casos nos quais veículos aéreos podem chegar antes para detectar e promover a ação/procedimento efetivo e correto para o caso.

Efetivamente, essa é uma tecnologia que tende a crescer a cada dia mais, tanto nas políticas públicas quanto para a gestão de riscos industriais.

Relação entre EIA-RIMA, EAR E PGR

A publicação da Resolução Conama nº 1, de 23 de janeiro de 1986, instituiu a necessidade de realização do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do respectivo Relatório de Impacto Ambiental (Rima) para o licenciamento de atividades que potencialmente modifiquem o meio ambiente.

Inicialmente, os trabalhos de EIA-Rima não faziam menção aos riscos de acidente, caracterizando os impactos ambientais como aqueles que são decorrentes das alterações ambientais causadas durante a construção dos empreendimentos ou então das operações normais relativas à atividade. Recentemente, essa visão tem sido modificada, tendo aumentado na abordagem dos estudos de EIA-Rima alguma forma de identificação dos perigos de acidentes e de avaliação dos riscos nos empreendimentos que lidam com substâncias perigosas ou que, de alguma forma, podem trazer riscos de acidentes maiores para as populações situadas na sua área de influência.

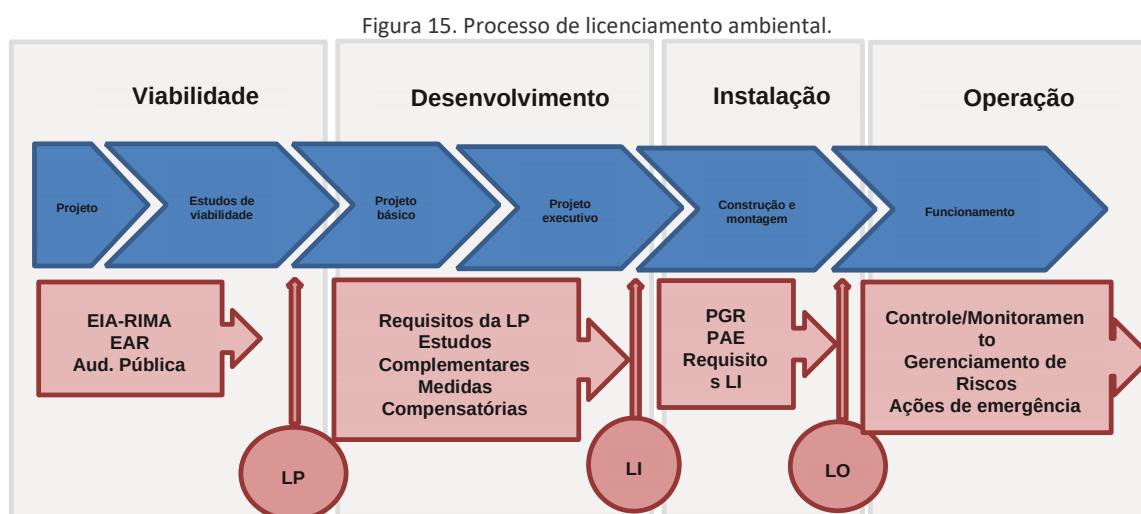
Os estudos de análise de riscos passaram a ser incorporados nesse processo de licenciamento para determinados tipos de empreendimentos, em geral os que são considerados perigosos, para que a prevenção de acidentes seja também abordada nesses licenciamentos.

Vamos retomar mais uma vez os conceitos de Estudo de Análise de Risco (EAR). Segundo EPA (1998), o EAR deve ter as seguintes etapas:

- » Identificação de Riscos: constitui-se numa atividade voltada para o desenvolvimento da estimativa qualitativa ou quantitativa do risco, baseando-se na engenharia de avaliação e em técnicas estruturadas para promover a combinação das frequências e consequências de um acidente.
- » Avaliação de Riscos: constitui-se em um processo que utiliza os resultados da análise de riscos para a tomada de decisão quanto ao gerenciamento de riscos, por meio da comparação com critérios de tolerabilidade de riscos previamente estabelecidos.
- » Gerenciamento de Riscos: é a formulação e implantação de algumas medidas e procedimentos técnicos e administrativos que buscam prevenir, controlar ou reduzir os riscos existentes em uma instalação industrial, tendo também como objetivo manter essa instalação operando dentro de requisitos de segurança considerados toleráveis.

Alguns órgãos de controle ambiental passaram a exigir das empresas potencialmente geradoras de riscos a apresentação de um Programa de Gerenciamento de Risco (PGR) como forma de controle e monitoramento dos riscos avaliados. Como requisito adicional, esses órgãos têm solicitado a realização de um Plano de Ação de Emergência, que deve ser feito a partir dos resultados da análise de riscos. Vamos falar deles posteriormente.

A Figura 15 a seguir mostra a relação entre os requisitos ambientais exigidos por lei e as fases de realização de um projeto.



Fonte: Adaptado de Diniz (2006).

É possível observar que os requisitos de EIA-RIMA e Análise de Risco devem ser satisfeitos para a concessão da Licença Prévia (LP), ou seja, devem ser realizados ainda na fase de projeto e estudos de viabilidade do empreendimento. Por sua vez, os requisitos de PGR e PAE (Plano de Ação de Emergência) devem ser elaborados para a posterior concessão da Licença de Operação (LO) e, portanto, devem ser realizados durante as fases de projeto executivo e construção/ montagem.

AVALIAÇÃO DE RISCOS

UNIDADE II

TECNOLÓGICOS

CAPÍTULO 1

Avaliação de Riscos Tecnológicos e Potencial para Ocorrência de Crises

Conforme já abordado nos capítulos anteriores, é importante compreender que as atividades inerentes ao ser humano estão diretamente ligadas a um potencial de risco, que pode eventualmente resultar em lesões. Nesse contexto, as atividades rudimentares de caça e pesca, cruciais para a sobrevivência e evolução do homem primitivo, já eram afetadas pelos acidentes que, muitas vezes, diminuía a capacidade produtiva.

O termo **risco** surge na constituição das sociedades contemporâneas a partir do final do Renascimento e início das revoluções científicas, quando ocorreram intensas transformações sociais e culturais associadas ao forte impulso nas ciências e nas técnicas, às grandes navegações e à ampliação e fortalecimento do poder político e econômico de uma nascente burguesia (FREITAS; GOMES, 1997). Na antiguidade até grande parte do século XVIII, eventos que causavam riscos naturais eram compreendidos como manifestações divinas, sinais sagrados dos deuses.

Com o desenvolvimento tecnológico e científico e as consequentes transformações sociais fruto disso, o homem passou a ser responsável pela geração e remediação de seus próprios males.

O conceito de risco tal como é predominantemente compreendido na atualidade resulta desse processo, cabendo ao próprio homem a atribuição de desenvolver, por meio de metodologias baseadas na ciência e tecnologia, a capacidade de interpretá-los e analisá-los para melhor controlá-los e remediá-los.

Mas o conceito de risco que conhecemos atualmente resulta desse processo, cabendo ao próprio homem a “consideração de previsibilidade de determinadas

situações ou eventos por meio do conhecimento – ou, pelo menos, possibilidade de conhecimento – dos parâmetros de uma distribuição de probabilidades de acontecimentos futuros” (FREITAS; GOMES, 1997).

Atualmente, é possível pensar em risco como algo associado à probabilidade de acontecer um evento indesejado. Assim, deve-se entender que **perigo é uma propriedade intrínseca de uma situação, ser ou coisa, e não pode ser controlado ou reduzido**. Por outro lado, o **risco sempre pode ser gerenciado, atuando-se na sua frequência de ocorrência, nas consequências ou em ambas**. Para uma empresa e/ou indústria, é uma medida de perda econômica e/ou danos à vida humana (neste caso, fatalidades) resultante da combinação entre a frequência de ocorrência de um evento indesejável e a magnitude das perdas ou danos (consequências), podendo ser, inclusive, expresso matematicamente como:

$$\mathbf{R_i = F_i * M_i}$$

Em que:

R_i = Risco associado ao evento indesejado tipo i;

F_i = Frequência de ocorrência do evento;

M_i = Magnitude da consequência desse evento.

O conceito de prevenção de riscos evoluiu juntamente com a racionalidade e a capacidade da espécie humana de se organizar, desenvolvendo a habilidade da antecipação e o reconhecimento dos riscos das suas atividades. A noção de proteção e do controle das situações de risco, a partir do desenvolvimento de técnicas para tal proteção, foi fundamental para a evolução humana.

Pensando nas corporações...

Essa evolução fez com que os acidentes de trabalho deixassem de ser eventos incontroláveis e imprevisíveis para se tornarem eventos não desejados e de causas evitáveis. Nesse sentido, surgiram as iniciativas de prevenção de danos vindos das atividades laborais.

Surgiram normas e disposições – que veremos adiante – para ajudar nas orientações e na reparação de danos laborais.

Para reconhecer esses riscos em um processo produtivo ou organizacional antes que ocorram, surgiram os estudos de análise de risco.

Categorias de risco

Antes de falarmos sobre a análise de risco, vamos voltar para a definição de risco. Embora tenham muitas definições, quando pensamos em Riscos Ambientais, estas são escassas, encontrando-se referências ao termo *hazards* (perigo) e suas categorias (perigos naturais, tecnológicos e sociais) como elementos para a definição de risco (CASTRO; PEIXOTO; RIO, 2005).

Outros trabalhos abordam os perigos naturais considerando-os como sinônimos de perigos ambientais, em que o conceito de ambiente se aproxima da ideia de natureza.

A noção de risco ambiental foi sistematizada em 1978, por Talbot Page, que distinguiu a visão tradicional da noção de poluição da noção de risco, tendo origem no setor de energia nuclear (EGLER, 1996). Para compor o quadro de risco ambiental, o autor abrange, em sua proposta, desde a ocorrência de perigos naturais (catástrofes) e impactos da alocação de fixos econômicos no território até as condições de vida da sociedade, o que implica em avaliações em diferentes escalas e períodos de tempo, categorizando, assim, risco natural, risco tecnológico e risco social.



É comum a confusão entre os termos perigo e risco, tão importantes na análise de risco. Entretanto, é importante diferenciá-los:

Perigo: situação ou condição que tem potencial de acarretar consequências indesejáveis; característica de uma atividade ou substância que expressa a sua condição de causar algum tipo de dano a pessoas, a instalações ou a meio ambiente.

Risco: capacidade que um perigo tem de se transformar em acidente, é a materialização do perigo ou um evento indesejado ocorrer (DINIZ, *et al.*, 2006).

Além dos termos risco e perigo, há alguns outros termos que são comuns na análise de risco, especialmente quando pensamos nos riscos chamados tecnológicos (RUPPENTHAL, 2013).

- » Desvio: ação ou condição com potencial para conduzir, direta ou indiretamente, a danos pessoais, patrimoniais ou causar impacto ambiental, em desconformidade com normas de trabalho, procedimentos, requisitos legais ou normativos, requisitos do sistema de gestão ou boas práticas. Embora seja parecido com o conceito de perigo, o desvio está associado a uma não conformidade com requisitos pré-definidos.

- » Dano: a consequência negativa do acidente que gera prejuízo. Quando o controle sobre um risco é perdido, pode resultar em danos humanos (lesões, ferimentos etc.), materiais (danos em aparelhos, equipamentos quebrados, estrutura danificada) e/ou financeiros (desemprego em massa, prejuízo com custos).
- » Causa: materialização de um perigo que resulta em danos. É aquilo que provoca o acidente, responsável por sua ocorrência, que permite que o risco se transforme em dano. Antes do acidente, existe o risco. Após o acidente, existe a causa. Existem três tipos de causas: atos inseguros, condições inseguras e fator pessoal de insegurança.
- » Sistema: arranjo ordenado de componentes inter-relacionados que atuam e/ou interagem para cumprir determinadas tarefas ou funções em um ambiente.
- » Probabilidade: chance de ocorrência de uma falha que pode conduzir a um determinado acidente. Essa falha pode ser de um equipamento ou componente, ou pode ser ainda uma falha humana.
- » Incidente: evento ou fato negativo com potencial para provocar danos, que por algum fator não leva ao acidente.
- » Perdas: podem ser tangíveis, quando se referem a prejuízos mensuráveis, ou intangíveis, quando se referem a elementos de difícil mensuração, como a imagem da empresa.
- » Acidente: ocorrência não programada que pode produzir danos, inesperada ou não, mas que interrompe ou interfere no processo normal de uma atividade, ocasionando perda de tempo útil, lesões nos trabalhadores ou danos materiais.
- » Ato inseguro: todo ato, consciente ou não, realizado pelo trabalhador ou empresa, capaz de provocar dano ao trabalhador, a seus companheiros ou a máquinas, materiais e equipamentos. Está diretamente relacionado a falha humana. Os atos inseguros podem ser cometidos por imprudência, imperícia ou negligência – por exemplo, falta de treinamento, excesso de trabalho, pressa, teimosia, curiosidade, improvisação e autoconfiança.
- » Condição insegura: irregularidades ou deficiências existentes no ambiente de trabalho que constituem riscos para a integridade física do trabalhador e para a saúde dele, bem como para os bens materiais da empresa. A falta de limpeza e ordem no ambiente de trabalho, assim como máquinas e

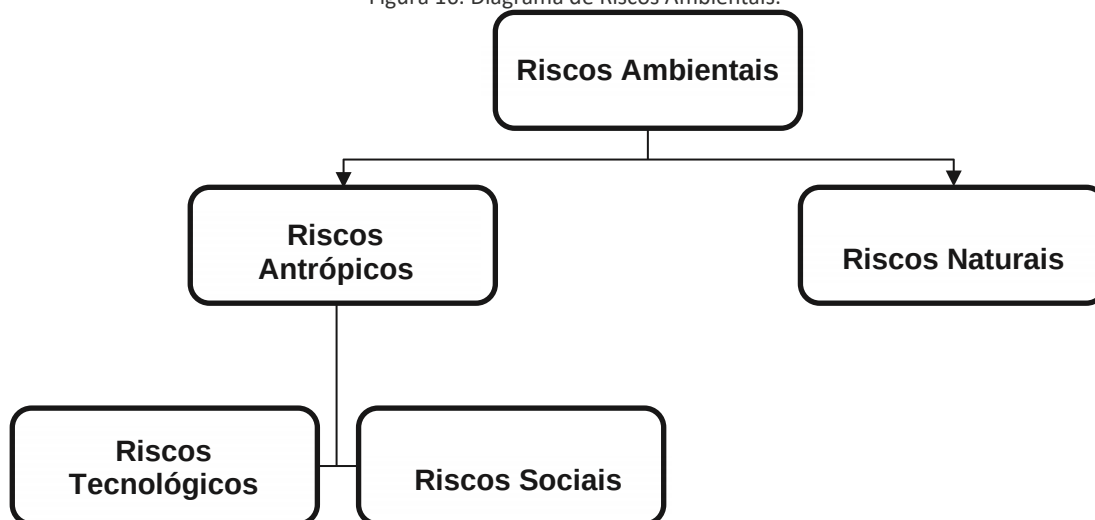
equipamentos sem proteção ou a segurança improvisada, são fatores que produzem a condição insegura.

Fator pessoal de insegurança: problema pessoal do indivíduo que pode vir a provocar acidentes, tais como problemas de saúde, problemas familiares, dívidas, alcoolismo, uso de substâncias tóxicas, entre outros.

Nível de exposição: relativo à exposição a um risco que favorece a sua materialização como causa de um acidente e dos danos resultantes. O nível de severidade varia de acordo com as medidas de controle adotadas (RUPPENTHAL, 2013).

Segundo Alves (2015), para os riscos ambientais há uma subdivisão, que está ilustrada na Figura 16 a seguir:

Figura 16. Diagrama de Riscos Ambientais.



Fonte: Adaptado de Alves (2015).

Os **Riscos Naturais** são provenientes dos fenômenos da natureza que tenham possibilidade de resultar em danos. Esses riscos apresentam maior subdivisão, podendo ser classificados como riscos físicos e biológicos. Os riscos naturais físicos se organizam em outros três grupos: riscos atmosféricos (furacões, tornados etc.), riscos geológicos (terremotos, escorregamentos etc.) e riscos hidrológicos (inundações, fenômenos atmosféricos, pluviais e oceânicos, avalanches etc.). Os riscos biológicos são divididos entre os riscos ligados à flora (pragas em lavouras etc.) e os riscos ligados à fauna (epidemias etc.).

Os riscos geológicos também possuem uma subdivisão entre os decorrentes de processos exógenos (escorregamentos, quedas, fluxos etc.) ou decorrentes de processos endógenos (terremotos, erupções vulcânicas etc.).

Apesar de alguns processos se enquadrarem como riscos naturais, é importante lembrar que muitos destes têm sua origem ou agravamento sob condições de influência antrópica, especialmente se manifestados em áreas urbanas (SOUZA; ZANELLA, 2009).

Isso significa que, embora haja a conveniência de se classificar os riscos ambientais, na verdade estes podem apresentar causas mais complexas do que as determinadas pelas classes. Não existem riscos puramente naturais, tecnológicos ou sociais, e suas consequências não podem ser examinadas separadamente das respostas humanas.



Na Geografia, o risco ambiental está vinculado à possibilidade de a população ser negativamente afetada por algum fenômeno geográfico excepcional, como, por exemplo, de ordem climática. Assim, as regiões, áreas e populações vulneráveis são aquelas que podem ser atingidas por algum evento desse tipo e que, adicionalmente, não possuem condições para suportá-lo. Certas áreas são mais ameaçadas por esses tipos de evento, devido a suas características geomorfológicas ou por sua localização geográfica. “Exemplo disso são as áreas de risco de inundações e de escorregamentos que, por sua condição geomorfológica e de localização (planície aluvial localizada junto aos rios ou encostas íngremes), aliada aos condicionantes climáticos (eventos pluviométricos concentrados) e à ocupação por populações carentes, tornam-se, no ambiente urbano, áreas altamente vulneráveis” (DESCHAMPS, 2004).

Entre os Riscos Antrópicos, estão indicados os riscos sociais e tecnológicos. Os **riscos sociais** são causados pela sociedade, como assaltos, conflitos e guerras. Podemos dizer que é o dano que uma sociedade (ou parte dela) pode causar. Mas há outro viés de análise, que diz que os riscos sociais estão relacionados à vulnerabilidade que a sociedade tem aos desastres naturais. Como exemplo, podemos citar o caso dos “sem teto” e a vulnerabilidade destes aos terremotos (CASTRO, 2006).

Um terceiro viés considera o risco social como aquele resultante de carências sociais que contribuem para uma degradação das condições de vida da sociedade. É uma visão mais ampla, que reúne diversas necessidades coletivas. Podemos citar a defasagem entre as atuais condições de vida e o mínimo requerido para o desenvolvimento humano, como, por exemplo, o acesso aos serviços básicos de saneamento, água potável e coleta de lixo,

podendo incorporar, em longo prazo, avaliações das condições de emprego, renda etc. (CASTRO, 2006).

Os **riscos tecnológicos** são aqueles que estão diretamente ligados a alguma ação humana, como os existentes nas atividades industriais nas quais produtos tóxicos ou inflamáveis podem causar vazamentos, explosões, e outros, como quedas de aviões, acidentes de trânsito etc.

As atividades de risco incluem atividades capazes de causar dano ambiental ao ecossistema e ao homem, como o manuseio de produtos químicos, tóxicos ou perigosos. A abordagem desse tipo de risco deve levar em conta três fatores: o processo de produção (recursos, técnicas, equipamentos, maquinário); o processo de trabalho (relações entre direções empresariais e estatais e assalariados); e a condição humana (existência individual e coletiva, ambiente) (SEVÁ FILHO, 1988). Em locais em que for encontrado pelo menos um desses fatores, haverá o risco tecnológico ou a probabilidade de um problema causado por tal risco.

Nesse conteúdo, vamos enfatizar a questão dos riscos tecnológicos existentes.

Risco tecnológico

Legislação

As ferramentas de análise e avaliação/gerenciamento de risco estão sendo implementadas ao longo dos anos gradativamente na realidade global de empresas e indústrias. Entretanto, seu uso como ferramenta ampla e imprescindível para os mais diversos empreendimentos ainda é lento. Poucos países adotam essas ferramentas como auxiliares, e menos ainda integradas à sua legislação. Países como Estados Unidos, Canadá, Austrália e aqueles pertencentes à União Europeia já possuem o Risco dentro de suas máquinas legislatórias, e exigem de diversos empreendimentos adequações que minimizem a ocorrência de acidentes, além dos efeitos adversos dos perigos (VIANA, 2010).

No Brasil, a promulgação da Lei nº 6.938, de 1981, que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente sem dúvida foi um marco que propiciou o desenvolvimento de ferramentas legais para que o meio ambiente fosse efetivamente considerado nas tomadas de decisão. A lei estabelece a estrutura do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama)

e define instrumentos de gestão e controle da poluição do meio ambiente. Riscos tecnológicos e ambientais são cobertos por essa lei, assim como a imposição ao poluidor da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados ao meio ambiente.

Segundo Nardocci (1999), a avaliação de risco começou a ser utilizada, inicialmente, no Estado de São Paulo, como um instrumento complementar aos Estudos de Impacto Ambiental (EIA), sempre exigidos para o licenciamento de atividades que poderiam ser causadoras de impactos, conforme o Decreto nº 88.351, de 1º de junho de 1983. Esses estudos, chamados de Análise de Riscos ou Análise Preliminar de Risco, eram solicitados pelo órgão ambiental para qualquer atividade que fosse potencialmente poluidora, especialmente as indústrias químicas, petroquímicas, áreas de estocagem de produtos químicos perigosos.

Com a publicação da Resolução nº 1 do Conama, que instituiu definitivamente a necessidade de realização de EIA e do Rima para licenciamento de atividades que, de alguma forma, modifiquem o meio ambiente, esses estudos de Análise de Riscos passaram a ser incorporados nesse processo para determinados tipos de empreendimentos, de forma que, além dos aspectos relacionados com a poluição crônica, também a prevenção de acidentes maiores fosse contemplada no processo de licenciamento.

Desde então, diversas leis, resoluções e decretos, bem como as Normas Técnicas Brasileiras foram criadas com o intuito de agregar mais controle e orientação no que tange a análise dos riscos.

Algumas dessas regulamentações devem ser destacadas:

Lei de Crimes Ambientais nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, diz no artigo 14 que entre as circunstâncias que atenuam a pena está a comunicação prévia pelo agente (poluidor), do perigo iminente de degradação ambiental ao órgão ambiental, estimulando a informação imediata do fato e otimizando a capacidade de resposta por parte dos órgãos envolvidos. No caso da ausência da comunicação, a penalização é agravada.

Lei Federal nº 9.966, de 2000, estabelece os princípios básicos a serem obedecidos na movimentação de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em portos organizados, instalações portuárias, plataformas e navios em águas sob jurisdição nacional.

Resolução Conama nº 293, de 12 de dezembro de 2001, aborda as diretrizes para implantação do Plano de Emergência Individual nos portos e demais instalações.

Norma Técnica ABNT NBR ISO 14971:2009 sobre Produtos para a saúde – Aplicação de gerenciamento de risco a produtos para a saúde.

ABNT NBR. ISO. 31000: 2009 sobre Gestão de riscos – Princípios e diretrizes.

Norma Técnica CETESB P4.261, de 21 de agosto de 2003.

Leis e normas sobre riscos: a norma técnica

P4.261

Conforme dito anteriormente, alguns acidentes de origem tecnológica ocorridos nas décadas de 1970 e 1980, especialmente com substâncias químicas, motivaram os órgãos governamentais a criar programas de gerenciamento de riscos e, assim, as técnicas de identificação de perigos já existentes em setores específicos, como no setor militar, foram incorporadas no gerenciamento de riscos também das atividades industriais.

No caso do Estado de São Paulo, um caso emblemático que foi determinante para essas mudanças no gerenciamento de risco ocorreu em 1984, quando um vazamento em um duto da Petrobras de transporte de gasolina causou um incêndio de grandes proporções, ocasionando a morte de mais de 90 pessoas e consequências ambientais significativas. Em decorrência desse e de outros constantes acidentes, e com a publicação da Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986, do Conama, a Cetesb, que já atuava de forma corretiva, passou a incorporar os estudos de análise de riscos no processo de licenciamento ambiental, visando à prevenção de grandes acidentes.

Em 1990, a Cetesb desenvolveu o “Manual de orientação para a elaboração de estudos de análise de riscos”. Em 1996, a companhia elaborou a “Metodologia para classificação das instalações industriais quanto à periculosidade”. Esta última considerava, para classificar uma instalação industrial quanto à sua periculosidade, as características das substâncias químicas manipuladas, suas respectivas quantidades e a vulnerabilidade da região onde estivesse localizada.

Esses documentos criados na década de 1990 fizeram com que um grupo de trabalho da Câmara Ambiental da Indústria Química e Petroquímica aperfeiçoasse tais documentos e criasse o Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Risco em 2000, que, além de incluir o conteúdo dos documentos elaborados anteriormente pela Cetesb, incluiu também um critério quantitativo de aceitabilidade, considerando valores do risco expresso na forma de risco social e risco individual.

Em 2003, o Manual foi homologado pela Diretoria da empresa como norma Cetesb P4.261 e publicado no Diário Oficial do Estado em 2003. Uma revisão da norma foi publicada em 2014, com atualizações desenvolvidas por uma comissão criada em 2009,

composta por representantes das indústrias química e petroquímica, acadêmica, consultores, além de técnicos da Cetesb envolvidos no licenciamento ambiental e da área de risco tecnológico.

A Norma se divide em quatro partes. A Parte I é referente à classificação de empreendimentos quanto à periculosidade, orientando a tomada de decisão quanto à necessidade de apresentar um Estudo de Análise de Risco (EAR) ou de um Programa de Gerenciamento de Risco (PGR) para os empreendimentos industriais durante o processo de licenciamento ambiental. A Parte II apresenta termo de referência para a elaboração de Estudo de Análise de Risco para empreendimentos pontuais. A Parte III apresenta termo de referência para a elaboração de Estudo de Análise de Risco para dutos, fornece as orientações básicas para a elaboração de Estudo de Análise de Risco e apresenta a visão da Cetesb quanto à interpretação e à avaliação dos resultados. A Parte IV apresenta termo de referência para a elaboração de Programa de Gerenciamento de Risco e fornece as orientações básicas para a elaboração de Programa de Gerenciamento de Risco.

A Norma pode ser aplicada em empreendimentos (indústrias, bases, terminais, dutos, entre outros) que manipulam (produzem, armazenam, transportam) substâncias inflamáveis e/ou tóxicas, nos estados líquido ou gasoso. Alguns empreendimentos destinados ao armazenamento ou ao transporte por duto de petróleo e seus derivados também são empreendimentos de interesse.

Empreendimentos que manipulam substâncias com perigos diferenciados, como, por exemplo, pós, peróxidos, oxidantes, explosivos e reativos são estudados caso a caso, uma vez que essa norma pode não ser suficiente para classificá-los quanto à periculosidade e elaboração dos estudos, conforme a Parte I.

Parte I

Nessa parte da Norma, quando são classificados os empreendimentos quanto à sua periculosidade, parte-se do princípio que

o risco de um empreendimento para a comunidade e para o meio ambiente, circunvizinhos e externos aos limites do empreendimento, está diretamente associado às características das substâncias químicas manipuladas, suas quantidades e à vulnerabilidade da região onde está ou será localizado.

Para isso, há na norma anexos (D e E) com tabelas que mostram a distância de referência para que não haja danos significativos ao homem caso ocorra algum acidente com alguma dessas substâncias.

A norma apresenta também as tabelas para a classificação das substâncias:

- » Gases e líquidos tóxicos: com quatro níveis de toxicidade (1-praticamente não tóxica; 2-pouco tóxica; 3-tóxica; 4-muito tóxica), de acordo com a concentração letal 50 (CL_{50}) de cada uma delas para ratos e camundongos. Uma lista dessas substâncias, para facilitar a orientação, está disponível no Anexo A da norma.
- » Gases e líquidos inflamáveis com quatro níveis: 1-líquido pouco inflamável; 2-líquido inflamável; 3-líquido facilmente inflamável; 4-gás ou líquido altamente inflamável. Há um anexo (B) com a lista de substâncias que podem se enquadrar nessa classificação, o que facilita sua identificação.

Após a classificação, é necessária uma tomada de decisão sobre a necessidade de elaboração de EAR ou PGR. Há um anexo (C) que contém pressupostos – a partir da análise de substância/concentração/distância de referência – para elaboração de tabela para essa definição.



Em caso de mistura de substâncias, é importante apresentar sua composição e, na ausência de dados para classificação desta, deve-se utilizar a(s) substância(s) com maior grau de periculosidade.

Para facilitar, foram adotadas substâncias de referência, ou seja, substâncias que pertencem aos níveis de toxicidade e inflamabilidade considerados perigosos. As substâncias são:

Quadro 1. Substâncias de referência para líquidos e gases tóxicos.

Nível de Toxicidade	Estado físico	Substância de referência
4	Gás	Cloro
3	Gás	Amônia
4	Líquido	Acroleína
3	Líquido	acrilonitrina

Fonte: Cetesb (2011).

Quadro 2. Substâncias de referência para líquidos e gases inflamáveis.

Estado físico/Nível de inflamabilidade	Substância de referência
Gás	Propano
Líquidos dos níveis 4 e 3 com $P_{vap} > 120$ mmHg a 25°C	n-pentano
Líquido nível 3 com $P_{vap} < 120$ mmHg a 25°C	benzeno

Fonte: Cetesb (2011).

Uma vez analisados os anexos com as substâncias e a distância de referência (D e E), são obtidas a distância de referência (dr) e a distância à população de interesse (dp), devendo-se compará-las e, quando houver a presença de população de interesse dentro dos limites determinados pela distância de referência (dr) e $N_p > 25$ pessoas, deve-se realizar Estudo de Análise de Risco (EAR) e Programa de Gerenciamento de Risco (PGR). Quando a distância à população de interesse (dp) for maior que a distância de referência (dr), o que corresponde à ausência de população nos limites determinados por dr , ou $N_p \leq 25$ pessoas dentro do círculo de raio dr , o empreendedor fica dispensado da elaboração do Estudo de Análise de Risco (EAR), devendo apresentar um Programa de Gerenciamento de Risco (PGR).

Assim, pode-se resumir o exposto da seguinte forma:

- Se $dp \leq dr$ e $N_p > 25$ pessoas → Elaborar EAR e PGR;
- Se $dp \leq dr$ e $N_p \leq 25$ pessoas → Dispensar EAR e elaborar PGR;
- Se $dp > dr$ → Dispensar EAR e elaborar PGR.



Para dutos de transporte de petróleo e derivados, substâncias tóxicas ou inflamáveis, tanto no estado líquido quanto gasoso, sempre elaborar EAR e PGR.

Parte II

Essa parte se refere às diretrizes para a elaboração do EAR, a partir de um **Termo de Referência**, que contemplará a avaliação dos riscos à população de interesse. Os riscos à saúde, à segurança e aos bens patrimoniais, por exemplo, não estão contemplados. No caso do meio ambiente, a avaliação será caso a caso, mas a avaliação dos riscos ambientais não é feita com as técnicas dessa norma.

Segundo o Termo de Referência, o estudo deverá ter a sequência a seguir:

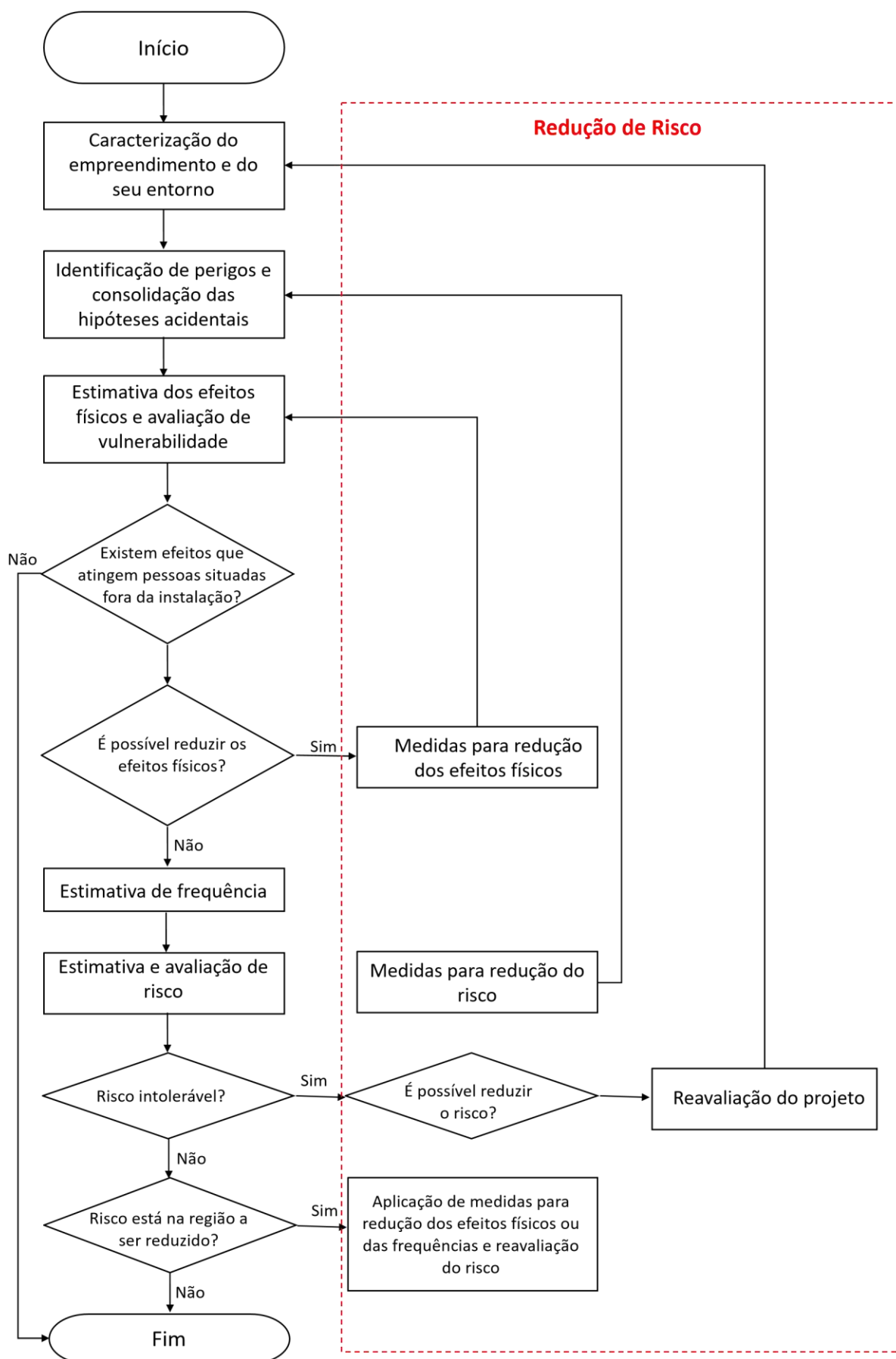
- » **Caracterizações do empreendimento e do seu entorno:**
atividades realizadas nos diferentes períodos (diurno e noturno), substâncias e população do entorno (no EAR, a descrição deve

considerar uma faixa ao longo do perímetro do empreendimento, no PGR, a região de interesse é delimitada pela faixa com extensão de 100m ou da distância de referência (*dr*), a que for maior).

- » **Identificação de perigos e consolidação das hipóteses acidentais:** em forma de planilhas, a partir de diretrizes anexadas (Anexo H), com análise histórica de acidentes, formulando hipóteses acidentais a partir dos perigos identificados.
- » **Estimativa dos efeitos físicos e avaliação de vulnerabilidade:** estima-se, a partir de modelos matemáticos, o comportamento das substâncias no meio, aplicando modelos de vulnerabilidade ao homem. A definição das diferentes tipologias acidentais está no Anexo R da Norma (Árvore de Eventos).
- » **Estimativa de frequências:** de ocorrência de cenários acidentais, a partir da técnica Análise por Árvores de Eventos (AAE) (Anexo R).
- » **Estimativa e avaliação de risco:** a Cetesb avalia o risco do empreendimento por meio da comparação entre o risco estimado nas formas de risco individual e social e os respectivos critérios de tolerabilidade, cujos *end points* estão associados à fatalidade da população de interesse. Há uma divisão entre o risco individual (RI), no qual é mensurado o risco para uma pessoa, e o risco social (RS), quando há o risco para um determinado número de pessoas expostas aos efeitos de um cenário acidental.
- » **Redução do risco:** ao longo do EAR, é importante se questionar das possibilidades de aplicação das medidas que reduzam os efeitos físicos ou frequências dos cenários acidentais. Essas medidas devem ser incorporadas no EAR, com o intuito de redução de risco. Segundo a norma, “são exemplos de medidas a redundância ou o aumento da confiabilidade de componentes, a substituição de substâncias químicas por outras de menor periculosidade, o afastamento dos inventários em relação à população, a redução de inventários e das condições operacionais (temperatura, pressão), entre outras”.

A Cetesb, em seu manual, indica em forma de guia como deve ser realizado um estudo de análise de risco para empreendimentos pontuais. A Figura 17 a seguir ilustra esse guia de orientação.

Figura 17. Guia para a elaboração de um estudo de análise de risco para empreendimentos pontuais.



Fonte: Cetesb (2003).

A Parte II da Norma se refere ao Termo de Referência específico para a elaboração de EAR no caso de dutos que, conforme já conversamos, deverá ser realizado independentemente da classificação das substâncias. O Termo de Referência pressupõe orientações semelhantes às já citadas anteriormente, por isso não serão detalhadas.

A Parte IV se refere a orientações e Termo de Referência para a elaboração de Programa de Gerenciamento de Risco (PGR). O estudo deve refletir a realidade do empreendimento, sendo um documento de gestão para ser usado pela própria empresa, como um orientador.

O PGR deve contemplar os seguintes itens:

- » **Caracterizações do empreendimento e do entorno** (conforme as diretrizes no EAR já descritos).
- » **Identificação de perigos** (idem).
- » **Revisão do Estudo de Análise de Risco ou da identificação de perigos:** realizar revisão de EAR periodicamente, para identificar novas situações de risco. Se houver apenas elaboração de PGR, revisar a identificação dos perigos, metodologias, ações sugeridas etc.
- » **Procedimentos operacionais:** conjunto de procedimentos acessíveis que devem ser anexados ao PGR que indiquem como funcionários devem executar as tarefas com segurança.
- » **Gerenciamento de modificações:** elaborar um procedimento (anexo W) para gerenciamento de perigos decorrentes de modificações eventuais (físicas ou administrativas).
- » **Manutenção e garantia de integridade:** o empreendimento deve possuir um programa de manutenção e garantia da integridade dos componentes considerados críticos, tais como vasos de pressão, tanques de armazenagem, linhas, sistemas de alívio, detectores, válvulas, bombas, entre outros, com o objetivo de mantê-los em condições seguras de operação (anexo Y).

- » **Capacitação de recursos humanos:** o empreendimento precisa possuir um programa de treinamento sobre o gerenciamento dos perigos pertinentes a cada uma das atividades.
- » **Investigação de incidentes e acidentes:** conforme anexo W, deverá ser contemplado um procedimento para essa ação.
- » **Plano de Ação de Emergência (PAE):** com ações rápidas em caso de emergência, além de *layout* da planta da fábrica para casos de evacuação, com os pontos de encontro, rotas de fuga e acionamento de alarmes.
- » **Auditoria do PGR:** é importante manter periodicamente a auditoria do PGR, para verificar a conformidade e a efetividade dos procedimentos descritos.

A norma segue com a descrição e todos os anexos, que não serão descritos nesse documento.

Essa norma tem sido aplicada no Estado de São Paulo e tornou-se elemento importante no direcionamento das ações dos empreendimentos que utilizam substâncias enquadradas como perigosas em alguma parte do processo, ajudando a minimizar e evitar os acidentes com tais empreendimentos, diminuindo, conseqüentemente, os riscos para população, funcionários e meio ambiente.

MÉTODOS DE ANÁLISE DE RISCOS

UNIDADE III

AMBIENTAIS

Já vimos que um risco é, segundo Andrade e Turrioni (2000) *apud* Barata (2007), a avaliação de um perigo associando a probabilidade de ocorrência de um evento (incidente ou acidente) e a gravidade de suas consequências.

Podemos dizer que, em praticamente todos os processos, sempre haverá riscos, seja pela sua natureza, seja pelos produtos associados. Por exemplo, o manuseio de óleo lubrificante tem aspecto ambiental associado não apenas à possibilidade de um incêndio, mas também à possibilidade de um derrame acidental que leve a um impacto de contaminação do solo e/ou da água.

O desenvolvimento das técnicas de Análise de Risco constituiu um marco na maneira de explorar, consolidar e documentar esses riscos, permitindo que estes fossem previstos e/ou gerenciados. A Análise de Risco é um conjunto de práticas que permitem aumentar a confiabilidade dos sistemas técnico e organizacional em indústrias (PORTO; FREITAS, 1997). É um conjunto de métodos que, aplicados a uma atividade ou processo, identificam e avaliam qualitativamente e quantitativamente os riscos que essa atividade representa à população vizinha, ao meio ambiente e à própria empresa.

A análise que determina técnicas para o gerenciamento de risco e o controle de perdas por ser realizada por fatores tecnológicos, econômicos e sociais.

Os tecnológicos se relacionam com o desenvolvimento de processos mais complexos, como o uso de novos materiais e substâncias, e de condições operacionais, como pressão e temperatura, consideravelmente mais severas e mais passíveis de risco. Já os fatores econômicos relacionam-se com o aumento da escala das plantas industriais, o aumento da produtividade e a permanente redução dos custos do processo, para aumento da competitividade.

Os fatores sociais estão relacionados à proximidade de empreendimentos com concentrações demográficas, comunidades, ou organizações comunitárias fortemente preocupada com questões ambientais e de segurança (RUPPENTHAL, 2013).

Segundo o Manual da Fepam (2001), os principais resultados de uma análise de riscos são: a identificação de cenários de acidentes, suas frequências esperadas de ocorrência e a magnitude das possíveis consequências.

É também considerada um elemento fundamental para as boas práticas em um Sistema de Gestão Ambiental aplicado em uma organização, juntamente com outras práticas, como auditorias, uso de indicadores ambientais, indicadores de desempenho, avaliação de impacto ambiental, gestão ambiental de fornecedores e educação ambiental, entre outras.

Além disso, a Análise de Risco desenvolve a multidisciplinaridade a partir de elementos necessários das diversas perspectivas – biológicas, sociais, psicológicas etc. – na busca de uma abordagem mais abrangente dos fenômenos relacionados aos riscos tecnológicos ambientais (PORTO; FREITAS, 1997).

As ferramentas para a Análise de Risco são várias e se aplicam para momentos distintos das etapas de um processo industrial, podendo, dessa forma, ser combinadas, o que torna a avaliação mais completa. Algumas dessas ferramentas possibilitam também a definição de ações para controlar ou até eliminar os riscos, caso estes sejam identificados.

Segundo a Unep (1992), os resultados do uso das ferramentas de análise de risco são importantes também para decidir previamente a localização geográfica dos processos e das operações industriais perigosas; os investimentos que devem ser feitos em equipamentos de prevenção a acidentes; a criação de rotinas operacionais e de manutenção; e a elaboração de documentos de segurança para a organização.

De acordo com Brown (1998), as mais importantes técnicas de identificação de perigos ou Análise Qualitativa de Risco são APP, HAZOP, WHAT-IF, FMEA: “devido ao seu caráter bem estruturado e sistemático, essas técnicas são capazes de serem altamente eficazes na detecção de potenciais de risco”.

No capítulo a seguir, serão descritas as principais técnicas de Análise de Riscos Ambientais.

CAPÍTULO 1

Análise Preliminar de Perigo (APP) ou Análise Preliminar de Riscos (APR)

Trata-se de uma técnica qualitativa que, basicamente, analisa os riscos de uma planta de um sistema, ou seja, durante a fase de concepção ou desenvolvimento de um novo sistema, para determinar os riscos que poderão estar presentes na sua fase operacional (DE CICCIO; FANTAZZINI, 1994).

É, portanto, desenvolvida na fase de projeto e desenvolvimento de qualquer processo, produto ou sistema, possuindo especial importância na investigação de sistemas novos de alta inovação e/ou pouco conhecidos.

Além disso, por ser básica, pode ser utilizada como ferramenta de revisão geral de segurança em sistemas já operacionais, revelando aspectos que, às vezes, passam despercebidos.

Geralmente, essa técnica precede outras mais detalhadas de análise, já que seu objetivo é determinar os riscos e as medidas preventivas antes da fase operacional.

A APP foi criada na área militar, aplicada inicialmente como revisão dos sistemas de mísseis novos. Esses sistemas, de alto risco, haviam sido desenvolvidos para operarem com combustíveis líquidos perigosos, mas a APP foi aplicada para verificar a possibilidade da não utilização desses materiais de alto risco ou então estudar medidas preventivas para o uso destes.

O escopo da APP abrange os eventos perigosos em que as causas tenham origem na instalação analisada, englobando tanto as falhas de componentes ou sistemas como eventuais falhas humanas, como erros operacionais ou de manutenção, entre outros. O grau de risco é determinado por uma matriz de risco gerada por profissionais com maior experiência na unidade orientada pelos técnicos que aplicam a análise.

Quando a APP é realizada por um grupo, propicia uma reflexão sobre todo o projeto, sendo, assim, utilizada como um importante instrumento de treinamento (BARATA, 2007).

Aplicação

Como já dissemos antes, essa metodologia pode ser aplicada tanto para o início do desenvolvimento de um projeto até como uma revisão geral de segurança para sistemas e instalações que já estão em operação.

O uso da APP ajuda a selecionar as áreas da instalação nas quais outras técnicas mais detalhadas de análise de riscos ou de contabilidade devam ser usadas posteriormente. A APP é precursora de outras análises.

Para a aplicação da APP, são importantes algumas informações necessárias sobre o projeto, como dados da região, das instalações e das substâncias manipuladas, como as informações descritas abaixo, no Quadro 3.

Quadro 3. Informações necessárias para a realização da APP.

Região	» Dados demográficos; » Dados climáticos;
Instalações	» Premissas de projeto; » Especificações técnicas de projeto; » Especificações de equipamento; » <i>Lay-out</i> da instalação; » Descrição dos principais sistemas de proteção e segurança.
Substâncias	» Propriedades físicas e químicas; » Características de inflamabilidade; » Características de toxicidade.

Fonte: Adaptado de Aguiar (2006).

É preciso também uma equipe para a aplicação da APP. Nessa equipe, é preciso ter membros que tenham experiência com segurança de instalações, por exemplo, e principalmente conhecimento do projeto a ser desenvolvido.

O reconhecimento antecipado dos perigos existentes no processo economiza tempo e também reduz os custos oriundos de modificações posteriores da instalação/sistema. Isso faz com que os custos em termos de equipe para a realização da APP tenham um retorno considerável.

A partir dessas informações, a metodologia para a aplicação de APP pode compreender algumas etapas, como (AGUIAR, 2006):

» definição dos objetivos e do escopo da análise;

- » definição das fronteiras do processo/instalação analisada;
- » coleta de informações sobre a região, a instalação e os perigos envolvidos;
- » subdivisão do processo/instalação em módulos de análise;
- » realização da APP (preenchimento da planilha);

- » elaboração das estatísticas dos cenários identificados por categorias de risco (frequência e severidade);
- » análise dos resultados e preparação do relatório.

Segundo De Cicco e Fantazzini (1994b), o desenvolvimento de uma APR passa por algumas etapas básicas, como:

- » revisão de problemas conhecidos, buscando questões similares e experiências passadas que determinem riscos que poderão ocorrer;
- » revisão da missão a que se destina, estabelecendo propósitos e limites de atuação para delimitar o sistema que a missão irá abranger;
- » determinação dos riscos principais e/ou potenciais que podem causar lesões, danos a equipamentos e perdas em geral;
- » elaboração de meios de eliminação e/ou controle dos riscos;
- » pesquisa de métodos que sejam eficientes para a limitação dos danos gerados caso ocorra perda de controle sobre os riscos;
- » Indicação de responsáveis pela execução das medidas e ações preventivas e corretivas.

Com base em uma APP, obtém-se uma listagem de riscos com medidas de controle a serem adotadas, estabelecendo responsabilidades no controle do risco. Para cada risco analisado, busca-se determinar:

- » os eventos acidentais a ele associados;
- » as consequências da ocorrência desses eventos;
- » as causas básicas e os eventos intermediários;
- » os modos de prevenção das causas básicas e eventos intermediários;
- » os modos de proteção e controle, dada a ocorrência das causas básicas e eventos intermediários.

Para executar a análise em si, o processo/installação em estudo deve ser dividido em módulos de análise, por meio do preenchimento de planilhas para cada módulo, conforme a descrição vista em campo. Nos Quadros 4 e 5 a seguir indicam exemplos de modelo de tabela de APP:

Quadro 4. Exemplo de tabela de APP.

Análise Preliminar de Perigos								
Empreendimento: Subsistema:			Referências:			Data: Revisão:		
Perigos identificados	Causas	Modos de detecção	Efeitos	Cat. Freq.	Cat. Serv.	Cat. Risco	Recomendações/ Observações	H.A.

Fonte: Santana e Coutinho (2009).

Quadro 5. Modelo exemplo para aplicação de APP.

Análise Preliminar de Perigos APP								
Companhia: Data:			Subsistema:			Referências:		
Perigo	Causa	Modo de Detecção	Efeito	Cat. Freq.	Cat. Serv.	Cat. Risco	Recomendações/ Observações	Identificador de Cenário

Fonte: Alves (2015).

Conforme podemos observar, embora tenha algumas alterações pontuais, geralmente as tabelas serão semelhantes a estas, buscada em dois autores distintos, mas que possuem as mesmas informações para referência.

Detalharemos brevemente cada uma dessas colunas. Da mesma forma que Alves (2015), vamos utilizar como exemplo de um cenário de risco a liberação de substância inflamável devido à ruptura de tubulação, podendo levar à formação de uma nuvem inflamável e tendo como consequência incêndio ou explosão, por exemplo.

- » *Coluna 1 – Perigo:* listagem dos perigos identificados, como eventos potencialmente causadores de danos às instalações, aos colaboradores, à população do entorno e/ou ao meio ambiente.
- » *Coluna 2 – Causa:* listagem das potenciais causas para cada perigo. Essas causas podem envolver tanto falhas intrínsecas de equipamentos (vazamentos, rupturas, falhas de instrumentação etc.) quanto erros humanos de operação e manutenção.

- » *Coluna 3 – Modo de detecção*: a detecção de um perigo pode ser realizada por meio de instrumentos (alarmes, sinalização etc.) ou de percepção humana (visual, odor, ruído etc.).
- » *Coluna 4 – Efeito*: nessa coluna são registrados os possíveis efeitos de cada perigo, como incêndio, explosão, nuvem tóxica, entre outros.
- » *Coluna 5 – Frequência*: de acordo com a metodologia de APP, os cenários de acidentes são categorizados pela sua frequência de ocorrência, para cada um dos cenários identificados, conforme Tabela 7 indicada adiante.
- » *Coluna 6 – Severidade*: também é categorizada a severidade das consequências de cada um dos cenários identificados. As categorias de severidade utilizadas no presente trabalho estão descritas na Tabela 8 a seguir.
- » *Coluna 7 – Risco*: a partir da combinação das categorias de frequência e severidade, obtém-se a Matriz de Riscos, conforme será descrito adiante na Tabela 9, que permite uma indicação qualitativa do nível de risco de cada cenário identificado.
- » *Coluna 8 – Medidas/Observações*: anotação das medidas que devem ser tomadas para diminuir as frequências, severidade ou outras observações sobre o cenário em estudo.
- » *Coluna 9 – Identificador do Cenário de Acidente*: numeração do cenário para facilitar a consulta posterior do caso.

Conforme dissemos anteriormente, os cenários de acidentes precisam ser classificados em categorias diferentes de frequência de ocorrência para os cenários identificados. Essa avaliação de frequência pode ser determinada tanto por um banco de dados de registro de acidentes ou pela experiência dos componentes do grupo avaliador da APP.

As categorias de frequência utilizadas atualmente para a APP estão indicadas no Quadro 6 abaixo:

Quadro 6. Categorias de frequência de ocorrência dos cenários de risco.

Categoria	Denominação	Faixa de Frequência (anual)	Descrição

A	EXTREMAMENTE REMOTA	$F < 10^{-4}$	Conceitualmente possível, mas extremamente improvável de ocorrer durante a vida útil do processo/instalação.
B	REMOTA	$10^{-4} < f < 10^{-3}$	Não esperado ocorrer durante a vida útil do processo/instalação.
C	IMPROVÁVEL	$10^{-3} < f < 10^{-2}$	Pouco provável de ocorrer durante a vida útil do processo/instalação.
D	PROVÁVEL	$10^{-2} < f < 10^{-1}$	Esperado ocorrer até uma vez durante a vida útil do processo/ instalação.
E	FREQUENTE	$f > 10^{-1}$	Esperado de ocorrer várias vezes durante a vida útil do processo/ instalação.

Fonte: Aguiar (2006).

Além da frequência, é importante classificar os cenários de acidente por categorias de severidade esperada de ocorrência para cada um dos cenários identificados. As categorias de severidade em uso para a realização de APP estão descritas no Quadro 7 a seguir:

Quadro 7. Categorias de severidade dos perigos identificados.

Categoria	Denominação	Descrição/Características
I	DESPREZÍVEL	» Sem danos ou danos insignificantes aos equipamentos, à propriedade e/ou ao meio ambiente. » Não ocorrem lesões/mortes de funcionários, de terceiros (não funcionários) e/ou pessoas (indústrias e comunidade); o máximo que pode ocorrer são casos de primeiros socorros ou tratamento médico menor.
II	MARGINAL	» Danos leves aos equipamentos, à propriedade e/ou meio ambiente (os danos materiais são controláveis e/ou de baixo custo de reparo). » Lesões leves em empregados, prestadores de serviço ou membros da comunidade.
III	CRÍTICA	» Danos severos aos equipamentos, à propriedade e/ou ao meio ambiente. » Lesões de gravidade moderada em empregados, prestadores de serviço ou em membros da comunidade (probabilidade remota de morte). » Exige ações corretivas imediatas para evitar seu desdobramento em catástrofe.
IV	CATASTRÓFICA	» Danos irreparáveis aos equipamentos, à propriedade e/ou ao meio ambiente (reparação lenta ou impossível). » Provoca mortes ou lesões graves em várias pessoas (empregados, prestadores de serviços ou em membros da comunidade).

Fonte: Aguiar (2006).



Cabe salientar que cada classe de severidade e frequência deve ser adequada ao sistema analisado, a fim de tornar a análise do risco mais preciso e menos subjetivo possível.

Com esses fatores estabelecidos, há uma matriz que indica frequência e severidade dos eventos indesejáveis, conforme a Figura 18 e o Quadro 8.

Figura 18. Matriz de Classificação de Risco: frequência x severidade.

		Frequência				
		A	B	C	D	E
Severidade	IV	2	3	4	5	5
	III	1	2	3	4	5
	II	1	1	2	3	4
	I	1	1	1	2	3

Fonte: Adaptado de Aguiar (2006).

Quadro 8. Legenda da Matriz de Classificação de Risco: frequência x severidade.

Severidade	Frequência	Risco
I – Desprezível	A – Extremamente Remota	1 – Desprezível
II – Marginal	B – Remota	2 – Menor
III – Crítica	C – Improvável	3 – Moderado
IV – Catastrófica	D – Provável	4 – Sério
	E – Frequente	5 – Crítico

Fonte: Adaptado de Aguiar (2006).

Finalmente procede-se à análise dos resultados obtidos, listando-se as recomendações de medidas preventivas e/ou mitigadoras pela equipe de APP. O passo final é a preparação do relatório da análise realizada.

Resultados

A análise dos resultados obtidos é feita a partir dessas informações levantadas, listando-se as recomendações de medidas preventivas e/ou mitigadoras a partir das experiências da equipe que elabora a APP.

A priorização das ações é determinada pela categorização dos riscos, ou seja, quanto mais prejudicial ou maior for o risco, mais rapidamente e efetivamente deve ser solucionado.

Na APP, são levantadas as causas das eventuais ocorrências, a frequência destas e suas consequências. Como uma avaliação qualitativa, os resultados obtidos também serão qualitativos, sem estimativas numéricas, por exemplo.

Essa análise qualitativa dá norte para a priorização das medidas para a redução desses riscos instalação/sistema analisado.

O passo final é a preparação do relatório da análise realizada.

Documentos como a Norma Técnica p4.261/2011 da Cetesb e o Manual de Análise de Riscos (nº 01/2001) da Fepam sugerem modelos que o relatório final da APP pode seguir; entretanto, basicamente é importante que se apresentem as informações descritas abaixo (ALVES, 2015):

- » descrição dos objetivos e escopo da análise;
- » descrição do sistema, aspecto de operação, manutenção e possíveis modificações;
- » metodologia e critérios adotados;
- » apresentação da APP com modelo, planilhas, estatísticas e conclusões gerais;
- » referências bibliográficas e anexos com os fluxogramas utilizados.

Vantagens e desvantagens da técnica de APP

A principal vantagem é ser um método mais abrangente que um simples *checklist*, informando as causas que ocasionaram a ocorrência de cada um dos eventos, suas consequências, severidade e frequência de ocorrência, podendo determinar mais facilmente as formas de mitigação e prevenção.

Como desvantagem, requer maior tempo para a execução de todo o processo até o relatório final, necessitando de uma equipe com grande experiência em várias áreas de atuação, como processo, projeto, manutenção e segurança (AGUIAR, 2006).

É importante, no entanto, lembrar que esse método tem grande utilidade no seu campo de atuação, porém necessita ser complementado por técnicas mais detalhadas e apuradas. Em sistemas que sejam já bastante conhecidos e complexos, em que as ações conduzem a um grande número de informações sobre riscos, essa técnica pode não ser a indicada, sendo melhor a aplicação de outras técnicas mais específicas.

Para tais casos, que exigem técnicas mais específicas, analisaremos no Capítulo 2 a seguir o Método HazOp.

HazOp (*Hazard And Operability Studies*)

O termo *HazOp* origina-se do inglês *Hazard and Operability Study*, conhecido aqui como “Estudo de Perigos e Operabilidade”, e é a técnica projetada para identificar os problemas de operabilidade de uma instalação de processo, detectando perigos que possam gerar acidentes nas diferentes áreas da instalação.

Esse método é indicado para a implantação de novos processos na fase de projeto ou até mesmo nas modificações – grandes ou pequenas – de processos já existentes (RUPPENTHAL, 2013). É importante considerar que alguns acidentes ocorrem porque os efeitos secundários de pequenos detalhes ou modificações são subestimados, parecem pouco significativos a princípio.

Além disso, ela atende aos princípios gerais de auditoria ambiental preconizados na NBR ISO 14010, mostrando-se capaz de identificar impactos em etapas posteriores à Avaliação de Impacto Ambiental, sendo, dessa forma, mais efetiva para complementar o sistema de gestão ambiental (SGA) em empreendimentos industriais (BARATA, 2007).

O desenvolvimento da metodologia requer o trabalho conjunto de uma equipe de pessoas de diferentes funções, aliando as competências individuais ao raciocínio interdisciplinar para evitar falhas e facilitando a compreensão dos problemas das diferentes áreas e interfaces do sistema.

A equipe deve ser constituída de, no máximo, sete a oito pessoas, de áreas de conhecimento diferentes. O coordenador da equipe deve ter experiência com estudos de HazOp para que consiga conduzir a metodologia de forma satisfatória, enquanto os outros membros devem ter conhecimento nas diversas áreas relacionadas ao processo existente.

Como exemplo, vamos indicar as diferenças em relação à equipe de plantas industriais em fase de projeto e as já existentes.

A composição para uma planta industrial já existente deve ter uma equipe com, pelo menos, esses conhecimentos (SOUZA, 1995):

- » Líder de equipe: alguém que saiba dominar o método HazOp, tenha experiência de liderança e atenção meticulosa aos detalhes das etapas

de análise, podendo ser independente da planta ou projeto que está sendo analisado.

- » Chefe do projeto: normalmente o engenheiro responsável pelo projeto.
- » Engenheiro de processos: quem elabora o fluxograma do processo.
- » Engenheiro de automação: responsável pelo conhecimento dos sistemas automatizados do processo.
- » Eletricista: se o projeto envolver aspectos importantes de continuidade no fornecimento de energia, essa pessoa também deverá fazer parte do grupo.

Para as plantas já existentes, a equipe deve contar com profissionais, além do líder da equipe e do engenheiro responsável pela operação do processo, como:

- » supervisor chefe: profissional que está em contato direto com o processo e sabe o que acontece de fato;
- » engenheiro de manutenção;
- » responsável pela instrumentação: que garante a manutenção do processo, como engenheiro de automação ou eletricista, entre outros;
- » engenheiro de pesquisa e desenvolvimento, entre outros profissionais como especialistas em determinadas áreas do processo, meio ambiente etc.

A equipe procura identificar as causas de cada desvio e, caso sejam constatadas consequências relevantes, são avaliados os sistemas possíveis de proteção para controlar a situação. Se a equipe considerar que outras medidas ou dispositivos de segurança são necessários, são feitas as recomendações cabíveis. A vantagem das discussões coletivas é que elas estimulam a criatividade a partir da interação de pessoas de diferentes formações.

Embora os membros da equipe tenham objetivos comuns, como a obtenção de instalações por um menor custo, mais segura, fácil de operar, menos impactante para o meio ambiente, há limitações técnicas de cada um para todos os assuntos, cabendo a estes dar maior ênfase à sua área de atuação. Essa aparente diferença de interesses

ajuda a fazer com que os prós e os contras de cada alteração sejam exaustivamente examinados antes de se tomar uma decisão final.



“A técnica de HazOp foi utilizada pela primeira vez na década de 1960 pela indústria britânica *Imperial Chemical Industries, Ltd.* A empresa buscava desenvolver um método para analisar perigos no processo a partir das condições básicas de operação, efetuando modificações nos parâmetros e observando as consequências dessas mudanças” (NOLAN, 1994 *apud* SELLA, 2014).

A melhor fase para realizar o estudo é quando o projeto encontra-se razoavelmente consolidado, uma vez que o método requer consultas a desenhos, plantas físicas das instalações, entre outros documentos, mas ainda é possível realizar alterações de projeto sem muitas despesas. Financeiramente, o HazOp é ótimo quando aplicado a novas plantas, no momento em que o projeto está estável e documentado, ou para plantas existentes ao ser planejado um remodelamento (ALVES, 2016).

O principal objetivo dessa metodologia é a investigação minuciosa de cada segmento de um processo para descobrir os possíveis desvios das condições normais de operação, identificando as causas responsáveis por tais desvios e as respectivas consequências. Uma vez encontradas as causas e as consequências desses desvios, a metodologia procura propor medidas para eliminar ou controlar o perigo ou para sanar o problema de operabilidade da instalação.

Embora esse seja o foco, é importante realizar a definição de quais pontos devem ser abordados pelo grupo de estudo, ou seja, a razão pela qual se está desenvolvendo uma análise dessa natureza. Entre as razões que podem conduzir à realização de um HazOp, podemos citar:

- » checar os itens de segurança de um projeto;
- » melhorar a segurança de uma planta existente;
- » checar a segurança dos procedimentos de operação de um processo;
- » verificar o funcionamento da instrumentação de segurança;
- » decidir sobre o local onde pode ser construída uma unidade industrial;

- » desenvolver uma lista de questões (*checklist*) a serem apresentadas ao fornecedor de uma determinada tecnologia.

Além dos objetivos do estudo, faz-se necessária a determinação de quais fatores ou pessoas são afetados pelo desenvolvimento do HazOp, como:

- » a segurança dos empregados (na planta em estudo ou nos arredores desta);
- » os danos aos equipamentos ou à planta;
- » a perda de produção;
- » a segurança pública;
- » os impactos ambientais.

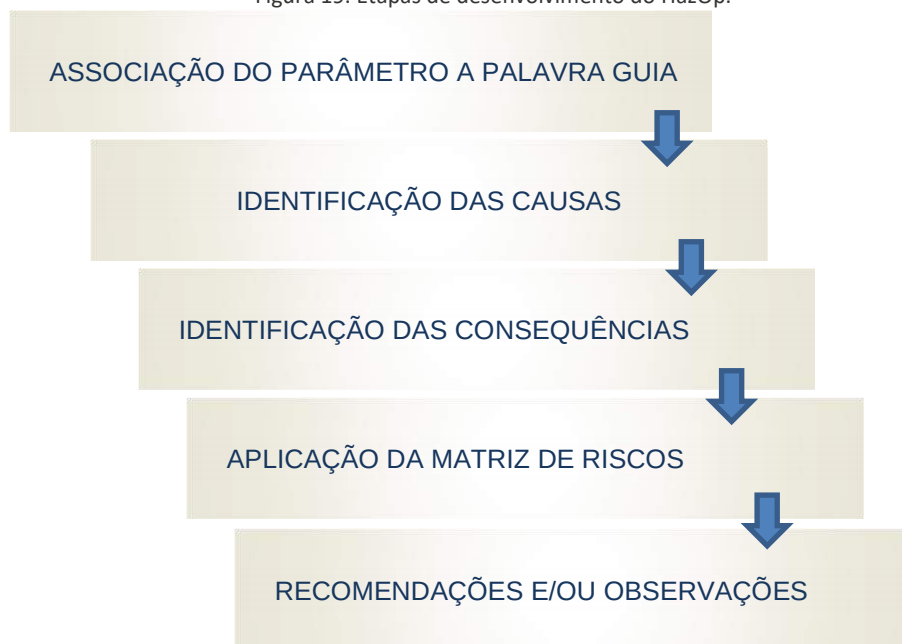
Procedimentos

A técnica HazOp é baseada em um procedimento indutivo qualitativo, no qual o grupo examina um processo e sistematiza perguntas que surgem naturalmente por meio da interação entre os membros, embora instigadas a partir de uma lista de palavras-guia. Em resumo:

- » deve-se realizar a divisão de uma unidade/sistema em menores subsistemas para facilitar a aplicação do método;
- » escolher pontos a serem analisados, chamados de nó;
- » aplicar palavras-guias para analisar os desvios possíveis dos nós. Para cada desvio, investigar possíveis causas de ele ocorrer. Para cada causa, verificar quais são os meios disponíveis para detecção desta e quais seriam as suas possíveis consequências. Verificam-se, posteriormente, formas de eliminar a causa do desvio ou minimizar as suas consequências;
- » uma vez analisados todos os desvios, prosseguir a análise de outro nó.

A Figura 19 a seguir ilustra um breve organograma das etapas de aplicação do HazOp.

Figura 19. Etapas de desenvolvimento do HazOp.



Fonte: Adaptado de Sella (2014).

Conceitos para o desenvolvimento do HazOp

Alguns conceitos são importantes para melhor compreensão do método:

- » Nós: subdivisões no fluxograma, pontos, lugares ou seções dos processos/equipamentos em que há a investigação dos parâmetros em busca de desvios. Por exemplo: da válvula de retenção à montante (entrada) do vaso de pressão até a válvula de bloqueio à jusante (saída).
Fluídos diferentes normalmente são analisados em nós diferentes.
- » Palavras-guia: palavras utilizadas para qualificar ou quantificar os desvios de intenção, a fim de estimular o esforço mental para descobrir possíveis desvios. Elas devem ser compreendidas por todos os membros da equipe e associadas aos parâmetros de processo (vazão, temperatura, pressão) e as usualmente utilizadas são: não, nenhum, mais, menos, também, entre outras.
- » Intenção: como se espera que a planta opere sem os desvios.
- » Desvios: afastamentos da intenção inicial, descobertos a partir da aplicação sistemática de palavras-guia aos parâmetros do processo (SELLA, 2014).

- » Causas: razões pelas quais podem ocorrer desvios, como falhas em equipamentos, erros humanos, imprevistos do processo, ações externas etc.
- » Consequências: resultados dos desvios verificados.
- » Observações/Recomendações: sugestões ou alternativas para mudanças em projeto, processo, ou comentários sobre testes.

O Quadro 9 a seguir apresenta um modelo de planilha utilizada para o desenvolvimento da HazOp.

Quadro 9. Modelos de planilhas para elaboração do HazOp.

Palavra-Guia	Parâmetro	Desvio	Causas	Efeitos	Observações e Recomendações

Fonte: Cetesb (2003).



O HazOp é efetivo na identificação de incidentes previsíveis, mas também é capaz de identificar as mais sutis combinações que levam a eventos pouco esperados.

Cabe lembrar que em um HazOp a operabilidade é tão importante quanto a identificação dos perigos, sendo que, na maioria dos trabalhos, encontram-se mais problemas de operabilidade quando comparados aos perigos.

Para evitar que algum detalhe seja omitido pela equipe, a reflexão deve ser executada analisando cada circuito, linha por linha, para cada tipo de desvio passível de ocorrer no funcionamento do processo. Por isso, é importante o uso das palavras-guia, identificando os desvios que podem ocorrer caso a condição proposta pela palavra-guia ocorra. O Quadro 10 a seguir indica uma série de palavras-guia utilizadas e possíveis desvios gerados.

Quadro 10. Palavras-guia e descrição de desvio.

Palavras-guia	Descrição de desvio
Não/nenhum	Completa negação das intenções de projeto
Baixo/menos	Diminuição quantitativa de um parâmetro
Alto/ mais	Aumento quantitativo de um parâmetro
Parte de	Diminuição quantitativa de um parâmetro
Também/Bem como	Aumento quantitativo de um parâmetro
Outro que	Substituição completa de um parâmetro
Reverso	Oposto da intenção de projeto

Inverso	Oposto lógico da intenção de projeto

Fonte: Adaptado de Santana e Coutinho (2009); De Cicco e Fantazzini (2003).

No Quadro 11 mostra um exemplo de modelo de cruzamento dos parâmetros de processo, palavras-guia e desvios:

Quadro 11. Modelos de palavras-guia, desvios e parâmetros.

Parâmetro	Palavra-guia	Desvio
Fluxo	Não	Sem fluxo
	Menor	Menos fluxo
	Maior	Mais fluxo
	Reverso	Fluxo reverso
Pressão	Menor	Pressão baixa
	Maior	Pressão alta
Temperatura	Menor	Baixa temperatura
	Maior	Alta temperatura
Nível	Menor	Nível baixo
	Maior	Nível alto

Fonte: Cetesb (2003).

Quando identificadas as palavras-guias e os desvios respectivos, podem-se elaborar as alternativas cabíveis para que o problema não ocorra, ou seja, minimizado de alguma forma. No Quadro 12 abaixo mostra um modelo de relatório para o estudo HazOp.

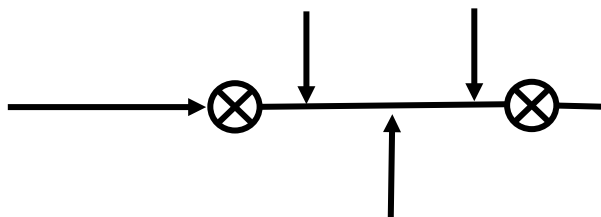
Quadro 12. Modelo de relatório para o estudo HazOp.

Palavra-guia	Desvio	Causas possíveis	Consequências	Ações requeridas

Fonte: Cetesb (2003).



Dica: sempre marque um nó de estudo na entrada de um grande equipamento e na saída de um equipamento que acumule produtos (ex.: vasos, tanques) e antes e depois de linhas que cruzam.



Fonte: Adaptado de Kletz (1984).

Importante: deve-se sempre fazer as perguntas em cada nó de estudo, começando sempre a buscar as falhas no início do sistema.

É importante salientar que, apesar do objetivo do método ser a identificação dos perigos e problemas operacionais, é importante que a equipe também se concentre em questões como verificação da segurança do projeto, dos empregados, perda de produção, impactos ambientais etc. Segundo Kletz (1984), no HazOp “a operabilidade é tão importante quanto a identificação de perigos”.

Considerando que a eliminação de problemas operacionais diminui os erros humanos e tecnológicos, os riscos consequentemente diminuem.

Embora haja o consenso de que o método deve ser utilizado na fase inicial do projeto, em que algumas modificações – de acordo com os desvios potencialmente detectados – ainda possam ocorrer sem que exista custos grandes, é possível analisar uma planta existente em operação. Para isso, é fundamental uma verificação prévia dos documentos e da atualização destes, especialmente especificações técnicas, procedimentos de manutenção, entre outros. Barata (2007) cita como exemplo de documentação recomendada para a execução do HazOp em uma planta operacional:

1. Fluxogramas de engenharia (P&ID's).
2. Fluxogramas de processo e balanço de materiais.
3. Folhas de dados de todos os equipamentos.
4. Especificações e padrões dos materiais das tubulações.
5. Memoriais descritivos, incluindo a filosofia de projeto.
6. Diagrama lógico de intertravamento e sua descrição.
7. Tabelas de causa e efeito.
8. Dados de projeto de instrumentos, válvulas de controle etc.
9. Dados de projeto e *setpoints* de todas as válvulas de alívio, discos de ruptura etc.
10. Diagrama unifilar elétrico.
11. Especificações das utilidades, tais como vapor, água de refrigeração, ar comprimido etc.
12. Desenhos que mostram interfaces e conexões com outros equipamentos na fronteira da unidade/sistema analisados.

13. Matriz de aceitabilidade acordada com a alta direção do Projeto.

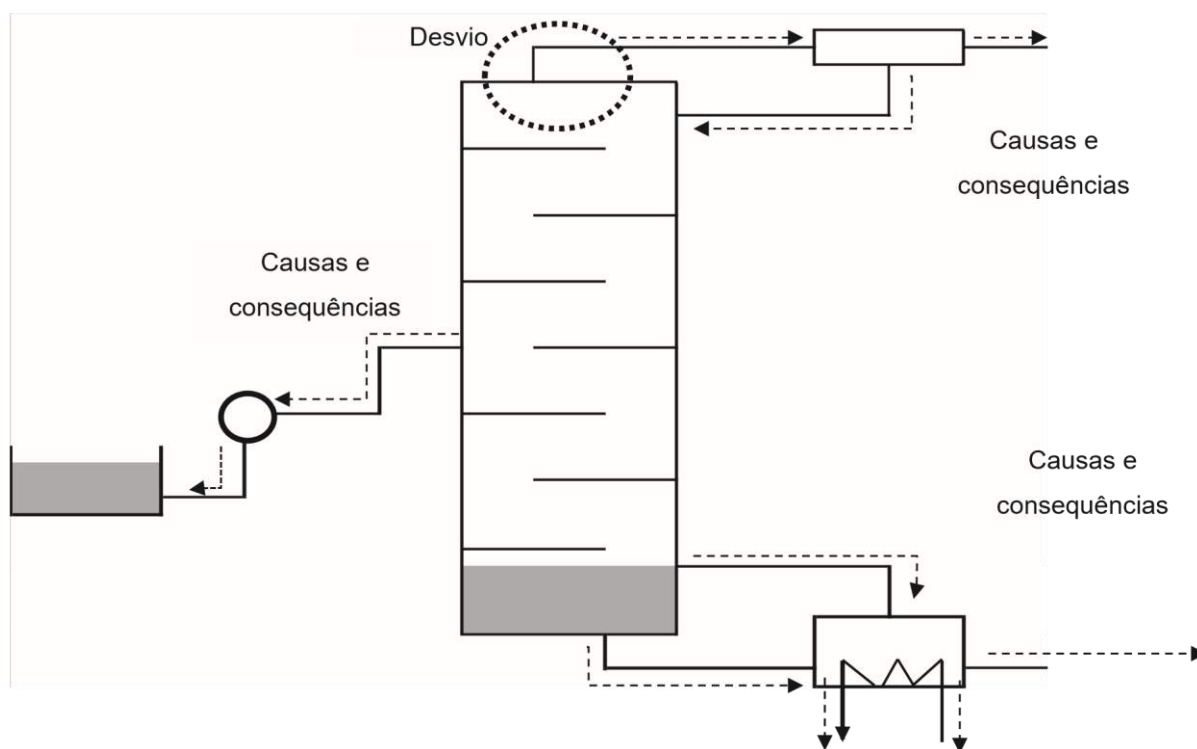
Processos contínuos e descontínuos

A metodologia foi desenvolvida para ser aplicada a processos contínuos, porém, com pequenas modificações, essa técnica pode ser empregada para processos descontínuos, embora os preparativos sejam mais extensos uma vez que, nesse caso, é importante selecionar um passo da operação e descrevê-las manualmente. Dessa forma, “as sequências de operação constituem a maior parte do HazOp” (ALVES, 2015).

Nas plantas de processos contínuos, uma decisão tomada em um ponto do projeto não invalida necessariamente as decisões prévias de outros pontos anteriores da planta que já tenham sido estudados. Diferentemente, nos processos descontínuos, qualquer alteração no projeto ou modo de operação pode ter implicações sobre outros pontos do processo (SOUZA, 1995).

A Figura 20 a seguir mostra um exemplo de processo contínuo de destilação.

Figura 20. Análise de um processo contínuo de destilação.
Nó em análise

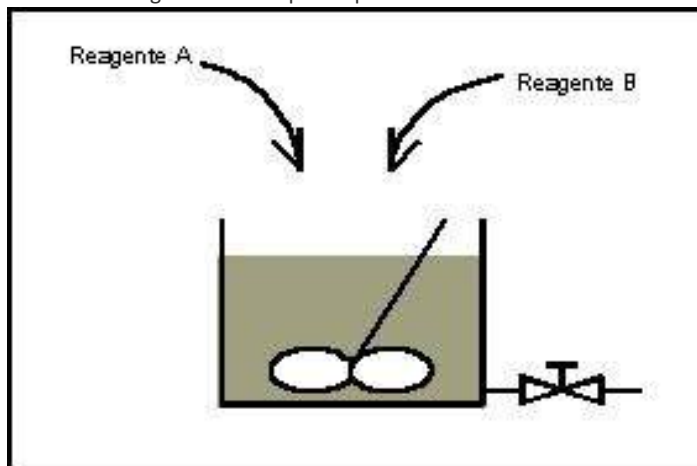


Fonte: Souza (1995).

Já em uma unidade descontínua, as palavras-guia devem ser aplicadas tanto para o processo automatizado quanto para os operacionais, que dependem de um operador.

A Figura 5 mostra um exemplo de processo descontínuo em que os reagentes A e B são alimentados manualmente para posterior processo de reação (SOUZA, 1995):

Figura 21. Exemplo de processo descontínuo.



Fonte: Souza (1995).

Como a colocação dos reagentes é um processo manual, a equipe de estudo deve considerar, nesse caso, por exemplo, questões que podem gerar desvios como, por exemplo:

- » não colocar o produto A;
- » colocar mais produto A;
- » colocar menos produto A;
- » colocar A com composição diferente do padrão;
- » colocar A com componentes a mais (contaminantes).

Quando ocorrerem casos de descontinuidade em um processo considerado contínuo, este deve ser considerado como descontínuo pela equipe de estudo do método HazOp.

Resultados

O maior resultado da aplicação do método é a identificação de todos os desvios que possam conduzir a eventos perigosos ou a problemas operacionais. Mas, além disso, é possível avaliar as consequências dos desvios existentes sobre todo o processo, a frequência da ocorrência dos desvios e qual é a melhor forma de prevenir ou minimizar tais consequências.

Entretanto, cabe lembrar que, como uma análise qualitativa, os resultados obtidos são puramente qualitativos, não fornecendo estimativas numéricas nem qualquer tipo de classificação em categorias.

Vantagens e Desvantagens

O método HazOp é ideal para ser empregado na fase final de elaboração do projeto de processo, apesar de também poder ser empregado na etapa de operação. Além disso, uma importante vantagem é a flexibilidade, a abrangência e a forma sistemática de identificação dos perigos e problemas operacionais (AGUIAR, 2006).

O método pode ser efetivo para descobrir desde incidentes previsíveis, como identificar eventos raros que possam resultar em incidentes que nunca ocorreram, por exemplo.

Outra vantagem é a integração da equipe, que passa a ter maior entendimento do funcionamento da unidade como um todo, em condições normais e quando ocorrem os desvios, podendo ser considerada um “simulador de processo”.

O método possui desvantagens, como, por exemplo, a necessidade de uma equipe disciplinar com a maior experiência possível, de muitas áreas de conhecimento distintas. A inexperiência da equipe pode não gerar os resultados esperados ou resultar em recomendações nem sempre pertinentes.

Além disso, o método avalia apenas as falhas de processo, sendo qualquer outro problema dificilmente identificado por essa técnica.

Comparativo entre as técnicas APP e HazOp

Como vimos anteriormente a técnica de APP, é interessante analisarmos um comparativo do que cada um desses métodos tem em comum, o que as diferencia e as principais vantagens e desvantagens de cada um.

No Quadro 13 a seguir indica as principais características de cada uma das técnicas estudadas até agora:

Quadro 13. Análise comparativa entre as técnicas APP e HazOP.

	APP	HazOp

Metodologia	» Indutiva qualitativa	
Objetivo	» Identificação de perigos genéricos.	» Identificação dos possíveis desvios das condições normais de operação.
Aplicação	» Fase inicial do projeto.	
	» Revisão geral de segurança de unidades em operação.	
		» Modificações de unidades de processo já em operação.
Natureza dos resultados	» Fornece uma ordenação qualitativa dos cenários de acidentes identificados (priorização das medidas propostas para redução dos riscos da unidade analisada).	» Identificação de todos os desvios acreditáveis que possam conduzir a eventos perigosos ou a problemas operacionais.
		» Uma avaliação das consequências (efeitos) desses desvios sobre o processo.
	» Qualitativos, não fornecendo estimativas numéricas.	
	» Geram informações úteis para análises subsequentes, principalmente para Avaliação Quantitativa de Riscos.	
Vantagens	» Informa as causas que ocasionam cada um dos eventos e respectivas consequências.	» Sistematicidade, flexibilidade e abrangência para identificação de perigos e problemas operacionais.
	» Obtenção de uma avaliação qualitativa da severidade das consequências e frequências de ocorrência dos cenários e do risco associado.	» Maior entendimento, pelos membros da equipe, do funcionamento da unidade em condições normais e, principalmente, quando da ocorrência de desvios, funcionando a análise de forma análoga a um “simulador” de processo.

Fonte: Aguiar (2006).

Basicamente, é importante dizer que, enquanto a técnica de APP é usada para detectar, sobretudo, falhas em equipamentos, o HazOp detecta com melhor eficiência as falhas de processo. Por isso, podemos afirmar que a técnica APP pode ser considerada um subconjunto da HazOp (AGUIAR, 2006).



“Nem todo desvio é um perigo, mas todo perigo é um desvio”.

Variações do HazOp

O método que, geralmente, usa palavras-guia pré-estabelecidas possui variações que se adaptaram para, em certas circunstâncias, facilitar o desenvolvimento da análise de risco. Como exemplo:

» *KNOWLEDGE-BASED HAZOP (KBH)* – HazOp
baseado em conhecimento

Nesse desdobramento do método, as palavras-guia são substituídas pelo conhecimento dos integrantes do grupo de estudo e por *checklists* específicos. A comparação das práticas presentes na base de conhecimentos com o projeto em análise gera uma lista de questões que são diferentes dos registros do HazOp baseado em palavras-guia, com perguntas como: “o projeto não deveria ser da seguinte forma...?”, ou “estas modificações minimizarão os riscos?” (SOUZA, 1995).

É um desdobramento para casos em que a técnica HazOp já é empregada há muito tempo, sendo o conhecimento adquirido incorporado dentro das práticas da empresa, tornando as experiências passadas incorporadas. Mas é importante que essa adaptação seja aplicada sem que haja negligência na análise, por isso ela pode ser um complemento a outras técnicas diferentes.

» *Creative checklist HazOp (CCH)*

Essa variação do HazOp utiliza a mesma estrutura básica do HazOp baseado em palavras-guia. No entanto, ele foi desenvolvido pensando em necessidades específicas para o estudo somente dos materiais a serem utilizados no processo (etapa inicial) ou para examinar as interações das unidades com o meio ambiente ou localização/proximidades das plantas industriais, por exemplo.

Os materiais a serem analisados passam por um *checklist* de riscos (inflamabilidade, toxicidade, reatividade etc.), e o grupo de estudo determina quais riscos podem estar presentes na utilização desses materiais. É analisada no método a localização de cada unidade do plano de localização da planta industrial associado aos riscos de cada material. O grupo pode identificar “unidades de risco” que apresentam riscos reais, podendo, assim, identificar as ações potenciais e/ou elaborar guias de procedimentos que devem ser seguidos na fase posterior do projeto para minimizar os riscos da planta.

Esse método é importante para, por exemplo, realizar modificações de *layout* das unidades, ou até mesmo abandonar e mudar o local de instalação (SOUZA, 1995).

Outros métodos de análise de risco

Análise de Modos de Falha e Efeitos (AMFE) – *Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)*

Essa é uma análise detalhada e, diferente das estudadas até agora, pode ser qualitativa ou quantitativa, permitindo descobrir falhas e estimar as taxas destas, como elas ocorrem, seus efeitos e traçar a diminuição das probabilidades de falha, aumentando a confiabilidade do sistema.

Esse método foi desenvolvido por engenheiros para permitir que eles determinassem a confiabilidade de produtos complexos. O termo confiabilidade é definido como a probabilidade de uma missão ser concluída com sucesso dentro de um tempo específico e sob condições específicas.

Para fazer isso, é necessário estabelecer como e quão frequentes são as falhas dos componentes, sendo, então, a análise estendida para avaliar os efeitos de tais falhas.

A AMFE é realizada primeiramente de forma qualitativa, na revisão sistemática dos modos de falha do componente, na determinação de seus efeitos em outros componentes ou determinando quais componentes cujas falhas têm efeito crítico na operação do sistema.

A análise quantitativa pode ocorrer posteriormente, com a criação de probabilidades de falhas de montagens, componentes etc.

Assim como nos outros métodos, o conhecimento pleno de todo o processo é fundamental para a aplicação da AMFE, para a identificação de perigos, análise ou avaliação dos riscos.

Há, como nos outros métodos, uma tabela modelo que deve ser preenchida pela equipe. Para preenchê-la, é importante que o método se proceda inicialmente dividindo o sistema para se analisar trechos ou subsistemas, podendo inclusive traçar diagramas de cada um desses subsistemas para determinar o interrelacionamento existente entre eles. Posteriormente, é importante o preparo de um *cheklist* dos componentes de cada subsistema e sua função específica.

Por meio da análise do diagrama e dos processos, é possível verificar os modos possíveis de falhas que possam afetar outros componentes. Segundo De Cicco e Fantazzini (1994c), os modos básicos de falha devem ser agrupados em quatro categorias:

- I. falha em operar no instante prescrito;
- II. falha em cessar de operar no instante prescrito;
- III. operação prematura;
- IV. falha em operação.

Posteriormente, é possível indicar os efeitos e estimar a gravidade de cada falha de acordo com categorias de risco e formular possíveis ações de compensação e reparos que podem ser adotados para eliminar ou controlar cada falha específica e seus efeitos.

No Quadro 14, a seguir indica o modelo para a aplicação do método AMFE:

Quadro 14. Metodologia AMFE

Item	Modo de falha	Causa da falha	Efeitos: – nos componentes – no sistema	Categoria de risco	Probabilidade de ocorrência	Métodos de detecção	Ações possíveis

Fonte: Aguiar (2006)

O método é eficaz para analisar de forma geral os modos de falhas de um produto e, por isso, é eficiente para aplicações em sistemas mais simples e de falhas mais singelas, porém, quando há componentes críticos (em relação à segurança do operador, por exemplo), a complexidade é maior, e recomenda-se o uso de outras técnicas de análise de risco.

What-if (WI)

É um procedimento de revisão de riscos de processos que se desenvolve por meio de reuniões de questionamento de procedimentos, instalações etc. de um processo, gerando também soluções para os problemas levantados.

O método examina as respostas do sistema diante das falhas de equipamentos, erros humanos ou condições anormais do processo. Para isso, é importante a constituição de uma equipe com conhecimentos básicos sobre o processo analisado e sobre sua operação. Essa equipe procura responder a questões do tipo “O que...se...?” (por exemplo, “O que

ocorreria se a válvula não abrisse na pressão especificada?”) na tentativa de identificar os riscos potenciais existentes no processo.

Os resultados são descritos em um relatório detalhado que pode servir como base de treinamento e revisões futuras.

Tem a vantagem de ser aplicado a qualquer processo industrial e em qualquer estágio de projeto ou desenvolvimento, no entanto não é tão sistemático quanto outras técnicas já vistas, por isso seu resultado depende essencialmente do conhecimento do grupo de análise.

É, normalmente, utilizado como complemento ou parte auxiliar de outras técnicas como Checklist, HazOp e AMFE, para tentar detectar falhas que eventualmente passaram pelas outras análises.

Checklist

Normalmente usado para identificar os riscos e deficiências de processos a partir de uma lista pré-estabelecida criada com base em processos similares. É um método muito utilizado para embasar e fortalecer os resultados de outras técnicas de análise de riscos.

What-if/Checklist (WIC)

Como o nome prevê, é possível unir as duas técnicas descritas acima combinando o levantamento gerado pela primeira e as características sistemáticas apresentadas pela segunda, resultando em uma análise mais detalhada e completa do sistema.

Técnica de Incidentes Críticos (TIC)

Criado pela Força Aérea dos EUA, o método busca identificar os riscos do sistema por meio de análise do histórico dos incidentes ocorridos. Este é um procedimento relativamente novo dentro da Análise de Riscos.

Análise de causa raiz – Root Cause Analysis (RCA)

Esse método permite a identificação e correção dos principais fatores que ocasionaram o problema, ou seja, a raiz destes. Como é um método que busca explicar por que ocorreu o problema, ele não busca soluções imediatas para ele.

O método possui terminologias próprias, com termos como **ocorrência** (condição que não esteja dentro da funcionalidade), **evento** (ocorrência em tempo real), por que (fator causal da ocorrência ou evento).

Para a aplicação desse método, há uma combinação de técnicas que auxiliam na identificação da causa raiz. Segundo Ruppenthal (2013), uma combinação é o uso do Diagrama de causa e efeito, também conhecido como Diagrama de Ishikawa (que você verá logo adiante), que permite identificar, explorar e apresentar graficamente as possíveis causas relacionadas a um problema, permitindo classificar os defeitos em categorias diferentes como: método, matéria-prima, mão de obra, máquinas, medição e meio ambiente. Essas categorias variam e não são preestabelecidas.

Outras técnicas são a dos **cinco porquês**, em que são feitas cinco perguntas sobre o porquê daquele problema, e a **reunião de análise causal**, ou *brainstorming*, que busca as causas dos problemas em reuniões e discussões entre a equipe, posteriormente propondo ações corretivas para evitar esses problemas no futuro (RUPPENTHAL, 2013).

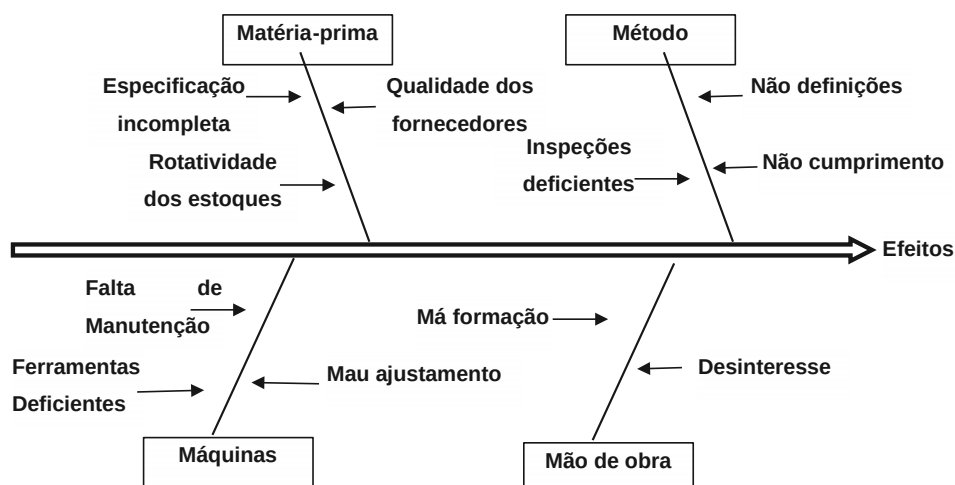
Análise de causa e consequência – ACC

Esse método utiliza como procedimento a construção de um diagrama de consequências que inicia por um evento inicial e, posteriormente, cada evento desenvolvido é questionado, possibilitando uma avaliação qualitativa e quantitativa das consequências destes, a vulnerabilidade ambiental, social, ou outra.

O diagrama é conhecido como *Ishikawa* ou *Espinha de peixe* (pois se parece com uma), no qual se escolhe um evento, de um lado se alinham as causas e, de outro, as consequências.

A Figura 22 a seguir ilustra um exemplo de Diagrama Ishikawa:

Figura 22. Diagrama Ishikawa ou Espinha de Peixe.



Fonte: Rupperthal (2013).

Técnica para Predição do Erro Humano – *Technique for Human Error Predicting (THERP)*

Busca identificar as atividades humanas que possam gerar riscos a partir da avaliação de fatores que influenciam a performance de operadores, técnicos e outros trabalhadores de plantas industriais.

Índices de Risco Dow e Mond – *Relative Ranking – Dow and Mond Indices*

O método fornece um meio fácil e direto para estimativa dos riscos de uma planta industrial, baseado na atribuição de penalidade e créditos a determinados aspectos da planta, como materiais e condições de processo que podem contribuir para um acidente, por exemplo.

Análise de Árvore de Falhas (AAF) – *Fault Tree Analysis (FTA)*

Técnica que constrói uma árvore lógica usando o raciocínio dedutivo a partir de uma falha de um sistema para determinar as relações lógicas de falhas de componentes e erros humanos que possam gerar esse evento. Utilizada para quantificar a frequência ou a probabilidade de falha de um sistema, ou seja, a sua confiabilidade.

Análise de Árvore de Eventos (AAE) – *Event Tree Analysis (ETA)*

Partindo-se de um evento básico resultante de uma falha específica de um equipamento ou erro humano, é possível determinar uma ou mais falhas subsequentes.

Diagrama de Árvore – DA

Método que desdobra os problemas para buscar sua causa raiz, organizando a relação de causa e efeito a fim de visualizar com clareza a propagação do problema a partir das suas causas.

Há inúmeros outros métodos que podem se enquadrar no contexto e na realidade de uma indústria ou empresa. Apesar de cada técnica de análise ter diferentes características, essa escolha pode ser difícil para uma indústria, sendo que a decisão, algumas vezes, não é unitária, havendo a seleção de várias técnicas de análise em conjunto que podem se complementar para analisar diferentes partes do processo ou diferentes tipos de riscos.

As técnicas de Análise de Riscos podem ser classificadas em qualitativas e quantitativas, ou ambas, conforme o objetivo a que se propõem e, principalmente, conforme a natureza dos seus resultados. No Quadro 15 a seguir indica algumas das técnicas apresentadas e sua natureza qualitativa ou quantitativa:

Quadro 15. Técnicas de Análise de Riscos e natureza dos resultados.

Técnica	Análise e resultados
Análise Preliminar de Riscos (APR)	Qualitativa
<i>What-if/Checklist</i> (WIC)	Qualitativa
Estudo de Operabilidade e Riscos (HazOp)	Qualitativa
Análise de Modos de falha e Efeitos (AMFE)	Qualitativa e Quantitativa
Análise de Árvore de Falhas (AAF)	Qualitativa e Quantitativa
Análise de Árvore de Eventos (AAE)	Qualitativa e Quantitativa

Fonte: Gomes e Mattioda (2011).

Além das técnicas de Análise de Riscos apresentadas, existem outros diversos instrumentos que auxiliam a aplicação das técnicas, que são fundamentais para o bom andamento e controle dos processos e para a diminuição dos riscos que possam ocorrer (GOMES; MATTIODA, 2011):

- » banco de dados de confiabilidade de equipamentos e sistemas;
- » documentação sobre vistorias, manutenção e controle dos equipamentos e sistemas;
- » banco de dados de falhas e acidentes;

- » programas computadorizados para simulação e cálculo da magnitude das consequências de eventos catastróficos, como incêndios, explosões, dispersão de gases tóxicos (Softwares: Whazan, Effect, Safeti etc.);
- » programas computadorizados para avaliação da vulnerabilidade de pessoas e de propriedades com base em funções de probabilidade, entre outros instrumentos.

A escolha da técnica a ser utilizada pode se basear no grau de especificidade que se pretende atingir ou na gravidade dos riscos, na complexidade do processo, nas informações necessárias, no custo, no tempo gasto com a análise, enfim, cada ponto deve ser analisado para buscar o método – ou os métodos – mais satisfatórios de análise de risco.

Segundo Souza (1995), é recomendável o uso de metodologias qualitativas inicialmente, pois estas apresentam uma relativa facilidade de execução e não necessitam de utilização de recursos adicionais como softwares e cálculos matemáticos. “As técnicas quantitativas complementam e aprofundam a análise qualitativa”. O mesmo autor reforça que técnicas de análise detalhadas e bem estruturadas, como HazOp ou FMEA, devem ser usadas como técnicas básicas para o desenvolvimento de uma Análise de Riscos de um processo.

Nos subsistemas menos complexos ou onde os riscos sejam menores, é possível fazer o uso de outras técnicas mais simples, enquanto que, em situações e sistemas mais complexos e de alto risco, recomenda-se desenvolver técnicas mais detalhadas e específicas. Segundo Souza (1995), o segredo está em selecionar as técnicas que melhor se adaptem às exigências da análise, utilizando uma técnica como base e complementando suas deficiências com outras técnicas de análise de maneira tal que se desenvolva um estudo eficiente mas que não se trabalhe demasiadamente o problema.



O acidente da Samarco e a sociedade de risco (ARTIGAS, 2015)

“A gravidade do acidente socioambiental ocorrido na Mineradora Samarco, em Mariana, MG, é uma amostra da ‘sociedade de risco’ em que vivemos, vislumbrada por Ulrich Beck. Nesta sociedade, em síntese bastante apertada, verifica-se que nos encontramos em uma época em que o risco deixou de ser previsível e mensurável, passando a ser utilizado para designar a probabilidade de ocorrência de um evento cujas consequências, em geral coletivas e de grande magnitude, não são de possível previsão ou mensuração.

De fato, ainda que fosse possível prever o rompimento das barragens da mineradora em questão, o risco que tal situação poderia ocasionar estaria ladeado de incertezas, seja quanto a sua probabilidade, seja quanto a sua magnitude. A bem ver, a dimensão dos efeitos de tal circunstância apenas poderia ser avaliada ao ser concretizada, como ocorreu, infelizmente, em Mariana”.

[...]

É o mesmo que ocorreu em Fukushima, no Japão, em que uma usina nuclear foi atingida em 2011 por um terremoto seguido de um tsunami, destruindo parte da usina e colocando em grave risco grande parte da população japonesa. Essa situação implicou em protestos mundo afora para impedir o avanço da geração de energia por fonte nuclear. Há, inclusive, alguns países que aderiram ao protesto e comprometeram-se a não mais autorizar atividades dessa natureza em seus territórios.

Como se vê, é preciso avaliar o acidente da Samarco não apenas sob o prisma da responsabilidade ambiental da empresa pelos danos causados. Certo que a mineração em geral é indubitavelmente necessária para o desenvolvimento econômico, por prover matéria-prima para a indústria em geral, faz-se necessário analisar o quanto a sociedade humana vem aceitando o risco incerto ou abstrato da sua concretização.

De fato, vivemos em uma ‘sociedade de risco’, que nos impõe uma nova responsabilidade, não só no sentido de reparação por um dano que ocorreu, e, sim, uma responsabilidade ética da humanidade pelos riscos abstratos e incertos que o desenvolvimento econômico vigente pode vir a causar aos recursos naturais e ao meio ambiente como um todo”.

Fonte: ARTIGAS, P. S. **O acidente da Samarco e a sociedade de risco.** Estadão. Artigo publicado em 12 de novembro de 2015. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/geral,oacidente-da-samarco-e-a-sociedade-de-risco,1795270>>.

Nesta Unidade, vamos falar sobre alguns materiais relacionados ao Gerenciamento de Risco. Mas antes vamos tratar do modelo de abordagem relativa aos riscos ambientais elaborados pela Organização das Nações Unidas (ONU) para minimizar ou evitar os efeitos dos riscos ambientais, das catástrofes que estes podem causar.

Serão descritos o Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) e o Plano de Atendimento a Emergência (PAE), ambos objetivando prevenir e combater acidentes e emergências que possam colocar em risco a integridade física dos trabalhadores, bem como a segurança da população e o meio ambiente.

CAPÍTULO 1

Elaboração de Planos de Risco

Neste capítulo, entenderemos um pouco mais sobre o Gerenciamento de riscos e a importância da elaboração dos Planos de Gerenciamento de Risco (PGR), dos Planos de Atendimento à Emergência (PAE) e como elaborá-los.

Referente aos riscos existentes e aos termos relativos à avaliação de risco, bem como à realidade atual e à influência do ser humano no desenvolvimento de situações de risco, é importante dizer que o planejamento é o principal instrumento de prevenção dessas ocorrências, de qualquer tipo de risco existente e classificado.

Quando falamos dos riscos urbanos, o planejamento é importante para evitar, inclusive, perdas de vidas e de bens decorrentes de desastres associados às causas naturais ou induzidos pela ação humana.

Com o uso da tecnologia, atualmente é possível prever riscos tanto ambientais quanto urbanos com mais facilidade e rapidez. A análise prévia dessas situações e as ações de

antecipação a elas são de extrema importância para a diminuição das perdas de vidas e de bens.

As experiências positivas no mundo e no Brasil para atuar ante os processos de prevenção de riscos a fim de reduzir essas perdas e danos fazem com que os modelos de gerenciamento de riscos sejam importantes para auxiliar o poder público a atuar para evitar acidentes, atender às emergências, reduzir ou acabar com os riscos ambientais, especialmente em áreas de ocupação precárias.

Pensando nisso, a ONU, por meio da sua divisão de Redução de Desastres, projetou um modelo básico padrão contendo a abordagem para enfrentar desastres naturais.

Modelo da ONU

Em 1991 a Undro – Escritório das Nações Unidas para a Redução de Desastres – pertencente à ONU elaborou um modelo de abordagem para o enfrentamento de acidentes naturais, baseando-se em dois eixos de ação: **prevenção e preparação**.

A prevenção está relacionada a estudos técnico-científicos para definição da magnitude de um desastre e no estabelecimento das medidas que possibilitem a proteção da população e de seus bens materiais. Esses estudos estão relacionados à fenomenologia dos processos, à análise dos riscos e à formulação de métodos, técnicas e ações que evitem ou reduzam os desastres (intensidade e quantidade de ocorrência).

As atividades de preparação estão relacionadas à logística no enfrentamento das situações de emergência ligadas ao trabalho da defesa civil, no que diz respeito a, por exemplo, evacuação de uma população em área de risco, proteção destas etc.

Tanto para a prevenção quanto para a preparação é importante, segundo esse modelo, aplicar algumas atividades básicas de acordo com cada necessidade, cada escala e tamanho de ocorrência:

- » **Identificação dos riscos:** reconhecer ameaças ou perigos e identificar possíveis áreas de risco. Para cada tipo de ameaça, deve-se descrever os fatores condicionantes, os agentes deflagradores e condicionantes e os elementos sob risco. É importante nessa etapa a identificação de acidentes já ocorridos, a consideração prévia de ocorrência de processos em um determinado local, a fim de reconhecê-los em situações similares eventuais.

- » **Análise de riscos:** a partir da identificação e do reconhecimento do risco existente, e de seu processo de ocorrência, é possível buscar elementos e informações da área de risco para avaliar as possíveis consequências. Informações como as formas de ocupação, vulnerabilidade dos moradores, declividade, solo, presença de cortes e aterros, fossas, sistema de drenagem, entre outros, são importantes. É possível, dessa forma, mapear e hierarquizar os níveis de risco existentes (baixo, médio, alto e muito alto).
- » **Medidas de Prevenção de Acidentes:** avaliação da necessidade de intervenção para eliminar ou ao menos reduzir os riscos, com a formulação e execução de medidas pensadas a curto, médio e longo prazos. Com isso, é possível desenvolver planos de prevenção de acidentes e riscos, especialmente por parte do poder público, no caso de um município, por exemplo.
- » **Planejamento para Situações de Emergência:** é necessário para enfrentar condições adversas que podem ocorrer, especialmente quando se tratam de desastres naturais e suas imprevisibilidades. Por isso, ações devem ser planejadas na hipótese de possíveis desastres, definindo em tempo a logística para o atendimento dessas emergências, como a elaboração de Planos de Contingência, em que constem as ações a serem realizadas, as pessoas responsáveis pela sua execução, a quantidade e a origem dos recursos materiais e humanos, as provisões necessárias à situação a ser enfrentada e as formas de evacuação ou proteção de uma dada população.
- » **Informações públicas e treinamento:** em condições ideais, a educação básica e também a complementar deveria ser enriquecida com a inclusão de conhecimentos e experiências locais e suas soluções, a fim de serem conhecidas pela população. A capacitação – tanto dos agentes públicos, especialmente àqueles vinculados à defesa civil e planejamento urbano, quanto dos moradores de áreas de risco – é uma estratégia importante no gerenciamento de riscos.

As principais formas de abordagem podem ser cursos, oficinas, palestras, cartilhas, entre outras formas culturais ou artísticas que transmitam e possibilitem a capacitação na prevenção de riscos, com a linguagem que se faça compreender pela população e pelas faixas etárias destinadas ao conhecimento. Podem ser utilizados meios de comunicação de massa, como rádio, televisão e imprensa escrita para divulgar tais conteúdos.

Seguindo ainda a lógica do modelo da ONU demonstrado acima, após a identificação e análise dos riscos, segue-se com a etapa de ações estruturais e não estruturais. As **ações estruturais** apontam para a execução de um plano voltado para a redução dos riscos, por meio da implantação de obras de engenharia de forma planejada (muros de arrimo, sistema de drenagem, revegetação, remoção de moradias etc.).

Mas, em muitos casos, o problema é mais complexo para uma resolução construtiva. Muitas vezes, não há tempo para a execução de obras, sendo necessário planejar formas de monitoramento permanente e prevenção de acidentes nas áreas de risco, sendo necessário ações chamadas **não estruturais**.

Essas ações se resumem a medidas para a redução de riscos, sem que haja obras de engenharia, utilizando, para isso, ações do poder público que envolvam também moradores e sociedade.

Segundo o Ministério das Cidades (2008), as medidas estruturais mais indicadas são:

- » definir e implementar o modelo de gestão de risco que atenda aos problemas do município;
- » fortalecer a Defesa Civil e o Controle Urbano Municipal através da ampliação e capacitação dos quadros técnicos, da melhoria das condições de infraestrutura e do respaldo político da gestão municipal;
- » atualizar o conhecimento dos processos destrutivos e do mapeamento das áreas de risco e propor medidas de mitigação e redução de risco;
- » garantir monitoramento permanente dos setores de risco alto e muito alto e atualizar sistematicamente os cadastros das famílias que ocupam esses setores;
- » considerar a redução de risco nos Planos Diretores Municipais;
- » realizar ações de conscientização dos moradores para os problemas da área que ocupam;
- » montar Planos de Contingência para o período de chuvas;
- » elaborar o Plano Municipal de Redução de Risco ou similar, para planejar as intervenções e obras necessárias.

Um dos melhores instrumentos sugeridos pelo Ministério das Cidades é o Plano Municipal de Redução de Riscos, que deverá conter informações e diretrizes de ações preventivas ligadas com a Defesa Civil.

Esses Planos Municipais devem ser realizados com base na Lei Federal nº 12.608, de 2012, que dá aos municípios a responsabilidade pelos estudos de áreas de risco, a partir do mapeamento de pontos críticos e o apontamento dos problemas decorrentes, como enchentes, deslizamentos de terra etc.



A Lei Federal nº 12.608, de 2012, estabelece, entre outras coisas, que é dever dos Estados desenvolver e instituir os Planos Estaduais de Proteção e Defesa Civil, bem como é o dever da união desenvolver o plano em nível nacional. Aos municípios, cabe ainda, além do mapeamento das áreas de risco, a declaração de emergências e calamidade pública, por exemplo, a vistoria dessas áreas e edificações contidas nestas, a mobilização da população local e a distribuição de suprimentos em situações de desastre.

A União tem o dever de auxiliar os municípios nesse suporte desde o planejamento até as medidas de ação após os desastres.

É importante salientar que, segundo a mesma lei, as medidas para a redução dos riscos de desastre poderão contar com a colaboração de entidades públicas e também privadas, além da sociedade em geral. Ou seja, as empresas também podem – e muitas vezes devem – contribuir para o desenvolvimento de ações que minimizem a chance de riscos de desastres.

É importante que esse Plano seja realizado com a intenção de mobilizar a participação das comunidades, especialmente as que ocupam as áreas de risco. Essa participação vem desde o levantamento dos acidentes até a proposição de soluções para a situação.

A apropriação das propostas do PMRR pela população local tem ainda um importante significado na garantia de continuidade das políticas municipais por ocasião das transições administrativas: a organização social é um eficaz elemento de pressão para evitar as descontinuidades no processo de implementação do Plano.

Para a elaboração do PMRR, é importante que se cumpra algumas etapas (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008).

- » **Fase 1 – Elaboração da Metodologia Detalhada:** definição do plano de trabalho para a execução dos serviços, com a metodologia, os instrumentos e recursos a serem empregados, especialmente no mapeamento de riscos.

- » **Fase 2 – Mapeamento de Risco em Escala de Detalhe:** mapeamento realizado preferencialmente por profissionais multidisciplinares, como geólogos, engenheiros, assistentes sociais, entre outros, além de representantes da Defesa Civil e da comunidade estudada. É nessa etapa que se deve estabelecer que a metodologia para o mapeamento tenha uma escala de detalhe (> 1:5.000) e sua hierarquização em quatro graus de risco (R1 – Risco Baixo; R2 – Risco Médio; R3 – Risco Alto; R4 – Risco Muito Alto).
- » **Fase 3 – Proposição das Intervenções Estruturais para a Redução do Risco:** após a identificação dos problemas, suas causas e consequências, deve haver proposição de intervenções ao menos para os setores em que haja Risco Alto ou Muito Alto, com intervenção da Defesa Civil;
- » **Fase 4 – Estimativa dos Custos das Intervenções:** valores estimados para os custos das intervenções levantadas anteriormente, o que pode ajudar as prefeituras a ordenarem as prioridades de ação, por exemplo.
- » **Fase 5 – Definição de Critérios para a Hierarquização das Intervenções:** tendo em vista a insuficiência de recursos para atender todas as demandas de uma só vez, é importante definir critérios em bases técnicas para subsidiar a decisão do gestor público, reduzindo favorecimentos e outras práticas menos recomendáveis.
- » **Fase 6 – Identificação de Programas e Fontes de Recursos para Investimentos:** uma importante fonte de recursos para a implementação de intervenções para a redução do risco é o próprio orçamento do município. Além disso, é importante considerar os recursos provenientes de políticas públicas das três esferas de governo – federal, estadual e municipal – em setores como saúde, habitação, saneamento, turismo, urbanização, entre outras, que muitas vezes podem compatibilizar interesses com o setor e o tratamento de áreas de risco, como áreas de encostas fragilizadas, com risco de erosão etc.
- » **Fase 7 – Sugestões de medidas não estruturais para a atuação da Defesa Civil:** o Plano Municipal de Redução de Risco deve incluir uma avaliação do sistema de defesa civil municipal e a indicação de propostas para a sua estruturação e consolidação. Essas propostas devem estar sintonizadas com a cultura local e com a realidade financeira e administrativa das prefeituras.
- » **Fase 8 – Realização de Audiência Pública:** é a oportunidade em que a sociedade, de modo geral, toma conhecimento do PMRR e de seu potencial

para a solução concreta dos problemas de acidentes em áreas de risco. Devem ser convidados, além da comunidade diretamente envolvida pelo estudo, representantes de setores organizados da sociedade, membros do legislativo, ministério público, órgãos e setores públicos com interface com o PMRR.

Ainda no que tange às ações públicas para a defesa, prevenção e mitigação dos riscos e acidentes ambientais, há um instrumento considerado fundamental para a Defesa Civil para a redução de desastres, o chamado **Plano de Contingência**. Esse plano deve possuir um conjunto de ações planejadas, com a definição clara dos responsáveis além da infraestrutura necessária para o enfrentamento de eventuais períodos críticos.

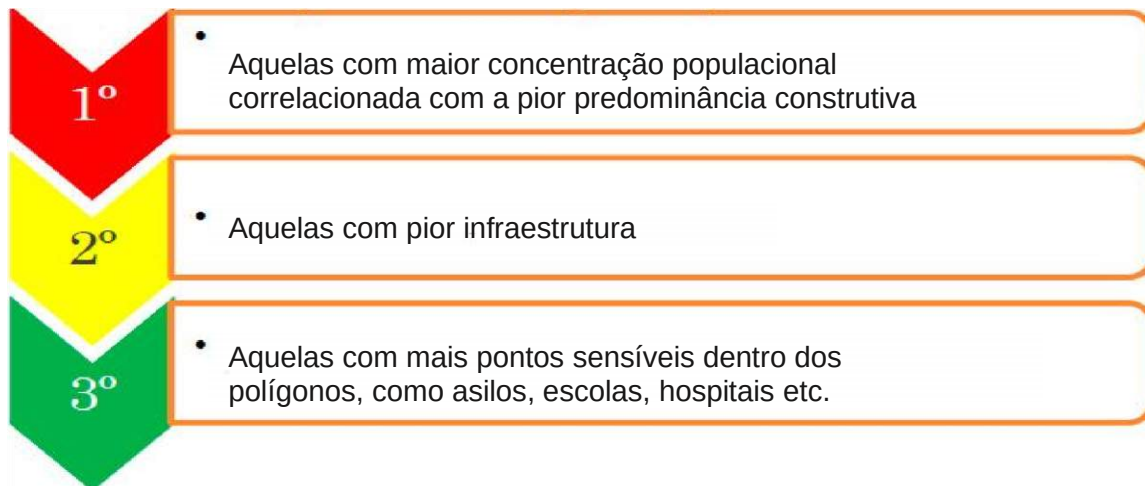
Plano de contingência

Um Plano de Contingência é elaborado para planejar previamente ações de preparação e de resposta a um cenário de eventual risco, ou hipótese de desastre. É uma medida de gerenciamento de risco que deve ser elaborado antecipadamente ao risco de desastre.

Para a elaboração de um Plano de Contingência, é importante desenvolver uma pesquisa, que caracteriza-se pelo levantamento de planos existentes anteriormente, definição da base de dados a ser adotada, caracterização dos aspectos das áreas que possam ser afetadas, bem como a revisão de toda a legislação municipal, estadual e federal, das normas e dos mecanismos de cooperação.

A caracterização do cenário de risco deve ser realizada a partir do desenvolvimento de metodologias que atentem à realidade local. Por exemplo, o Plano de Contingência do Município de Morretes (PR) adotou uma nomenclatura que enquadra áreas em que ocorrem desastres recorrentes, como enchentes, deslizamentos etc. A partir disso, caracterizar tais áreas de acordo com sua prioridade de atendimento conforme metodologia desenvolvida e ilustrada na Figura 25 a seguir:

Figura 25. Parâmetros de priorização de alerta nas áreas de atenção.



Fonte: Defesa Civil PR (2013).

A Análise Preliminar de Risco é importante para identificar os riscos e identificar quais as medidas de prevenção e preparação para as emergências eventuais, quais riscos devem ser priorizados, quais ações necessárias e quais os custos totais disso para a sua efetivação.

Segundo o Ministério das Cidades (2008), é importante considerar pelo menos quatro estágios:

- » Planejamento: levantamento das informações disponíveis sobre o risco e identificação de aspectos como geomorfologia, vias de transporte, existência de áreas de interesse social, por exemplo, entre outras que possam influenciar o planejamento.
- » Preparação: contato com os órgãos participantes para a concepção da logística necessária ao enfrentamento dos possíveis desastres naturais.
- » Resposta ou socorro: se dá logo após e durante a ocorrência dos desastres;
- » Reconstrução: etapa em que se dá a recuperação das áreas atingidas, buscando a volta à normalidade.

A montagem desse plano deve ser iniciada a partir do prognóstico climático – uma vez que as chuvas são um gatilho para a maioria das situações de risco e desastres naturais.



O período chuvoso pode variar de novembro a março para as regiões Norte, Sul e Sudeste e de abril a agosto para a região Nordeste. Os prognósticos para todas as áreas são elaborados trimestralmente pelos órgãos responsáveis pelas análises climáticas no Brasil.

O CPTEC/INPE, o INMET e outros laboratórios de meteorologia estaduais ou municipais reúnem-se sempre que necessário, de modo a manter atualizadas as informações sobre o clima para cada cidade ou região. Acompanhe em:

<<http://www.cptec.inpe.br/>>.

<<http://www.inmet.gov.br>>.

Além do prognóstico, o **Plano de Contingência** precisa também estabelecer critérios para a deflagração dos estados de defesa civil, como: estado de observação, atenção, alerta e alerta máximo. A Figura 26 a seguir mostra um exemplo desse tipo de classificação:

Figura 26. Estados de Defesa civil.



Fonte: Adaptado de Ministério das Cidades (2008).

É importante lembrar que, embora previsíveis, situações de risco e desastres como deslizamentos, inundações, além de desabamento de moradias vulneráveis, ocorrem em intensidades variáveis em função do rigor das chuvas, além do fato de persistirem situações de risco ainda não resolvidas pelo poder público. Por isso, correções do Plano devem ser feitas à medida que as ações são realizadas.

Como exemplos de processos de risco que podem ser identificados em um município para um Plano de Contingência, podemos citar:

- » inundações e enchentes;
- » escorregamentos;

- » vendaval;
- » acidentes tecnológicos (caso o município possua empresas que manipulem certos tipos de substâncias perigosas), como vazamentos de substâncias químicas;
- » incêndios (em habitações unifamiliares ou plurifamiliares, como edifícios, e estabelecimentos comerciais);
- » explosão;
- » naufrágios; »
- epidemias.

Posteriormente, é fundamental realizar a avaliação do Plano de Contingência, com o balanço das ações, quantitativo dos resultados, sugestões de correção e, sobretudo, estes resultados devem ser divulgados também à sociedade, em especial com a população das áreas de risco, de modo a permitir a revisão de comportamentos que criam e elevam o risco nessas áreas atingidas.

Um método muito simples para desenvolver um Plano de Contingência efetivo é desenvolvê-lo para responder às seguintes questões (FERREIRA; ALMEIDA, 2013):

- » *Por quê?* (causa – justificativa, diagnóstico)
- » *Para quê?* (resolver o problema - atender a situação do desastre)
- » *O quê?* (ações, atividades)
- » *Quando?* (em que condições, época do ano)
- » *Quem?* (órgãos e nome dos técnicos)
- » *Como?* (detalhamento dos procedimentos)
- » *Onde?* (área de atuação, público-alvo)
- » *Quanto?* (recursos financeiros)

É muito importante verificar, após a elaboração do plano, sua utilidade prática. Para analisar isso, muitas vezes um recurso válido é a realização de simulados que envolvam os potenciais representantes, elaboradores e envolvidos no plano.

O Plano deve ser claro e ter informações que possam ser encontradas com facilidade, por todos que estejam envolvidos, incluindo a sociedade civil por meio de seus representantes, ou seja, ele precisa também ter uma linguagem facilitada, para o entendimento de todos.

Por fim, o Plano de Contingência deve ser entendido como um documento dinâmico, ou seja, conforme surjam novas demandas, problemas que se alteram, falhas que são identificadas, mudanças de legislação e normatização, este estudo deverá sofrer manutenção sistemática para viabilizar a sua aplicação ao longo do tempo.

Plano de Auxílio Mútuo (PAM)

Além do Plano de Contingência, outro plano semelhante – e muitas vezes integrado – é o Plano de Auxílio Mútuo (PAM). Esse geralmente é desenvolvido em áreas de grande movimentação de cargas de produtos perigosos, polos petroquímicos, distribuidoras, áreas portuárias e pode ser desenvolvido também para os grandes centros urbanos.

Normalmente o PAM é organizado pela Defesa Civil com a participação do Corpo de Bombeiros e dos órgãos ambientais dos Estados e Municípios, além de uma grande rede de integração de diversos agentes como as empresas da região, voluntários da sociedade civil e das brigadas internas dessas indústrias interessadas, entre outros diversos agentes.

Normalmente, o PAM é utilizado em situações em que o contingente de pessoas de uma brigada é inferior à dimensão de um possível acidente.

Para a efetivação do PAM, é preciso atender a alguns requisitos (COSTA, 2012):

- » estatuto próprio e adesão das empresas registradas em cartório;
- » adesão voluntária;
- » ser sem fins lucrativos;
- » reunião mensal com os participantes.

Assim como o Plano de Contingência, o PAM deve promover treinamentos que abordem, no mínimo, o combate ao incêndio, proteção respiratória, primeiros socorros e resgate de

vítimas, além de ações específicas de acordo com as demandas levantadas. Além disso, é importante a disponibilização de *kits* de primeiros socorros e combate ao fogo.

Estudos de Análise de Riscos (EAR) e o Gerenciamento de Riscos

Conforme falamos anteriormente, a realização do EAR, basicamente, engloba a identificação de riscos, a avaliação de riscos e o gerenciamento de riscos. Neste material, vamos focar neste último.

Entretanto, novamente vamos apontar: quais os tipos de empreendimento que precisam realizar um EAR?

Normalmente, o EAR é aplicado às empresas que produzem, operam, armazenam, consomem, geram ou transportam quantidade expressiva de substâncias perigosas, especialmente tóxicas e inflamáveis, como ocorre em:

- » atividades químicas, farmacêuticas;
- » petróleo, petroquímico, gás;
- » empresas dotadas de sistemas de refrigeração (alimentícias, de bebidas, frigoríficos etc.);
- » de produção de água tratada; »
- transporte por oleodutos, gasodutos;
- » usinas termelétricas a gás, entre outros.

Outras instalações que operem com riscos diferenciados, como, por exemplo, explosivos ou reativos, deverão ser avaliadas caso a caso.

Gerenciamento de risco ambiental

Conhecer os perigos e avaliar os riscos decorrentes dos perigos identificados é fundamental para poder gerenciá-los dentro de uma organização. Não se pode gerenciar o que não se conhece.

Segundo Diniz *et al.* (2006), entretanto, o gerenciamento impõe a utilização do conceito de **priorização**, uma vez que, tendo em vista que os recursos são finitos, quais os riscos

mais importantes, ou seja, quais os que podem ser resolvidos imediatamente e quais os que há mais tempo para atacar? Quais os que não vou reduzir mais? Em outras palavras, o gerenciamento de riscos deve ser feito continuamente, pois não há como se eliminar todos os perigos impostos pela atividade industrial.

Dessa forma, podemos definir o gerenciamento de riscos como uma metodologia que visa aumentar a confiança na capacidade de uma organização em prever, priorizar e superar obstáculos para, como resultado final, obter a realização de suas metas, em que as incertezas presentes são sistematicamente identificadas, analisadas, estimadas, categorizadas e tratadas. Dessa forma, visa equilibrar os resultados de oportunidades de ganhos com a minimização de perdas, permitindo o aprimoramento contínuo do processo de decisão e a melhoria crescente do desempenho da organização (RUPPENTHAL, 2013).

Ao mesmo tempo que atua na proteção dos recursos humanos, materiais e financeiros da empresa, esse gerenciamento preocupa-se, também, nas consequências de eventos aleatórios que possam reduzir sua rentabilidade, sob forma de danos físicos, financeiros ou responsabilidades para com terceiros.

É uma importante área de atuação que busca administrar as possibilidades de falhas, buscando evitar que estas aconteçam e, caso aconteçam, que não se propaguem.

Segundo Ruppenthal (2013), outra forma de compreender o gerenciamento de riscos é por meio dos seus objetivos, como:

- » gerenciamento do processo de tomadas de decisão com confiabilidade;
- » identificação de ameaças, oportunidades, pontos fortes e fracos;
- » aproveitar incertezas e variabilidade;
- » implementar uma gestão proativa e não reativa;
- » tornar a alocação de recursos mais eficaz;
- » reduzir perdas e custos com prêmios, indenizações etc.;
- » atender às exigências legais;
- » atuar na melhoria da qualidade de vida de seus colaboradores por meio da redução de acidentes.

Além das leis e normas, as regulamentações relativas ao processo de licenciamento ambiental de instalações que lidam com produtos perigosos já requerem que tais instalações apresentem a estrutura dos seus PGRs como requisitos para a concessão da licença de operação. Como exemplo, podemos citar órgãos estaduais de controle ambiental como Feema-RJ, Fepam-RS, Cetesb-SP e CRA-BA, além da Cetesb-SP e do próprio Ibama, que requerem a apresentação de PGR, propondo inclusive uma estrutura específica para cada uma, que veremos adiante.

Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR)

O PGR é importante para prevenir a ocorrência de acidentes ambientais que possam colocar em risco tanto a integridade física dos trabalhadores quanto a segurança da população e do meio ambiente. Para a sua maior efetividade, o PGR deve ser estruturado contemplando todas as ações necessárias para a prevenção de acidentes ambientais, além da minimização de eventuais impactos caso ocorram situações anormais (CETESB, 2011).

Se considerarmos que o risco é uma função da frequência de ocorrência dos possíveis acidentes e dos danos (consequências) gerados por esses eventos indesejados, a redução dos riscos numa instalação ou atividade perigosa, por exemplo, pode ser conseguida por meio da implementação de medidas que busquem a redução das frequências de ocorrência dos acidentes (ações preventivas), como as suas respectivas consequências (ações de proteção).

Cabe lembrar que qualquer empresa que desenvolva atividades que possam acarretar em acidentes deve estabelecer um Programa de Gerenciamento de Risco (PGR), com o objetivo de prover uma sistemática que se dedique ao estabelecimento de orientações gerais de gestão, a fim de prevenir acidentes.

O desenvolvimento de um PGR foi fortalecido quando do desenvolvimento e divulgação da **Norma CETESB P4.261**, de 2011, que trata de um **Manual de orientação para a elaboração de estudo de análise de riscos**. Embora a norma tenha se desenvolvido ao passo da realidade inserida no Estado de São Paulo, ela é um importante instrumento e roteiro para subsidiar qualquer estudo e programa que envolva a análise de riscos.

A norma define o PGR como um “documento que define a política e diretrizes de um sistema de gestão, com vista à prevenção de acidentes em instalações ou atividades potencialmente perigosas” (CETESB, 2011).

A Norma pode ser aplicada em empreendimentos (indústrias, bases, terminais, dutos, entre outros) que manipulam (produzam, armazenam, transportam) substâncias inflamáveis e/ou tóxicas, nos estados líquido ou gasoso, bem como em casos de armazenamento ou transporte por duto de petróleo e seus derivados.



Empreendimentos que manipulam substâncias com perigos diferenciados, como, por exemplo, pós, peróxidos, oxidantes, explosivos e reativos são estudados caso a caso, uma vez que essa norma pode não ser suficiente para classificá-los quanto à periculosidade e elaboração dos estudos.

A Norma, que é dividida em quatro partes, tem em sua primeira parte a orientação na tomada de decisão de um empreendimento quanto à necessidade de apresentar um EAR ou de um PGR para os empreendimentos industriais durante o processo de licenciamento ambiental.

Basicamente, para essa tomada de decisão é importante saber qual a substância – que tem um grau de periculosidade – a ser manipulada e a distância desta para a população de interesse mais próxima, a partir de uma distância de referência (considerada segura). Ou seja, quando da ausência de pessoas dentro de um limite estabelecido para tal substância, o empreendedor fica dispensado da elaboração do EAR, devendo apresentar um PGR. Se houver pessoas nesse raio, deverá apresentar os dois.

Essa norma tem sido aplicada no Estado de São Paulo e tornou-se elemento importante no direcionamento das ações dos empreendimentos que utilizam substâncias enquadradas como perigosas em alguma parte do processo, ajudando a minimizar e evitar os acidentes com tais empreendimentos, diminuindo, conseqüentemente, os riscos para a população, funcionários e meio ambiente.



Como falamos anteriormente, vários órgãos ambientais possuem sua própria estrutura de apresentação do PGR. Vejamos a estruturação de cada um desses órgãos, incluindo o Ibama (DINIZ, 2006):

Feema-RJ e Fepam-RS

1. Alocação de responsabilidades
2. Informações de segurança de processo
3. Análise de Riscos
4. Procedimentos operacionais

5. Treinamento
6. Gerenciamento de modificações
7. Garantia de integridade e confiabilidade os equipamentos críticos e dos sistemas de proteção
8. Planejamento de emergência

Cetesb-SP e Ibama

1. Informações de segurança de processo
2. Revisão dos riscos de processo
3. Gerenciamento de modificações
4. Manutenção e garantia da integridade de sistemas críticos
5. Procedimentos operacionais
6. Capacitação de recursos humanos
7. Investigação de incidentes
8. Plano de Ação de Emergência (PAE) / Plano de Emergência Individual (PEI)
9. Auditorias

CRA – Cofic/PGR

1. Informações Básicas do Processo
2. Dados de Meio Ambiente, Saúde e Segurança
3. Equipamentos
4. Análise de Riscos
5. Procedimentos Operacionais
6. Treinamento
7. Contratados
8. Integridade e Manutenção Mecânica
9. Auditorias e Investigação de Incidentes
10. Gerenciamento de Mudanças
11. Procedimentos de Emergência / Planos de Evacuação e Resposta a

Emergências

O desenvolvimento, implementação e manutenção de um PGR, como alguns outros sistemas de Gestão, deve se basear no processo de PDCA (*Plan, Do, Check e Act*), estando sempre em processo de melhoria contínua, para minimizar os riscos da operação do empreendimento.

Todos os itens constantes no PGR devem ser claramente definidos e documentados, aplicando-se tanto aos procedimentos quanto aos colaboradores (funcionários e terceiros) que desenvolvam atividades no empreendimento. Toda a documentação de registro das atividades realizadas no PGR deve estar disponível para verificação pelos órgãos interessados, devendo ser mantida em arquivo por pelo menos seis anos (WVA, 2008).

As etapas do processo do PGR devem ser planejadas, uma vez que as ações preventivas e corretivas, regra geral, ocorrem com interferência no processo produtivo e, muitas vezes, concomitantemente. Uma falha em qualquer aspecto poderá resultar em atrasos e até em acidentes.

Nesse planejamento do PGR, existem alguns fatores importantes a serem considerados, alguns até críticos e que podem determinar uma hierarquia de prioridades, entre os quais destacamos:

- » nível de risco;
- » disponibilidade dos recursos financeiros;
- » disponibilidade operacional;
- » tecnologia disponível;
- » nível de qualificação profissional do pessoal etc.

Sem dúvida, o nível de risco é o que apresenta um fator de peso e exige a prioridade absoluta, pois muitos podem ter níveis catastróficos.

Medidas preventivas/corretivas

É importante ter em mente a hierarquia das medidas a serem tomadas estabelecidas em um PGR. As medidas para reduzir a probabilidade da ocorrência devem ser prioritárias sobre as medidas para reduzir a amplitude das consequências, uma vez que aquelas

evitam a ocorrência do evento danoso, enquanto que estas últimas apenas minimizam as consequências.

Segundo WVA (2008), pode-se dizer que “existem várias alternativas de ações preventivas que podem ser tomadas, umas mais, outras menos eficazes. Independente da medida adotada, o importante é que, como resultado, tenhamos um Nível de Risco considerado aceitável”.

O ideal é optar, prioritariamente, pelas medidas mais eficazes. A confiabilidade do resultado será sempre maior. Nesse sentido, as ações preventivas podem ser classificadas de acordo com a sua natureza e eficácia em (WVA, 2008):

- » Eliminação: as medidas dessa categoria são as mais eficazes, uma vez que elas eliminam totalmente o risco e devem ser tomadas sempre que isso for possível. Por exemplo, a substituição de um produto tóxico por outro não tóxico.
- » Minimização: as medidas não eliminam, mas minimizam o risco a um nível aceitável, a partir da diminuição da probabilidade de ocorrência ou do tamanho das consequências. Um grande exemplo – e muito comum – é o uso de equipamentos de proteção individual (EPIs) pelos colaboradores do empreendimento, fato que não elimina, mas diminui muito o risco de ocorrência de acidentes.
- » Enclausuramento: o risco é isolado, limitado a um ponto ou região que não causa danos, por exemplo, podemos citar a proteção das partes móveis das máquinas.
- » Isolamento: o risco é isolado, colocado em um lugar de acesso restrito. Por exemplo, a instalação de tanques afastados da área produtiva, com acesso limitado a apenas algumas pessoas autorizadas.
- » Uma vez que são implantadas as medidas corretivas e preventivas, os resultados devem ser avaliados continuamente, com inspeções aleatórias ou planejadas, auditorias, revisões de processos, análises de riscos, análises da alta administração, entre outras verificações.

Melhoria contínua/ inovação

Entre as ferramentas que podem ser utilizadas para propiciar a melhoria contínua/ inovação estão a qualificação profissional, o desenvolvimento tecnológico, a pesquisa bibliográfica, inclusive pela “Internet”, a participação em cursos, seminários de atualização e, logicamente, a formação de uma mentalidade interna para atingir essa melhoria contínua.

Mas é importante distinguir as ações de melhoria contínua/ inovação das ações de controle das não conformidades. Quando ocorre uma não conformidade de qualquer natureza, ela deve ser analisada, suas causas determinadas e medidas corretivas/preventivas adotadas. Essa ação não é considerada como parte do processo de melhoria contínua, mas como parte de processo de controle de desvios.

A Norma Cetesb P4.261 (2011) possui orientações específicas e um Termo de Referência para a elaboração de Programa de Gerenciamento de Risco (PGR). O estudo deve refletir a realidade do empreendimento, sendo um documento de gestão para ser usado pela própria empresa, como um orientador.

O PGR deve contemplar os seguintes itens:

» *Caracterizações do empreendimento e do seu entorno;*

» Atividades realizadas nos diferentes períodos (diurno e noturno); »

Substâncias químicas: todas as utilizadas no processo devem ser descritas.

- a. Informações das substâncias químicas do processo: incluem informações relativas aos perigos impostos pelas substâncias para a completa avaliação e definição dos cuidados a serem tomados, quando consideradas as características perigosas relacionadas com inflamabilidade, reatividade, toxicidade, entre outros. É fundamental a disponibilidade de fichas de informação e orientações específicas sobre tais riscos.
- b. *Tecnologia de processo*: inclui informações de diagrama de blocos, fluxogramas de processo, balanços de materiais, de energia, inventários com máximos, limites, além dos quais as operações podem ser consideradas inseguras para parâmetros como temperatura, pressão, vazão, nível e composição e respectivas consequências dos desvios desses limites.
- c. Equipamentos de processo: inclui informações sobre os materiais de construção, diagramas de tubulações e instrumentação, classificação de

áreas, projetos de sistemas de alívio e ventilação, sistemas de segurança, entre outros;

- d. Procedimentos operacionais: apresentam as informações de segurança do processo, razão pela qual um plano específico deve estabelecer os procedimentos a serem seguidos, em todas as operações desenvolvidas na planta industrial.
- » *Identificação de perigos e consolidação das hipóteses acidentais*: em forma de planilhas, a partir de diretrizes anexadas (Anexo H), com análise histórica de acidentes, formulando hipóteses acidentais a partir dos perigos identificados;
 - » *Revisão do Estudo de Análise de Risco ou da identificação de perigos*: realizar revisão de EAR periodicamente, para identificar novas situações de risco. Se houve apenas elaboração de PGR, revisar a identificação dos perigos, metodologias, ações sugeridas etc.
 - » *Procedimentos operacionais*: conjunto de procedimentos acessíveis que devem ser anexados ao PGR que indiquem como funcionários devem executar as tarefas com segurança.
 - » *Gerenciamento de modificações*: elaborar um procedimento (anexo W) para gerenciamento de perigos decorrentes de modificações eventuais (físicas ou administrativas).
 - » *Manutenção e garantia de integridade*: o empreendimento deve possuir um programa de manutenção e garantia da integridade dos componentes considerados críticos, tais como vasos de pressão, tanques de armazenagem, linhas, sistemas de alívio, detectores, válvulas, bombas, entre outros, com o objetivo de mantê-los em condições seguras de operação (anexo Y).
 - » *Capacitação de recursos humanos*: o empreendimento precisa possuir um programa de treinamento sobre o gerenciamento dos perigos pertinentes a cada uma das atividades.
 - » *Investigação de incidentes e acidentes*: conforme anexo W, deverá ser contemplado um procedimento para essa ação.

» *Plano de Ação de Emergência (PAE)*: com ações rápidas em caso de emergência, além de *layout* da planta da fábrica para casos de evacuação, com os pontos de encontro, rotas de fuga e acionamento de alarmes.

» *Auditoria do PGR*: é importante manter periodicamente a auditoria do PGR, para verificar a conformidade e a efetividade dos procedimentos descritos.

É sempre importante lembrar que o PGR é parte integrante do processo de avaliação do estudo de análise de riscos, que está inserido no processo de licenciamento ambiental, conforme já falamos antes. Por isso, as empresas em avaliação pelo órgão ambiental deverão apresentar um relatório com as diretrizes do PGR, no qual deverão estar relacionadas as atribuições, as atividades e os documentos de referência, tais como as normas técnicas, legislações e relatórios.

Todos os itens constantes do PGR devem ser definidos de forma clara e concisa e documentados, e devem ser aplicados também – além dos processos internos e aos funcionários da empresa – aos terceiros prestadores de serviço que eventualmente desenvolvam algum tipo de atividade nas instalações desse processo.

Toda a documentação de registro das atividades realizadas no que tange ao PGR, como os resultados de auditorias, serviços de manutenção e treinamentos, deve estar disponível para uma eventual verificação sempre que necessária pelos órgãos responsáveis.

Para descrever as principais ações de contenção e bloqueio dos eventos danosos apontados na análise de risco, é desenvolvido um PAE, documento no qual identifica-se cada evento em que há a possibilidade de impacto decorrente dos perigos levantados e descreve-se a ação para seu controle.

Antes de falarmos do PAE, é importante conhecer um pouco do contexto em que ele surgiu. Após sucessivos acidentes tecnológicos e industriais em alguns lugares do mundo, na década de 1980 iniciaram-se as discussões de acordos internacionais que comprometeram-se a implementar programas preventivos nas indústrias.

Assim, surgiram diversas diretivas em relação ao assunto.

A norma de especificação para sistemas de gestão da segurança e saúde no trabalho (OHSAS-18001) assim como a norma de sistemas de gestão ambiental, a NBR ISO 14001, apresentam a necessidade de preparação e atendimento a emergências. A NBR 14004, que trata das diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio do sistema de gestão ambiental, trata das ações de apoio necessárias para a preparação e o atendimento a emergência (SILVA; ADISSI, 2005).

A legislação nacional, por meio da Lei nº 6.514, de 1977, e da Portaria nº 3.214, de 1978, mostra que há uma preocupação com os aspectos emergenciais nas diversas atividades industriais, principalmente em relação aos recursos materiais e à formação de pessoal para combate a incêndio e primeiros socorros e uso de sistemas de alerta e alarmes.

A Instrução Técnica nº 16/2011 – Plano de emergência contra incêndio – também é um importante instrumento para indicar como elaborar um Plano de Emergência contra incêndio, aplicado às edificações e áreas de risco; de acordo com o Decreto Estadual nº 56.819, de 2011 – Regulamento de segurança contra incêndio das edificações e áreas de risco do Estado de São Paulo.

Mas, sem dúvida, o PAE é o documento mais popular dentro das organizações geradoras de risco. Por isso, falaremos mais sobre ele a seguir.

Plano de ação de emergência

A análise de risco, ação que deve ser realizada pelas organizações (obrigatoriamente, no caso do licenciamento ambiental) aponta um conjunto de eventos perigosos que requerem ações de contenção para o bloqueio desses eventos. Podemos, dessa forma, definir um PAE como um instrumento preventivo e de gestão operacional que indica a adoção de procedimentos lógicos, técnicos e administrativos para dar resposta rápida e eficiente às situações emergenciais.

O principal objetivo de um PAE é, sobretudo, preservar as vidas humanas, além das instalações e do meio ambiente, minimizando os efeitos de uma situação acidental sobre estes patrimônios. Assim sendo, um PAE se aplica a toda situação de crise que demanda ações de socorro às pessoas, proteção da propriedade ou do meio ambiente (SILVA; ADISSI, 2005).

Brevemente, o PAE deve possibilitar à organização (TAVARES, 2011):

- a. preparo a situações de emergência nas mais diversas possibilidades;
- b. ações corretivas para a redução dos impactos assim como os efeitos destes;
- c. melhoria contínua na resposta a situações de emergência;
- d. pronto reestabelecimento das atividades da organização após evento emergencial;
- e. observação de quais medidas preventivas podem ser adotadas na mitigação e nulidade de sua repetição.

É importante que o PAE contenha as hipóteses emergenciais, assim como recursos disponíveis e procedimentos documentados e implementados de seu controle. Os procedimentos devem ser simples e objetivos, para entendimento de todos e aplicação rápida. Por isso, o PAE prevê também treinamentos e exercícios de simulação para desenvolver entre todos na organização a habilidade de aplicá-lo.

Alguns fatores relevantes relacionados à própria estrutura da empresa podem interferir na eficácia do PAE. Segundo Silva e Adissi (2005), isso pode ocorrer quando há:

- a. políticas e programas de segurança abstratos, que percebem o acidente desvinculado da atividade de trabalho, descontextualizado;
- b. planos elaborados sem a participação dos operadores, aqueles que trabalham na organização e deveriam validá-los;
- c. planos que não acompanham a tecnologia aplicada (variabilidade técnica), a organização (variabilidade organizacional, treinamento, capacitação, dimensionamento de efetivos, organização temporal do trabalho) e as pessoas (competências, variabilidade humana);
- d. planos que não evoluem com a evolução da organização e das indústrias do mesmo ramo ou de ramos diferentes, que poderiam se constituir como situações de referência para os contínuos ajustes e adaptações;
- e. planos que não são acionados permanentemente em formas de simulação situada, que considere, também, os terceirizados da companhia.

Legislações e normas pertinentes ao PAE

Conforme já falamos anteriormente, a legislação brasileira possui leis para embasar e tornar necessária a elaboração de um PAE, especialmente para as indústrias que oferecem algum risco aos seus colaboradores, ao meio ambiente e à sociedade. Segundo a ABNT (2010), a organização deve:

[...] estabelecer, implementar e manter procedimentos para:

- a) identificar as potenciais situações e cenários de emergência;
- b) responder às situações de emergência e prevenir ou mitigar as consequências associadas adversas de Saúde e Segurança do Trabalho.

Também estabelece que a organização deve levar em consideração no planejamento:

- a. As necessidades pertinentes e relevantes das partes interessadas como serviços de emergência e seu entorno;
- b. Condições de testar periodicamente, seus procedimentos para responder às situações de emergência, quando praticável, envolvendo partes interessadas relevantes;
- c. A revisão periódica dos respectivos procedimentos que, quando necessário, devem ser atualizados, em especial após ensaios periódicos e a ocorrência de situações de emergência (ABNT, 2010).

Consta também na NR 23 o estabelecimento de parâmetros de proteção contra incêndios que devem estar em conformidade com a legislação estadual e normas técnicas, conforme determinado na CLT, no art. 200, inciso IV.

O plano de emergência com especificidade para combate ao incêndio, que já falamos anteriormente, deve ser elaborado para toda e qualquer planta, menos para as residências unifamiliares. Ele deve também mostrar a sua divulgação e treinamentos e exercícios de simulação.

A infração dessas normas, quando ocorrem danos, desencadeia a responsabilidade em favor da vítima, uma vez que a primeira ação da justiça é verificar se houve descumprimento das normas legais ou regulamentares que estabelecem os deveres do empregador quanto à segurança e saúde ocupacional.

Mas, afinal, o que precisa constar em um Plano de Ação de Emergência?

Independentemente do porte do empreendimento, todo PAE deverá conter informações básicas sobre os processos e sobre a estrutura da empresa e do atendimento em caso de emergência:

1. Introdução: com breve histórico da empresa, de acidentes, das atividades de atendimento a emergência e da disponibilidade de infraestrutura.
2. Objetivos: estabelecer procedimentos técnicos e administrativos a serem adotados em situações emergenciais na região.
3. Definições: é importante conter uma espécie de glossário com os principais termos técnicos utilizados.

Exemplo de Glossário:

Equipamento de Proteção Individual – EPI: dispositivo de uso individual, destinado a proteger a integridade física e saúde o trabalhador.

Emergência: situação crítica não desejável e inesperada, que representa risco à vida, à segurança e/ou ao meio ambiente, que foge à rotina de trabalho e requer uma intervenção rápida, segura e pautada em procedimentos específicos.

Evacuação de área: saída ordenada de todos os ocupantes de uma área onde está ocorrendo uma emergência para local seguro pré-estabelecido.

Exercício simulado: evento planejado no qual um cenário acidental é simulado para verificação dos procedimentos de resposta e das equipes de atendimento.

4. Caracterização: descrição da empresa, das instalações envolvidas, do entorno, das populações próximas e do meio ambiente.
5. Área de abrangência do PAE: local e área de abrangência.
6. Hipóteses acidentais: cenários acidentais considerados; áreas e setores envolvidos; tipos de acidentes e consequências esperadas em cada hipótese acidental considerada, com os impactos em áreas vulneráveis na região. O Quadro 16 mostra um exemplo de tabela desenvolvida para indicar essas hipóteses acidentais, causas e efeitos.

Quadro 16. Tabela de listagem de hipóteses acidentais.

Cenários acidentais		
Hipótese Acidental	Causas	Cenários
Rompimento de linha de dutos	» Erosão ou deslizamento do terreno. » Sobrecarga dinâmica nos cruzamentos e leitos de rodovias ou ferrovias. » Efeito dominó de acidentes nos oleodutos. » Flutuação do duto em páreas de inundações e rios. » Deslizamentos de suportes de trechos suspensos (pontes). » Uso de explosivos ou impactos de veículos. » Erro humano ou operacional, ou falha no sistema de segurança. » Sobre pressão por falha em dispositivo de proteção.	Grandes vazamentos com ou sem fogo.
Furo em linha de dutos	» Impacto externo devido à escavação mecanizada. » Descarga atmosférica. » Erro humano.	Grandes vazamentos com ou sem fogo.
Falha mecânica mascarada/escondida	» Falha na proteção catódica. » Falha mecânica (soldas, fissuras). » Falta de estabilidade/rigidez do meio de suporte.	Infiltração de GN em galerias de utilidades, afloração. Vazamentos com ou sem fogo. Explosão.

Falha mecânica aparente	» Impacto por veículo. » Corrosão, juntas e/ou componentes danificados. » Vandalismo em equipamentos.	Vazamento de GN nas estações de recebimento. Vazamento de GN nas áreas das válvulas de bloqueio. Pequenos vazamentos com ou sem fogo.

Fonte: Adaptado de Pae Sulgás (2012).

7. Estrutura organizacional: que contenha as atribuições e responsabilidades dos envolvidos; poderá conter organograma da estrutura e das equipes de trabalho.

Exemplo:

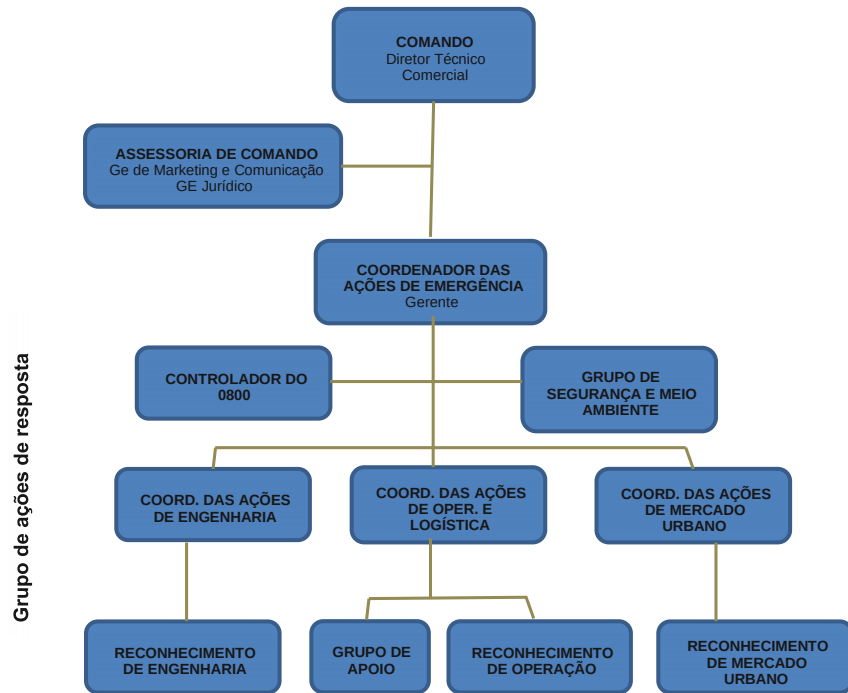
Figura 27. Listagem de participantes internos e externos do PAE.

3.1 Participantes da Sulgás » Diretor Técnico Comercial » Assessoria » Assessoria de » Gerência de » Engenheiros de » Técnico em Segurança do » Operador de Instalação e Distribuição de 3.1 Participantes de Entidades Externas » Corpo de » Companhias Ferroviárias » Defesa » Órgãos » Brigada » Prefeitura » Órgãos de » Empresas Transportadoras de Gás

Fonte: Adaptado de Pae Sulgás (2012).

Esse item deverá descrever cada função dos envolvidos, seja de comando, assessoria, bem como o Grupo de Ação de Respostas, com Coordenador das Ações de Emergência, Grupo de Apoio, entre outros grupos organizados da forma que couber à estrutura humana da organização. A Figura 28 a seguir mostra uma estrutura do Grupo de Resposta a Emergência de uma empresa de Gás:

Figura 28. Estrutura organizacional de respostas a emergências.



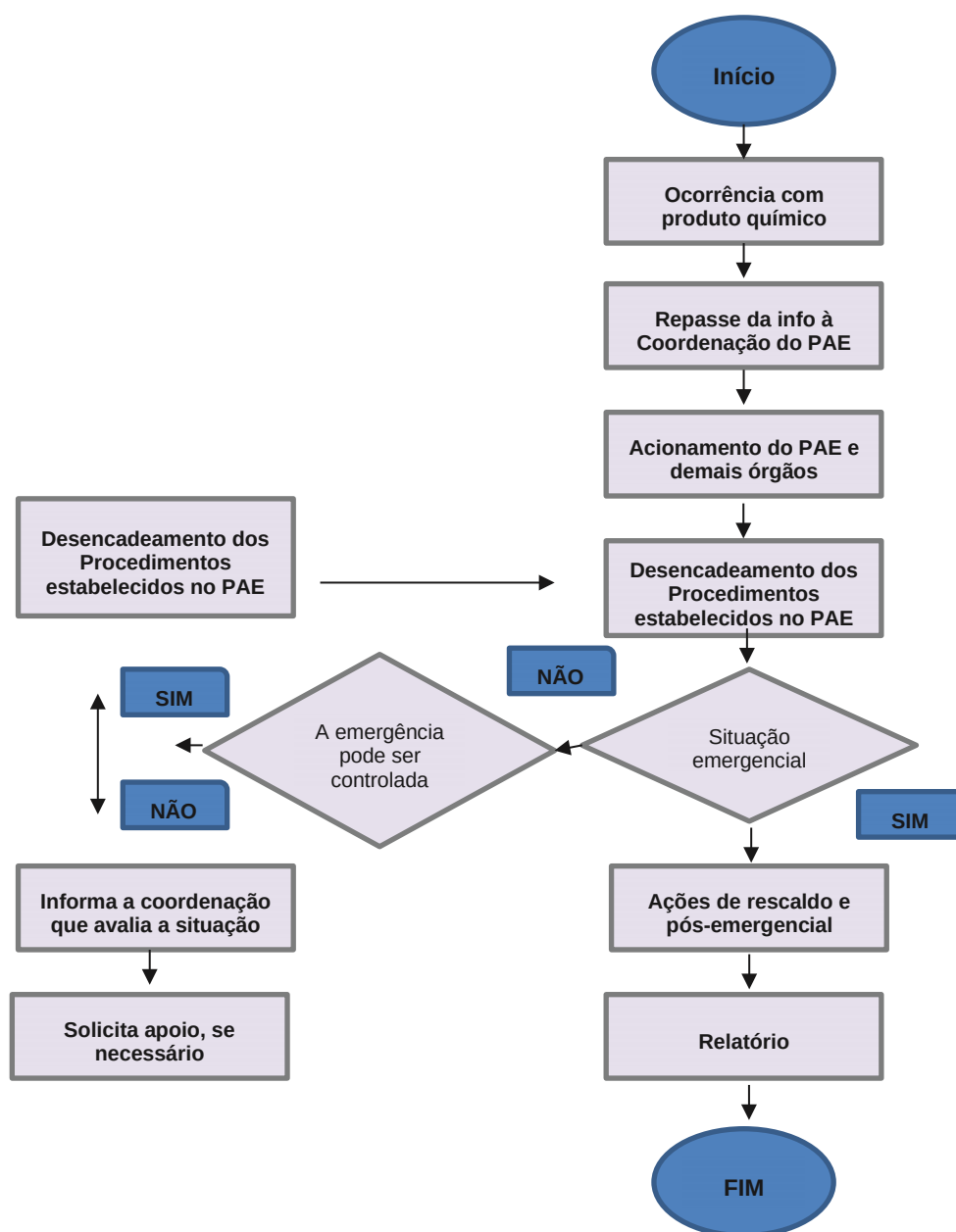
Fonte: Adaptado de Pae Sulgás (2012).

» Acionamento: fluxograma com sequência das etapas de acionamento e o nível hierárquico de decisão dos envolvidos;

Exemplo:

A Figura 29 a seguir mostra o fluxograma básico de acionamento do PAE:

Figura 29. Fluxograma básico de acionamento do PAE.



Fonte: Adaptado de MMA (2008).

» Recursos humanos e materiais: dimensionamento de pessoas e recursos (internos ou externos) em relação ao porte da ocorrência prevista. Por exemplo: brigadistas de incêndio interno; possibilidade de acionamento de equipe externa (empresas próximas/serviço do Corpo de Bombeiros – informando a distância do batalhão mais próximo); recursos materiais da empresa, entre outros. O Quadro 17 a seguir dá exemplo de uma lista de equipamentos para ação do PAE caso haja necessidade.

Quadro 17. Lista de materiais – PAE.

Quant.	Unid.	Materiais

01	pç	Aerador
02	pç	Bandeirolas de sinalização
01	pç	Biruta
02	par	Botas de couro e de borracha
01	pç	Caixa de ferramentas
02	pç	Capacete
02	pç	Cavaletes de sinalização
01	pç	Cinto de segurança e corda
02	pç	Colete de sinalização
04	pç	Cone de sinalização
01	pç	Explosímetro
01	pç	Extintor pó químico
02	pç	Fita zeburada
01	pç	Kit primeiros socorros
01	pç	Lanternas a prova de explosão
02	par	Luva permeável
02	pç	Óculos de segurança
02	pç	Protetor auricular
01	pç	Pá, picareta e enxada
02	pç	Cabo de aterramento

Fonte: Adaptado de Pae Sulgás (2012).

- » Procedimentos emergenciais: avaliação, identificação do problema, procedimentos iniciais para o controle da situação; ações de resposta às situações emergenciais dos cenários acidentais (avaliados em estudo prévio de análise de risco, preferencialmente); ações de recuperação/minimização do ocorrido.

Exemplos: **ações** de combate a incêndios, isolamento, evacuação, controle de vazamentos, resgate de pessoas intoxicadas/feridas etc. Ações pós-emergenciais como rescaldo, para restabelecer as condições normais das áreas afetadas pelas consequências do acidente.

- » Sistema de alerta e comunicação de emergência

Esse item deverá descrever os procedimentos de alerta nas ações de emergência e quais equipamentos devem ser utilizados.

Em alguns casos, deverá contemplar sistema de Atendimento a Emergência 24 horas para ser utilizado via telefone pela população, convocando responsáveis para realizar uma

avaliação inicial da situação de emergência. Em caso positivo, o PAE deverá ser ativado, e o Coordenador das Ações de Emergência chamado imediatamente.

Como exemplo de equipamentos descritos, podemos citar (TAVARES, 2011):

» Veículos de serviço equipados para atendimentos de emergência, e sistema de comunicação por celular para confirmação e emissão do alerta de emergência.

» Sistema de Informações Geográficas – GIS.

Para a comunicação de emergência, é importante também o direcionamento das ações específicas, conforme modelo abaixo, ilustrado no Quadro 18.

Quadro 18. Listagem para orientação de comunicação de emergência.

QUEM	O QUE	QUANDO	POR QUE	ONDE	COMO
Qualquer pessoa	Informa emergência	Ao perceber situação anormal no gasoduto	Para a tomada de ação	Local mais próximo	Telefonando para 0800 2812002 ou Plantão 9090 (81) 99724646
GDIS ou Plantão ou Escritório	Recebe informação referente à emergência	A qualquer momento		Onde se encontrar	Telefonando para Gerência de Distribuição 9090 (81) 9945-9933 ou Plantão 9090 (81) 9972-4646
GDIS ou Plantão ou Escritório	Pergunta sobre a gravidade e o local da emergência	Ao receber a informação	Para repassar informação e facilitar a ação e localização		
GDIS ou Plantão	Registra e desloca-se para o local, verifica o nível de emergência e, se necessário, deflagra o PAE	Após fazer anotações precisas	Para a tomada de ação	Para o local informado	Por meio da viatura disponível

Fonte: Copergas (2013).

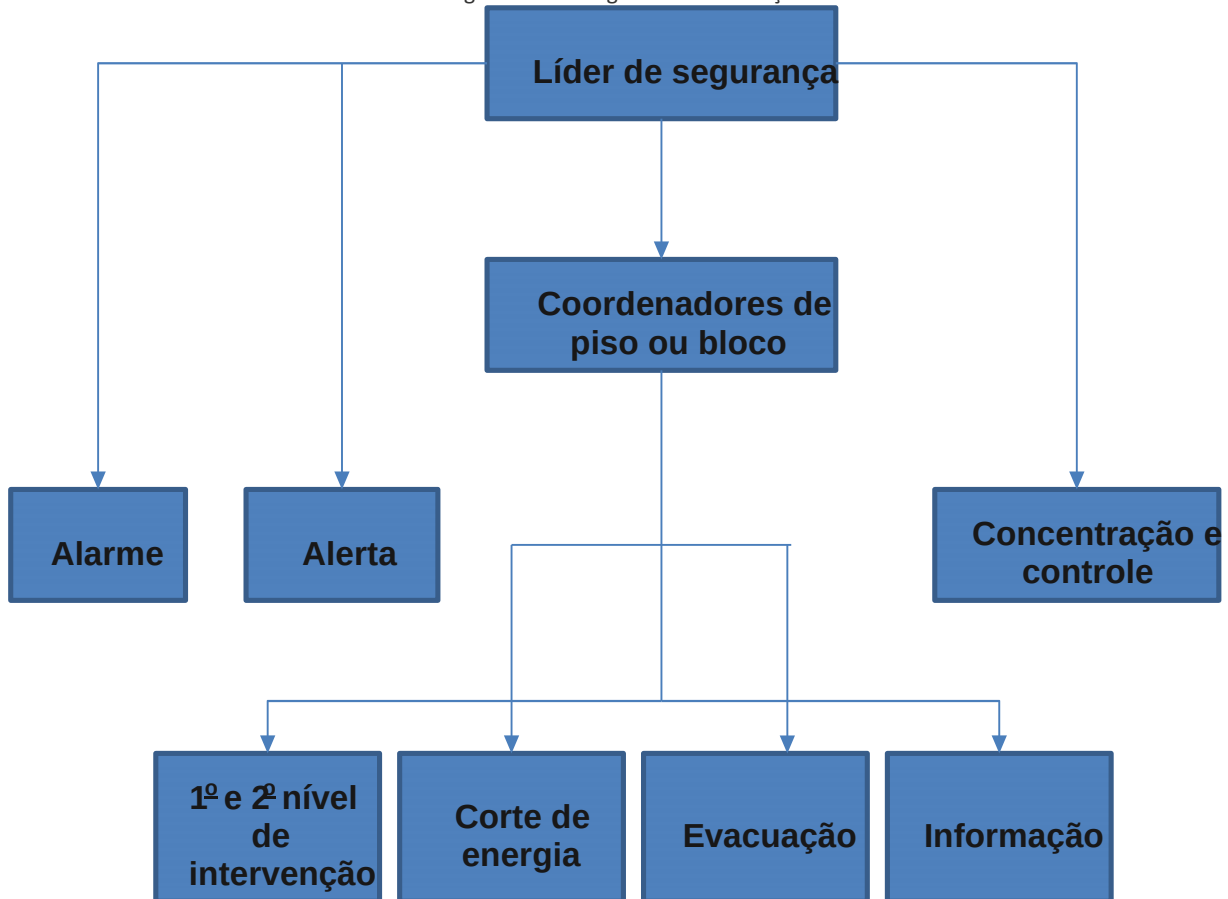
» Comunicação de acidente a entidades externas

O PAE deve contemplar também quais e como as entidades externas serão contatadas em caso de acidente, como Corpo de Bombeiros, Guarda Civil, Guarda Costeira (em casos próximos ao mar), Polícia Ambiental, Defesa Civil, entre outras.

» Primeiras ações

Essas ações vão dar diretrizes para, caso seja necessário, o corte de energia elétrica, gás, água etc., além de ações de evacuação de prédio, caso as saídas estejam desobstruídas. A Figura 30 a seguir mostra um fluxograma de evacuação simples.

Figura 30. Fluxograma de evacuação.

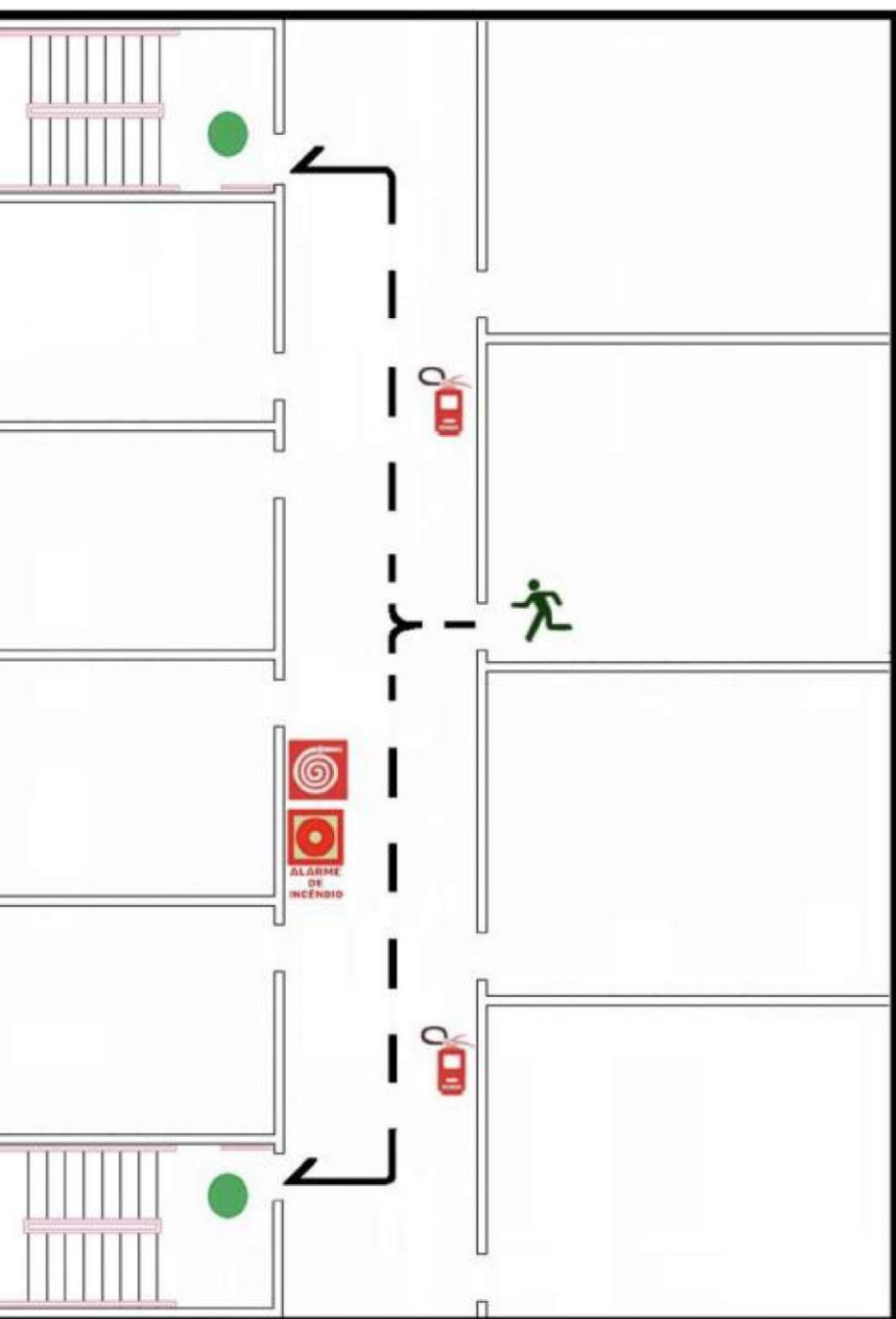


Fonte: Adaptado de Tavares (2011).

Essa descrição deverá conter também os eventos de acionamento de alarme, locais de ponto de encontro e ações caso não seja possibilitada a evacuação.

As rotas de fuga deverão estar sinalizadas corretamente, de acordo com o andar/área/espço e saídas disponíveis e é prudente constar no PAE de forma ilustrada quais são as sinalizações de emergência e para que elas servem, conforme plantas ilustradas nas Figuras 31 e 32 a seguir:

Figura 31. Planta de rota de fuga para área interna.



Legenda:

Acionador do alarme de incêndio



Extintor de incêndio



Você está aqui

Caminho a ser percorrido para a saída



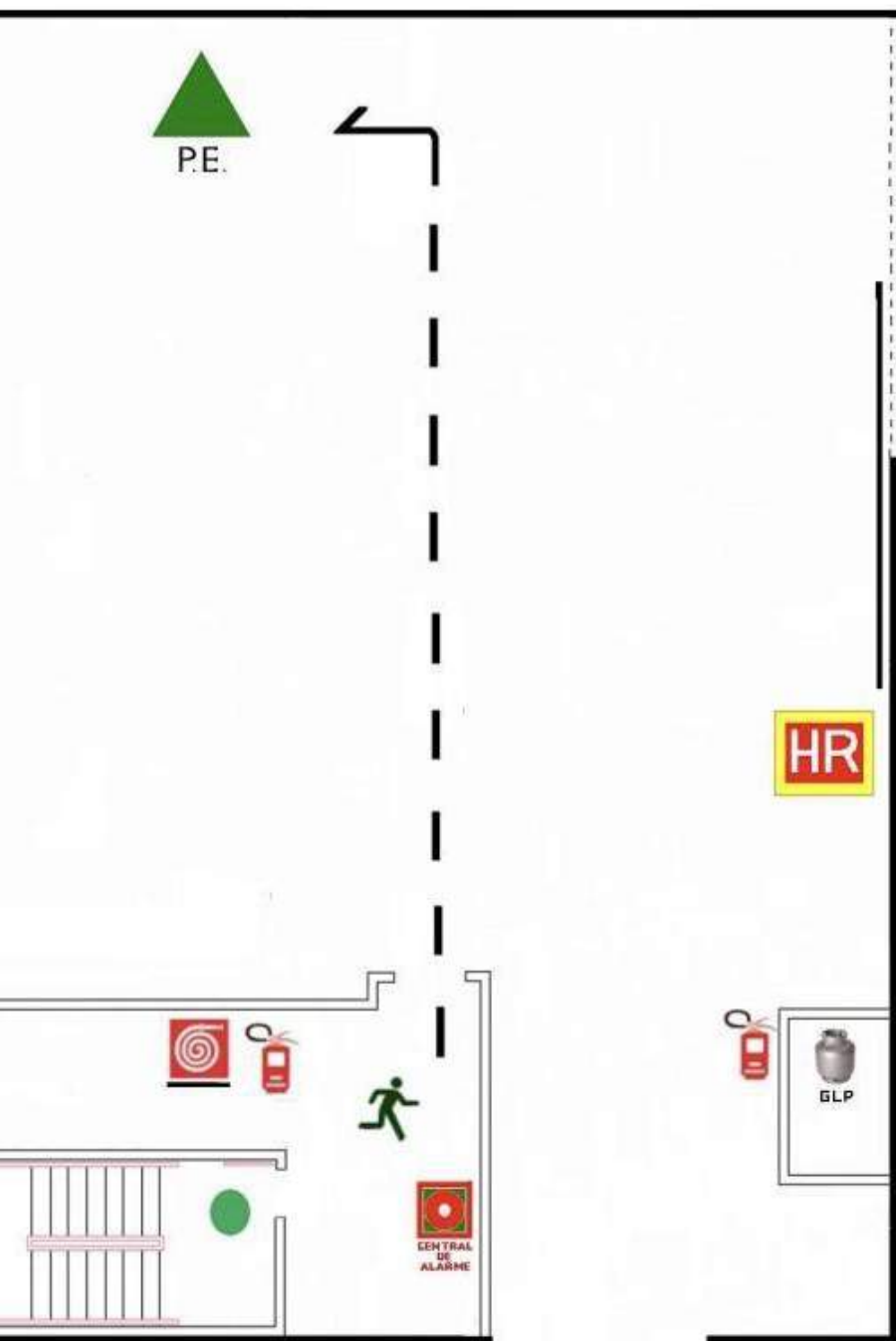
Hidrante de incêndio



Escada de emergência

Fonte: Adaptado de Santa Catarina (2014).

Figura 32. Planta de rota de fuga para área externa.



Legenda:

Extintor de incêndio

Hidrante de incêndio

Ponto de Encontro



Central de Alarme

Caminho a ser
percorrido para a saída



Hidrante de Recalque



Você está aqui



Escada de emergência

Fonte: Adaptado de Santa Catarina (2014).

- » **Ações de combate:** neste item são descritos os procedimentos gerais a serem desenvolvidos perante a ocorrência de eventos emergenciais. Poderá ser em forma de lista ou quadro.
- » **Ações pós-emergenciais:** controlada a situação emergencial, devem ser apontadas as medidas a serem adotadas – de acordo com o grau de severidade do ocorrido – visando principalmente o atendimento aos indivíduos diretamente afetados. Poderá incluir também: monitoramento ambiental; restauração de áreas atingidas; gestão dos resíduos gerados e operação de limpeza do ambiente, entre outras ações.

Tudo deve ser comunicado aos órgãos ligados aos processos (por exemplo, Ibama, Defesa Civil, Corpo de Bombeiros etc.), e os materiais utilizados deverão ser repostos após o ocorrido, o que deverá ser indicado no PAE.

- » **Treinamento:** capacitação dos participantes do plano, com treinamentos, exercícios teóricos e práticos, de acordo com os diferentes cenários acidentais; simulação em campo, para habilitar as equipes nos procedimentos e nas ações de combate a episódios acidentais. A lista a seguir indica o treinamento básico para as ocorrências:

- » Treinamento em Combate a Incêndio;
- » Treinamento de Primeiros Socorros;
- » Treinamento em equipamento de Respiração Autônoma; »

Treinamento em Isolamento de Rede e Instalações.

Figura 33. Fotos de simulação em campo.



Fonte: Tavares (2011) e Diniz *et al.* (2006)

- » **Atualização, avaliação e manutenção:** sistema de revisão existente, com atualização das informações; registro de atendimentos; reavaliação periódica dos procedimentos; renovação dos recursos humanos e materiais.
- » **Divulgação:** aos participantes, aos segmentos públicos e privados e outras instituições com interesse ou vínculo no desenvolvimento das atividades.
- » **Integração com outros planos:** indicar quais outros planos (da própria empresa ou de outros planos de auxílio mútuo existentes em uma determinada localidade).
- » **Encerramento do PAE:** é importante que esteja claro no PAE em qual momento ele será encerrado e as atividades voltarão à normalidade. Por exemplo, as atividades podem ser consideradas encerradas quando ocorrer a liberação do comando de emergências; ocorrer comunicado da efetiva eliminação do risco; o cenário acidental for totalmente controlado etc.
- » Anexos:
 - › plantas de localização da instalação e o *layout*, incluindo a vizinhança sob risco;
 - › formulários de registro de ocorrências, relatórios e formulário de atendimento telefônico/ telefones de emergência;
 - › legislação competente (municipal, estadual e federal), licenças obrigatórias, normas técnicas etc.

A Figura 34 a seguir indica um exemplo de formulário de registro de ocorrência, que deve constar no PAE, podendo ser incluída no Anexo:

Figura 34. Formulário para Registro de Ocorrência.

COMUNICAÇÃO INICIAL DO INCIDENTE

I – Identificação do incidente: ☐ Vazamento de óleo na Área Primária ☐ Vazamento de óleo de Navio ☐ Mancha Órfã ☐ Vazamento de Produto Químico de Contêiner* ☐ Acidente com Trabalhador *Informar numeração do contêiner:	
II – Porte: ☐ PEQUENO ☐ MÉDIO ☐ GRANDE	
III – Hora e data da primeira observação: Hora: Data (dd/mm/aa):	IV – Hora e data da comunicação: Hora: Data (dd/mm/aa):
V – Hora e data da entrada da Equipe da Base de emergência/Bombeiros OGMO Hora: Data (dd/mm/aa):	IV – Hora e data de saída da Equipe da Base de Emergência/Bombeiros OGMO Hora: Data (dd/mm/aa):
VII – Localização do Incidente:	
VIII – Responsável pela chamada: Cargo/Função:	
IX – Comunicado à: ☐ Coordenador do PEI ☐ Base de Emergência* ☐ Outro** *Ver Anexo **Pessoa Comunicada:	
X – Outras informações julgadas pertinentes:	

Fonte: Adaptado de Ogmo (2011).



Conheça um exemplo completo de PAE disponível em:

<<http://www.prosafe.com.br/getfile?MONITOR=NO&FL=YmNjMTY1NWVjMmQ0MwY3YTdjNWE2Mjg4YjdIM2U1ZmlzZWE2MTQzM19mbF8xNjkxLnBkZg.pdf>>.

» Plano de Emergência Individual (PEI).

Há casos específicos em que é necessário, além do PAE, outro tipo de plano. O Plano de Emergência Individual (PEI) é o documento ou conjunto de documentos que contém as informações e os procedimentos de resposta para atendimento de incidentes que envolvam poluição por óleo nas águas sob jurisdição nacional. É um plano aplicável a instalações como portos, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares.

Seu conteúdo é determinado pela Resolução Conama nº 398, de 11 de junho de 2008, que trata do conteúdo mínimo do PEI nesses casos, orientando a sua elaboração.

Após a definição dos diversos cenários de derrame de óleo com simulações das dispersões das manchas ao longo do mar/rio/corpo hídrico, são levantadas as características

socioambientais dos ambientes do entorno (ou além) que podem ser afetados pelo acidente, para assim se estabelecer táticas de atuação emergencial.

O PEI define também o dimensionamento dos recursos humanos, financeiros e materiais para a intervenção, as medidas de recuperação das áreas potencialmente atingidas, as políticas de treinamento das equipes e atualização do próprio plano.

Portanto, estudo deve garantir a capacidade da instalação para executar ações de resposta para determinados incidentes de poluição por óleo, a partir de recursos próprios, humanos e materiais, que poderão ser complementados com outros recursos adicionais de terceiros, por meio de acordos firmados previamente e declarados no PEI.

O estudo deve ser apresentado no momento do licenciamento ambiental, e sua aprovação é condição para a concessão da Licença de Operação (LO), da Licença Prévia de Perfuração (LPper) e da Licença Prévia de Produção para Pesquisa (LPpro), quando couber. Os planos são avaliados pelos órgãos estaduais de meio ambiente e pelo Ibama no âmbito dos empreendimentos por eles licenciados.

Um PEI deve descrever a localização do empreendimento e suas estruturas, bem como os tipos de produtos explorados, com números de quantidade de grãos, líquidos e outros materiais distintos que percorrem o porto periodicamente. Um elemento importante de um PEI é analisar as vias de escoamento e deslocamento do porto, terrestres, ferroviários e aeroviários.

Outro elemento importante é o levantamento de cenários acidentais, a partir de estudos de identificação e avaliação de riscos. Alguns cenários possíveis dentro de uma realidade do PEI são (AQUAPLAN, 2013):

- » Acidente com navio/embarcação – explosão e incêndio na operação do navio no atracadouro (píer), com grande avaria estrutural provocando naufrágio.
- » Acidente com navio/embarcações – encalhe, colisão com fundo rochoso, colisão com o atracadouro (cais/píer) ou entre navios, na realização de manobras na infraestrutura marítima, com avaria estrutural.
- » Acidente no transbordo de tambores – falha na transferência de tambores contendo óleo lubrificante ou outros resíduos oleosos.
- » Acidente durante operações com barcas ou outras embarcações de apoio, como rebocadores.

» Acidente com caminhão – tombamento ou colisão entre caminhões.

» Ruptura do tanque de armazenagem.

A partir da definição dos potenciais riscos e da delimitação das áreas em que possam ocorrer, é possível a elaboração de mapas de risco, identificando os diferentes graus destes nos diferentes locais determinados, conforme a Figura 35 a seguir:

Figura 35. Mapeamento de riscos do PEI do Porto de Paranaguá-PR.



Fonte: Adaptado de Aquaplan (2013).

Em relação aos procedimentos de resposta para tais situações, o PEI se assemelha ao PAE, com definições de como ocorre a comunicação do acidente, sistemas de alerta, fluxograma de ações e da estrutura organizacional das equipes de resposta, entre outros. O Quadro 19 a seguir mostra um exemplo de comunicação de emergência a partir de alarme sonoro, existente no PEI (e também existente nos PAEs):

Quadro 19. Tipos de toques de sinais sonoros para a disseminação de uma situação de emergência.

Emergência	Toque
Incêndio	1 longo – 1 curto
Explosão	1 longo – 2 curtos
Vazamento de Produto Químico Perigoso	2 longos
Acidentes pessoais de alta gravidade	1 longo – 4 curtos
Abalroamento/Colisão de embarcações	2 longos – 1 curto

Fonte: Adaptado de Aquaplan (2013).

O PEI geralmente fornece detalhes sobre as ações, especialmente no que tange ao ambiente que eventualmente poderá sofrer o impacto, como a limpeza de mangues, de

costões rochosos, contenções das manchas de acordo com as correntes marítimas, entre outras especificidades.

» Planos específicos contra incêndio.

Há uma norma específica que trata do atendimento às situações de incêndio. A NBR ABNT 15219/2005 – Plano de emergência contra incêndio – foi elaborada por uma comissão específica da ABNT chamado Comitê Brasileiro de Segurança contra Incêndio (ABNT/CB-24).

Ela surgiu da necessidade de padronização mínima dos planos de emergência contra incêndio, ficando as organizações com a liberdade de desenvolvê-los de acordo com suas especificidades, necessidades e/ou riscos envolvidos, visando otimizar as ações próprias e dos socorros públicos ou de terceiros. Ela é aplicável em qualquer planta, exceto para as edificações residenciais unifamiliares.

Apesar de a norma ter requisitos mínimos, é importante salientar que há outras normas relacionadas ao tema que são tão importantes quanto esta, todas desenvolvidas pela ABNT, sendo prescrições básicas para a referida norma. São elas:

- » ABNT NBR 9077:2001 – Saídas de emergência em edifícios;
- » ABNT NBR 13434-1:2004 – Sinalização de segurança contra incêndio e pânico – Parte 1: Princípios de projeto;
- » ABNT NBR 13434-2:2004 – Sinalização de segurança contra incêndio e pânico – Parte 2: Símbolos e suas formas, dimensões e cores;
- » ABNT NBR 14023:1997 – Registro de atividades de bombeiros;
- » ABNT NBR 14276:1999 – Programa de brigada de incêndio;
- » ABNT NBR 14608:2000 – Bombeiro profissional civil.

Para a elaboração do Plano de Emergência contra Incêndio, é muito importante que o profissional seja habilitado e que inclua, principalmente:

- » descrição da localização (urbana, rural, características da vizinhança, distâncias de outras edificações e/ou riscos, distância da unidade do Corpo de Bombeiros, existência de Plano de Auxílio Mútuo-PAM etc.);

- » tipo de construção (alvenaria, concreto, metálica, madeira etc.);
- » tipo de ocupação (industrial, comercial, residencial, escolar etc.);
- » característica da população (fixa, flutuante, características, cultura etc.);
- » característica de funcionamento (horários e turnos de trabalho e os dias e horários fora do expediente);
- » pessoas portadoras de deficiências;
- » outros riscos específicos inerentes à atividade;
- » recursos humanos (brigada de incêndio, bombeiros profissionais civis, grupos de apoio etc.);
- » materiais existentes (extintores de incêndio, iluminação de emergência, sinalização, saídas de emergência, hidrantes, chuveiros automáticos, sistema de detecção de fumaça e alarme de incêndio etc.).

Após o levantamento e descrição dessas informações, é importante que se faça uma Análise de Riscos a fim de detectar, minimizar ou eliminá-los. A Norma recomenda que as técnicas de análise incluam algumas técnicas comuns da análise como *what if*, *checklist*, *HazOp*, árvore de falhas, diagrama lógico de falhas; entretanto, a empresa não está limitada a elas.

Outro ponto fundamental na elaboração do Plano é o envolvimento da comunidade (especialmente as pessoas do entorno) e do Corpo de Bombeiros. Por isso, devem ser disponibilizadas a cópia desse plano a estes representantes.

Após elaborado o Plano, a NBR exige, para a sua implantação, o atendimento dos requisitos: divulgação, treinamento, exercícios simulados e procedimentos básicos nas emergências.

Esses procedimentos básicos deverão, conforme a NBR, estar relacionados e em uma sequência lógica de execução, caso haja necessidade. Essa sequência listada na norma inclui:

- » Alerta: pode ser executado automaticamente em estabelecimentos que possuem detectores de incêndio ou por qualquer pessoa que detecte uma

situação de emergência, acionando os meios de comunicação disponíveis e alarmes.

- » Análise de situação: após o alerta, deve ser analisada a situação e desenvolvidos os procedimentos necessários de acordo com os recursos materiais e humanos disponíveis.
- » Apoio externo: o Corpo de Bombeiros deve ser acionado imediatamente e, quando chegar à ocorrência, deve ter acesso a todas as informações para a otimização de seu trabalho, de preferência fornecido pelo brigadista do estabelecimento.
- » Primeiros socorros: é fundamental prestar os primeiros-socorros às possíveis vítimas, mantendo ou estabilizando suas funções vitais;
- » Eliminação dos riscos: como corte de fontes de energia e fechamento de tubulações de gases, por exemplo.
- » Abandono de área: deve ser realizado de forma parcial ou total, dependendo da dimensão da ocorrência, conforme comunicação preestabelecida, para o ponto de encontro para posterior decisão final da emergência (é fundamental prever também a evacuação por parte de portadores de deficiência, idosos, gestantes etc.).
- » Isolamento da área: para garantir os trabalhos de emergência sem a entrada de pessoas no local.
- » Confinamento de incêndio: para evitar sua propagação.
- » Combate ao incêndio: proceder até a extinção deste, restabelecendo a normalidade.
- » Investigação: etapa posterior à finalização da ocorrência, levantando as possíveis causas e descrevendo os procedimentos adotados. É importante emitir um relatório para propor medidas preventivas e corretivas, conforme ABNT NBR 1.4023/1997 – Registro de Atividades dos Bombeiros.

Assim como os demais planos descritos, é importante a revisão, atualização e auditoria do Plano a cada 12 meses, conforme determina a ABNT.

» Especificidades no caso do transporte rodoviário de produtos perigosos

Como outras atividades que envolvam produtos perigosos, o transporte destes é intensamente passível de riscos e possui uma dinâmica distinta das empresas e indústrias que as manipulam, por exemplo. Assim como os Portos, que possuem em circulação diversos tipos de substâncias, as empresas concessionárias de rodovias também lidam com a variabilidade, imprevisibilidade e dúvidas quanto à quantidade e periculosidade das substâncias que percorrem as estradas.

Os acidentes envolvendo veículos que transportam produtos perigosos não podem ser considerados acidentes comuns, uma vez que, dependendo das características das substâncias envolvidas, podem ter impactos distintos, causando danos ao meio ambiente, à segurança e saúde da população e ao patrimônio público e privado.

Baseado nisso, no caso do Estado de São Paulo, foi elaborada a Resolução SMA nº 81/1998, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de intervenções destinadas à conservação e melhorias de rodovias e sobre o atendimento a emergência no transporte rodoviário de produtos perigosos.

Conforme a Resolução, devem ser realizados PAEs relacionados ao transporte destes produtos perigosos. Para atender a essa demanda, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) elaborou um roteiro específico para esses casos, que passou a ser adotado pelas empresas concessionárias de rodovias como um documento de referência para o planejamento, a elaboração e a implantação de um Plano de Ação de Emergência (SMA, 2016).

Considerando a natureza e números variados de acidentes que envolvem o transporte de produtos perigosos, a efetividade de ação de combate às ocorrências de risco depende do tempo de resposta dos órgãos envolvidos e da eficácia de ações coordenadas, como “o conhecimento das características do produto envolvido, tipos de solos, geologia, topografia, clima, vegetação, uso e ocupação do solo, proximidade e extensão de áreas urbanas, pontos críticos de áreas urbanas” etc. (SMA, 2016). É importante o conhecimento também de pontos de apoio, sistemas de captação de água, entre outras variáveis.

Uma medida em desenvolvimento pelo órgão ambiental do Estado de São Paulo, nesse caso, é o uso de ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para auxiliar na avaliação e diagnósticos de acidentes ambientais, a partir de um banco de dados espaciais, sobretudo dos trechos que envolvem as rodovias, e a integração de dados de modelagem,

sobreposição de mapas temáticos e outras informações específicas a respeito das características de uma determinada região.

Outra medida que acrescenta melhorias no entendimento e administração de casos de risco e que está em desenvolvimento – já falamos anteriormente – é o uso de drones para a avaliação de emergências, uma vez que o veículo aéreo de fácil deslocamento possibilita avaliar previamente quais ações deverão ser tomadas e quais os riscos existentes.

Como uma situação de imprevisibilidade, em que não se sabe ao certo a localidade, a circunstância, a quantidade de pessoas, veículos e substâncias envolvidas, nem mesmo sua periculosidade, a ação em casos de acidentes desse tipo deve envolver diversas entidades para uma ação coordenada, caso necessário. Normalmente, órgãos federais, estaduais e municipais participam disso, como, por exemplo, no caso do Estado de São Paulo (SMA, 2016):

- » Polícia Rodoviária Estadual e Federal: avaliação preliminar da ocorrência, aplicação de sanções administrativas de acordo com a lei e sinalização/interrupção e desobstrução do tráfego.
- » Corpo de Bombeiros: prevenção e combate a incêndios, busca e salvamento, atendimento prévio de vítimas, transbordo e serviços de contenção de substâncias e descontaminação dos recursos utilizados na emergência química.
- » Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – Cetesb (no caso do Estado de São Paulo): identificação e caracterização dos riscos ambientais e apoio na contenção e disposição final da substância/produto, monitoramento ambiental de todo o entorno (água, ar e solo), determinação de ações de controle, apoio e orientação dos trabalhos dos demais colaboradores.
- » Coordenadoria Estadual e Municipal de Defesa Civil: minimização do desastre a partir de medidas operacionais, apoio logístico, recursos humanos, suporte à população impactada, com socorro às vítimas e reabilitação do cenário de desastre.
- » Departamento de Estradas de Rodagem e Concessionárias de Rodovias: atuação na sinalização, isolamento e desobstrução das vias, colaboração com os demais órgãos envolvidos no atendimento, fornecendo recursos humanos e materiais para tal.

Além dos órgãos citados, é importante o envolvimento dos responsáveis pela atividade de transporte, ou seja, o transportador, expedidor, fabricante e destinatário. Estes devem, conforme a lei, prestar esclarecimentos sobre o ocorrido, além de dar o apoio necessário à minimização dos impactos. Para isso, as empresas devem possuir um conjunto de procedimentos definidos previamente (seja em PAE ou outro plano), a fim de interagir com as equipes de apoio e enviar recursos para o local da ocorrência.

» CIPA

No Capítulo 1 da Unidade II, citamos a Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (Cipa). É importante detalharmos um pouco mais sobre esse elemento tão importante para a manutenção da segurança das empresas, que trabalha de forma conjunta aos planos citados anteriormente.

A Cipa é um elemento muito importante para a prevenção de acidentes nas empresas. O princípio da Cipa surgiu após o aumento de acidentes decorrentes da chegada de máquinas nas empresas durante a Revolução Industrial, na segunda metade do século XVIII. Com isso, começaram a surgir grupos de trabalhadores que se uniram para apresentar sugestões para a diminuição desses acidentes. No Brasil, foi a Portaria nº 155 que regulamentou as Cipas oficialmente em 1953.

Ao contrário do que muitos acreditam, a Cipa não é criada apenas em grandes empresas, podendo ser desenvolvida em empresas pequenas e de variadas atividades. Segundo a NR 5 (que trata da Cipa), o número de membros da Cipa é definido por meio do dimensionamento previsto na NR 5. Esse dimensionamento leva em consideração a quantidade de empregados e o CNAE da empresa. Quando a empresa não se enquadra nas regras de dimensionamento da Cipa, ela precisa designar ao menos um responsável pelo cumprimento dos objetivos da Cipa.

Isso ocorre porque, em grandes empresas, a Cipa é formada a partir de um processo eleitoral, com representantes – em partes iguais – dos empregadores e dos empregados. Os membros devem fazer reuniões mensais para debater os problemas de segurança do trabalho e buscar as melhores soluções junto ao empregador.

Entre as principais atribuições da Cipa estão (WALDHELM NETO, 2012):

- » ajudar em investigações dos acidentes ocorridos na empresa e também de trajeto;
- » sugerir medidas de prevenção e neutralização dos riscos no ambiente de trabalho;

- » divulgar as normas de segurança conforme determinam as leis trabalhistas e da empresa;
- » desenvolver nos trabalhadores o interesse pela preservação da segurança e de ser um divulgador disso;
- » realizar inspeções de segurança na empresa e relatar o empregador caso haja problemas;
- » participar de campanhas de prevenção de doenças e promover anualmente uma semana de discussões sobre a segurança da empresa (Semana Interna de Prevenção de Acidentes);
- » sugerir cursos, melhorias e adequações no ambiente de trabalho;
- » colaborar com a elaboração e implementação dos programas de saúde da empresa;
- » elaborar mapas de risco;
- » participar e registrar as reuniões mensais e emergenciais.



Para (não) Finalizar

Quando falamos de atendimento às emergências atualmente no Brasil, é impossível não lembrar do caso da empresa Samarco em Mariana-MG, um dos piores acidentes socioambientais da história.

Em 5 de novembro de 2015, o rompimento da barragem de Fundão, de propriedade da empresa Samarco, controlada pela empresa Vale e BHP Billiton, foi responsável pelo lançamento de aproximadamente 60 milhões de m³ de lama de rejeito de minério de ferro localizada em Mariana, uma cidade de importância histórica do Estado de Minas Gerais. O distrito de Bento Rodrigues foi inundado e praticamente destruído totalmente. O acidente matou 19 pessoas e deixou milhares de desabrigados.

Mais de 38 cidades do estado de Minas Gerais e do Espírito Santo foram afetadas, com cerca de 663 km de rios e córregos atingidos, mais de 1.469 hectares de vegetação comprometidos (PORTAL BRASIL, 2015). O Rio Doce, um dos mais importantes rios do país e a maior bacia hidrográfica do Sudeste, foi rapidamente atingido pelo mar de lama e provocou a morte de milhares de espécies de peixe – muitas que só existem na região – além dos animais que dependiam do ecossistema da região, como aves, anfíbios, répteis etc.

O fornecimento de água para milhares de pessoas foi comprometido, bem como atividades de pesca e turismo por onde a lama percorreu. Quando chegou ao mar, os impactos já eram considerados sem precedentes e incalculáveis.

E esse é um caso importante de ser analisado principalmente porque a chamada Barragem de Fundão já dava indicativos de que algo estava errado, como casos de vazamentos e infiltrações anteriores, indicativos de “estabilidade insuficiente” (NETTO, 2015). Aparentemente, a impressão é de que não houve atenção devida a esses indicativos.

PARA (NÃO) FINALIZAR

Figura 36. Carro atolado em mar de lama em um dos piores acidentes ambientais da história do país.



Fonte: Amaral (2015).

O uso do PAE, embora a empresa afirma ter realizado, não alertou os moradores vizinhos da barragem, que não foram removidos a tempo, tendo, assim, além de óbitos, perdas humanas e materiais – sem falarmos nas consequências ambientais – difíceis de calcular.

Entretanto, a empresa possuía PAE bem elaborado, prevendo a proteção aos funcionários e à comunidade, no caso de rompimento de uma barragem. O plano incluía inclusive o treinamento da população caso precisasse realizar evacuação do local de forma segura (WERNECK, 2015).

Algumas das principais falhas apontadas por Werneck (2015) no caso foram:

- » falta da adoção de plano de emergência para retirar a população de Bento Rodrigues;
- » falta de treinamento da população para reagir a um possível o rompimento de barragem;
- » moradores foram comunicados por telefone logo após o rompimento. Muitos números estavam desatualizados. Não havia sirenes instaladas na comunidade;
- » empresa não pôs em prática plano de ação emergencial elaborado em 2009, que trata da proteção aos trabalhadores, comunidade, meio ambiente, e o Plano para emergências médicas elaborado em 2012 foi ignorado;
- » plano de Ações Emergenciais de Barragens, apresentado ao órgão ambiental no ano anterior, é considerado frágil por especialistas e também não foi posto em prática.

PARA (NÃO) FINALIZAR



Há uma Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade). Conheça acessando: <http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=2a09db34-e59a-4138-b568-e1f00df81ead&groupId=185960>.

Assim, é importante para um gestor de risco notar algumas lições sobre o assunto, conforme aponta Amaral (2015).

A mais considerável das lições é que a gestão de riscos não é importante apenas às empresas, mas à toda a sociedade, e a atividade do gestor de risco é primordial a uma corporação.

Além disso, muitas empresas adotam medidas que comprometem o meio ambiente ou causam riscos à saúde de todos, apenas para evitar desperdícios e/ou maximizar os lucros, atitudes que podem causar ainda mais riscos.

Ao contrário, se as “dimensões humana e ambiental da tragédia de Mariana não serviram de argumento suficiente para a necessidade de reforçar a gestão de riscos das empresas, quem sabe a situação muda quando se invoca órgão mais sensível de diretores e acionistas – sabidamente, o bolso” (AMARAL, 2015). As ações na justiça, indenizações e o ressarcimento dos prejuízos é imenso. Além disso, o capital da empresa cai no mercado de ações, uma vez que esta – que vende uma imagem de seguidora dos padrões devidos de segurança – não corresponde com a realidade.

Outra lição é a da necessidade de comunicação entre empresas e sociedade. A imagem das empresas envolvidas em um caso desse fica totalmente manchada, muito pela deficiência e clareza da comunicação, que muitas vezes não age com lisura ao abordar o caso.

Mas a principal lição é a de que é fundamental a elaboração de estudos e planos para a gestão de crise. E esses planos de gestão de crises elaborados pelas empresas devem partir do pressuposto de que uma emergência pode, de fato, acontecer.

No caso da Samarco, o acidente causa a impressão de que os documentos elaborados e existentes foram “capazes de convencer burocratas, mas pouco adequado para funcionar na eventualidade de um evento real” (AMARAL, 2015).

A falta de elementos simples, como sirenes de alerta, incluindo o ineficiente acionamento das autoridades competentes são exemplos da ineficiência prática dos planos.

Não podemos deixar de falar sobre a falta de capacidade de fiscalização do poder público, seja ele municipal, estadual ou federal. A falta de investimentos públicos

PARA (NÃO) FINALIZAR

em pessoal, equipamentos e treinamentos indica a falta de seriedade em tratar do assunto.

Uma questão que indica preocupação e gravidade é a de que existem milhares de barragens como a de Fundão no país, especialmente no Estado de Minas Gerais. Segundo reportagem do UOL (2016), das mais de 17 mil barragens cadastradas pela Agência Nacional de Águas (ANA), menos de 5% foram fiscalizadas, sendo a principal alegação a falta de estrutura. Além disso, há carências de informações técnicas das barragens e o seu risco. Conforme estudos posteriores, o Departamento Nacional de Prospeção Mineral (DNPM) falhou com a empresa Samarco, que não seguiu os padrões exigidos pela Lei nº 12.334, de 2010, conhecida como Política Nacional de Segurança de Barragens (UOL, 2016).



O Governo Federal disponibiliza uma listagem de documentos relacionados ao desastre de Mariana, que contém:

- » descrições e relatórios diários sobre o acidente;
- » Portaria 222, do Ministério de Integração Nacional, que reconheceu o estado de emergência do município de Bento Rodrigues;
- » laudos técnicos (preliminar, mensal etc.);
- » autos de infração dados pelo Ibama para a empresa responsável;
- » ação civil pública;
- » mapeamento com 12 mil fotos aéreas da bacia hidrográfica do Rio Doce.

Acesse em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/12/confiradocumentos-sobre-o-desastre-do-rio-doce>>.

Além dessas informações, o Portal CPRM do Serviço Geológico do Brasil possui uma página com atualizações diárias e boletins sobre o Rio Doce, mapas e desenhos ilustrados e interativos sobre o acidente, sendo um importante acervo para a memória dessa catástrofe dramática e, ao mesmo tempo, cheia de lições importantes a se considerar para a melhoria do gerenciamento de riscos do país.

Para mais informações, acesse: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Eventos-Criticos/Monitoramento-Especial-do-Rio-Doce-4057.html>>.

PARA (NÃO) FINALIZAR

Considerações finais

Os riscos para as pessoas e para o meio ambiente são aspectos significativos a serem considerados no processo de avaliação ambiental do projeto de um novo empreendimento. Por isso, a análise de riscos se tornou elemento fundamental no processo de licenciamento ambiental. Isso faz com que as medidas de redução de risco já possam ser tomadas desde a fase de projeto, priorizando a prevenção em detrimento às ações de emergência. Modificações nos projetos podem ser realizadas com menos custos e recursos do que aqueles necessários após a montagem das instalações.

Entretanto, o gerenciamento dos riscos é um processo contínuo e constante. Apesar de órgãos ambientais exigirem a apresentação do PGR – incluindo o PAE –, não há auditorias e vistorias por parte desses órgãos para saber se há, de fato, a implementação das ações.

Portanto, é fundamental que seja dada maior importância ao tema, especialmente à elaboração do PAE, seja em instituições industriais, de ensino, governamentais, entre outras. As catástrofes não podem ser previsíveis, mas podemos ter ações preventivas que mitiguem seus impactos, principalmente quando envolvem vidas humanas.

O caso da Samarco é bastante emblemático e mostra a importância do desenvolvimento e, sobretudo, da aplicação dos Planos de Emergência e das medidas corretas diante de riscos, sejam estes ambientais ou industriais.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistema de gestão da segurança e saúde no trabalho – requisitos – ABNT NBR 18801**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **Norma Brasileira ABNT NBR 15219**. Edição de 31 de maio de 2005. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/marycoelho581/nbr-15219-2005-plano-deemergncia-contraincndiorequisitos-1>>. Acesso em: 4 abr. 2017.

AGUIAR, L. A. **Metodologias de Análise de Riscos APP & HAZOP**, Rio de Janeiro – RJ, 2006. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/13179/material/APP_e_HAZOP.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2017.

ALMEIDA-FILHO, N. **O futuro do conceito de risco**. Salvador: Instituto de Saúde Coletiva - Universidade Federal da Bahia, 2008.

ALMEIDA, T. **Mediação de Conflitos e Políticas Públicas**. Mediare. Artigo online. 2008. Disponível em: <<http://www.mediare.com.br/2016/03/01/mediacao-deconflitos-e-politicas-publicas/>>. Acesso em: 13 mar. 2017.

ALVES, A. F. S. **Avaliação de riscos ambientais (apostila)**. Vitória: Editora UNISA, 2015. 107p. Disponível em: <<http://unisa.br/conteudos/9123/f1258221175/apostila/apostila.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2017.

AMARAL, R. Mariana, 1 mês depois: lições da tragédia para a gestão de riscos. **Risco Seguro Brasil**. Matéria On-line publicada em: dezembro de 2015. Disponível em: <<http://riscosegurobrasil.com/materia/mariana-1-mes-depois-lico-es-da-tragediapara-a-gestao-de-riscos/>>. Acesso em: 25 mar. 2017.

AQUAPLAN. **Plano de Emergência individual – PEI**. 6. ed. Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina – APPA. Setembro de 2013. Disponível em: <<http://www.portosdoparana.pr.gov.br/arquivos/File/PEIAPPA6EdicaoRev0216072015.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

BARATA, E. S. Ganhos na redução de impactos ambientais como resultado da aplicação da técnica de confiabilidade HAZOP. Monografia para Especialista, Universidade Federal da Bahia, 2007. Disponível em:

<http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/monografias/mono_eduardo_barata.pdf> Acesso em: 20 fev. 2017.

Biblioteca de Prevenção de Riscos. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/secretariasnacionais/programas-urbanos/biblioteca/prevencao-de-riscos>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

BRASIL. **Decreto nº 8.980, de 1º de fevereiro de 2017.** Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções de Confiança do Ministério da Integração Nacional, remaneja cargos em comissão e funções gratificadas e substitui cargos em comissão do Grupo-Direção e Assessoramento Superiores – DAS por Funções Comissionadas do Poder Executivo – FCPE. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Decreto/D8980.htm>. Acesso em: 22 abr. 2017.

_____. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. **Glossário de Defesa Civil, estudos de riscos e medicina de desastres.** 3. ed. Brasília: MI, 2009.

_____. **Entenda o acidente de Mariana e suas consequências para o meio ambiente.** Matéria on-line publicada em 23 de dezembro de 2015. Governo Federal. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/12/entenda-acidente-de-mariana-e-suas-consequencias-para-o-meio-ambiente>>. Acesso em: 15 maio 2017.

CAMPOS, R. H. de F. Introdução: a psicologia social comunitária. In: _____. **Psicologia social comunitária: da solidariedade à autonomia.** Petrópolis: Vozes, pp. 9-33, 1999.

CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. (org.) **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais.** Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006. Disponível em: <[http://www.crpssp.org.br/portal/comunicacao/diversos/mini_cd_oficinas/pdfs/Prevencao-Riscos-DeslizamentoEncostas-\(Ministerio-Cidades\).pdf](http://www.crpssp.org.br/portal/comunicacao/diversos/mini_cd_oficinas/pdfs/Prevencao-Riscos-DeslizamentoEncostas-(Ministerio-Cidades).pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2017.

CASTRO, A. L. C. **Manual de desastres naturais.** Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria Especial de Políticas Regionais, Departamento de Defesa Civil, 1996.

CASTRO, Antônio Luis Coimbra de. **Manual de Planejamento em Defesa Civil**. Secretaria Especial de Políticas Regionais. Departamento de Defesa Civil, Brasília, 1996. Disponível em: <<http://www.defesacivil.gov.br/publicacoes/publicacoes/planejamento.asp>>.

CASTRO, C. M.; PEIXOTO, M. N. O.; RIO, G. A. P. **Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas**. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, Rio de Janeiro, v. 2, nº 28, pp. 11-30, 2005. Disponível em: <http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_2005/Anuario_2005_11_30.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2017.

CEPED. UFSC. **Capacitação básica em defesa civil**: livro texto para educação à distância. Florianópolis: CEPED UFSC, 2011.

CERRI, L. E. S.; AMARAL, C. P. Riscos Geológicos. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (eds.) 1998. **Geologia de Engenharia**. São Paulo, ABGE: 1998.

CETESB. **Manual de orientação para a elaboração de estudos de análise de riscos**. São Paulo, 2003.

_____. **Norma Técnica P4.261 – Risco de Acidente de Origem Tecnológica**. Método para decisão e termos de referência. 2. ed. 2011. 140 páginas. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/11/2013/11/P4261-revisada.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

COBRADE. **Classificação e Codificação Brasileira de Desastres**. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=2a09db34-e59a-4138b568-e1foodf81ead&groupId=185960>. Acesso em: 15 maio 2017.

COMPUR. **Companhia de Desenvolvimento e Urbanização de Balneário Camboriú**. Cores usadas no Mapa de Risco e Tabela de gravidade. CIPA – Comissão Interna de Prevenção de Acidentes – Gestão 2012/2013. Disponível em: <<http://compur.com.br/cipa-site/mapa-de-risco01.html>>. Acesso em: 4 mar. 2017.

COPERGAS. **Plano de Atendimento a Emergência**. 2016. Disponível em: <<https://www.copergas.com.br/wp-content/uploads/2010/03/PAE2.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

COSTA, R. M. C. L. Os Planos de Auxílio Mútuo no Estado. **III Seminário Transporte de Derivados de Petróleo e outros Produtos Perigosos/prevenção de acidentes ambientais**. DEAMB/ SEMAD. Minas

Gerais, 2012. Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/seminarios/3_seminario_de_acidente/planos-de-auxilio-mutuo-rosa-maria-laender-semad-deamb.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2017.

CPTEC. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Portal da Internet. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 4 mar. 2017.

DE CICCIO, F.; FANTAZZINI, M. L. **Tecnologias consagradas de gestão de riscos**: riscos e probabilidades. São Paulo: Séries Risk Management, 2003.

DEFESA CIVIL DO PARANÁ-PR. **Plano de Contingência Municipal de Proteção e Defesa Civil**. Município de Morretes – PR. Versão 01, 2013. Disponível em: <<http://www.defesacivil.pr.gov.br/arquivos/File/modeloplanconmorretes.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

DELAMURA, D. **Drones são utilizados para mapear áreas de risco em Pernambuco**. Matéria On-line publicada em 19 de junho de 2015. Mundo GEO. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2015/06/19/drones-sao-utilizadospara-mapear-areas-de-ricos-em-pernambuco/>>. Acesso em: 15 maio 2017.

DESCHAMPS, M. V. **Vulnerabilidade socioambiental na região metropolitana de Curitiba/PR**. Curitiba, 2004. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná.

DÉSTRO, G. F. G, *et al.* Áreas de risco ambiental por barragens no Estado de Minas Gerais. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, pp. 5193-5200.

DINIZ, F.; OLIVEIRA, L. F.; BARDY, M.; VISCO, N. Apostila do Curso Sobre Estudo de Análise de Riscos e Programas de Gerenciamento de Riscos. **Módulo 1: Conceitos Fundamentais, Formas de Expressão e Critérios de Aceitabilidade de Riscos**. DNV, 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/_3.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2017.

DINIZ, F. *et al.* **Módulo 1: Conceitos Fundamentais, Formas de Expressão e Critérios de Aceitabilidade de Riscos**. Apostila Análise Risco/2006 Rev.: 1. Ministério do Meio Ambiente Secretaria de Qualidade Ambiental. Rio de Janeiro, Det Norske Veritas Ltda.: 2006. Disponível em:

<http://www.ministeriodomeioambiente.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/_3.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2017.

_____. **Módulo 13:** PGR/PAE. Apostila Análise Risco/2006 Rev.: 1. Ministério do Meio Ambiente Secretaria de Qualidade Ambiental. Rio de Janeiro, Det Norske Veritas Ltda.: 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/_14.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2017.

_____. **Módulo 2:** Risco e Impacto Ambiental. Apostila do curso sobre Estudo de Análise de Riscos e Programa de Gerenciamento de Riscos. Ministério do Meio Ambiente Secretaria de Qualidade Ambiental. Rio de Janeiro, Det Norske Veritas Ltda.: 2006. Disponível em: <http://www.ministeriodomeioambiente.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/_4.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2017.

EBANATAW. **Os efeitos da chuva nas encostas** – Contenção de taludes. Material On-line. Disponível em: <<http://www.ebanataw.com.br/talude/efeitodachuva.htm>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

EGLER, C. A. G. **Risco Ambiental como Critério de Gestão do Território.** Território, 1: 31-41. 1996.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). “General Guidance for Risk Management Programs (40 CFR Part 68)”. Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office. July, 1998.

FERREIRA, A.; ALMEIDA, J. Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil – PLANCON. **Secretaria Nacional de Defesa Civil** – Brasil. Goiânia, junho de 2013. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/2847935/>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

FREITAS C. M. de; GOMEZ C. M. **Technological risk analysis from the perspective of the social sciences.** História, Ciências, Saúde – Manguinhos, vol. III (3):485-504, Nov. 1996-Feb. 1997. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hcsm/v3n3/v3n3a06.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

FREITAS, Carlos G. Luz; BRAGA, Tânia de Oliveira; BITAR, Omar Yazbek. (Org.): **Habitação e meio ambiente:** abordagem integrada em empreendimentos de interesse social. São Paulo; IPT; 2001. 237 p.

GOMES, R. O.; MATTIODA, R. A. **Técnicas de Prevenção e Controle de Perdas em Segurança do Trabalho** – Um ajuste ao PDCA / XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Belo Horizonte – MG, Brasil, 14p, 2011.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Portal da Internet. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

LOBO, F. **Estudo avisou sobre a tragédia em Angra**. Portal O Eco. Matéria online publicada em 6 de janeiro de 2010. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/reportagens/23228-estudo-avisou-sobre-tragedia-em-angra/>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

MATTOS, U. A de O.; FREITAS, N. B. B. **Mapa de Risco no Brasil**: as limitações da Aplicabilidade de um modelo operário. Cad. Saúde Públi, Rio de Janeiro, 10 (2): 251258, Abril, 1994. Disponível em: <<http://www.scielo.org/pdf/csp/v10n2/v10n2a12.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria de Programas Urbanos. **Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco: curso de capacitação**. Brasília, 2006. Disponível em: <http://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2004/01/mapeamento_grafica.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2017.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Produto 3 Roteiro para Elaboração do Plano de Ação de Emergência Federal PAE Federal** – Volumes I e II. Projeto BRA 05/043 - Concepção e Capacitação em Metodologia para Elaboração de Planos de Ação de Emergência a Serem Utilizados por Órgãos Públicos Federais, Estaduais e Municipais, Capazes de Proporcionar Respostas Organizadas e Rápidas aos Acidentes com Produtos Químicos Perigosos. Programa Nações Unidas Para o Desenvolvimento – PNUD. Projeto de Assistência Técnica para a Agenda da Sustentabilidade Ambiental - TAL Ambiental. Ministério do Meio Ambiente – Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental – Secretaria Executiva. Brasília: 2008. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_p2r2_1/_arquivos/relatrio_do_produto_3_vol_i__rev02__pae_federal_final_106.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2017.

NARDOCCI, A. C. **Risco como instrumento de gestão ambiental**. 1999. 135p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

NETTO, O. R. **Para especialista, Samarco ignorou avisos e gestão de riscos falhou.** Risco Seguro Brasil. Matéria Online publicada em 8 de dezembro de 2015. Disponível em: <<http://riscosegurobrasil.com/materia/para-especialista-samarcoignorou-avisos-e-gestao-de-riscos-falhou/>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

NITAHARA, A. **Apenas 6,2% dos municípios têm plano de redução de riscos de desastres naturais.** Matéria on-line publicada em 13 de novembro de 2012. Portal EBC. Brasília: 2012. Disponível em: <<http://www.ebc.com.br/2012/11/ibge-apenas62-dos-municipios-tem-plano-de-reducao-de-riscos-de-desastres-naturais>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

OGMO. Órgão Gestor de Mão de Obra do Trabalho Portuário do Porto de Itajaí. Plano de Controle de Emergências – PCE Porto de Itajaí. APM Terminals. Itajaí – SC, 2011. Disponível em: <www.portoitajai.com.br/novo/download.php?id=994>. Acesso em: 10 fev. 2017.

OHG. Observatório Histórico Geográfico. **A Formação dos Furacões** – “O maior evento Atmosférico”. Publicado em: 20 de junho de 2015. Disponível em: <<http://obshistoricogeo.blogspot.com.br/2015/06/a-formacao-dos-furacoes-o-maior-evento.html>>. Acesso em: 20 mar. 2016.

PAE. Plano de Ação de Emergência. **Roteiro para elaboração de PAE.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_p2r2_1/_arquivos/roteiro_pae.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2017.

PORTAL BRASIL. **Confira documentos sobre o desastre do Rio Doce.** Matéria on-line publicada em 23 de dezembro de 2015. Governo Federal. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/12/confira-documentos-sobre-odesastre-do-rio-doce>>. Acesso em: 10 maio 2017.

PORTAL CPRM. **Monitoramento especial do Rio Doce.** Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Eventos-Criticos/Monitoramento-Especialdo-Rio-Doce-4057.html>>. Acesso em: 15 maio 2017.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTOS. **Departamento de Defesa Civil.** Núcleos Comunitários de Defesa Civil – NUDECS. Disponível em: <<http://www.santos.sp.gov.br/?q=tags/n-cleos-comunit-rios-de-defesa-civil>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

PREVENO. **Material educativo** – Desmoronamento. Material On-line

Slideshare. Disponível em:

<<https://image.slidesharecdn.com/desmoronamentospreveno-111202054907-phpapp01/95/preveno-desmoronamentos-30-728.jpg?cb=1322805792>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

PUCMINAS. **Mapa de Risco** – Anexo XIV. Disponível em: <http://www1.pucminas.br/imagedb/documento/DOC_DSC_NOME_ARQUI20081104143622.pdf>.

Acesso em: 20 abr. 2017.

REDE NOTÍCIAS. **Tragédia em Angra dos Reis poderia ter sido evitada, diz ABMS**. Portal da Internet. Matéria On-line publicada em 04 de janeiro de 2010. Disponível em: <<https://www.redenoticia.com.br/noticia/2010/tragedia-em-angrados-reis-poderia-ter-sido-evitada-diz-abms/21115>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

RUPPENTHAL, Janis Elisa. **Gerenciamento de riscos**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria; Rede e -Tec Brasil, 2013. Disponível em:

<http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos_seguranca/sexta_etapa/gerenciamento_riscos.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2017.

SANTANA, T. A. S M.; COUTINHO, F. M. **Apresentação Escola de Química** – APP e HAZOP. BUREAU VERITAS (BV). 76ª Semana da Escola de Química. 2009.

SELLA, B. C. **Comparativo entre as técnicas de análise de Riscos APR e**

HAZOP. Monografia de Especialização. Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFP. Curitiba: 2014. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3521/1/CT_CEEST_XXVIII_2014_06.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2017.

SMA. Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **Atendimento emergencial**. Disponível em:

<<http://emergenciasquimicas.cetesb.sp.gov.br/tiposde-acidentes/rodovias/plano-de-acao-de-emergencia-pae/>>. Acesso em: 14 abr. 2017.

_____. **Plano de ação de emergência – PAE**. Disponível em: <<http://emergenciasquimicas.cetesb.sp.gov.br/tipos-de-acidentes/rodovias/atendimentoemergencial-3/>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

_____. **Plano de emergência contra incêndio – requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Gestão e mapeamento de riscos socioambientais:** curso de capacitação. Brasília: Ministério das Cidades, 2008. Disponível em: <http://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2014/07/Curso_Gestao_apostila.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2017.

SENAI. **Plano de Atendimento a Emergência – PAE.** Brigada de Emergência. Escola SENAI Antonio Devisate CFP 8.01. São José do Rio Preto. Disponível em: <<http://www.prosafe.com.br/getfile?MONITOR=NO&FL=YmNjMTY1NWVjMmQoMWY3YTdjNWE2Mjg4YjdlM2U1ZmIzZWE2MTQzM19mbF8xNjkxLnBkZg.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

SEVÁ FILHO, A. O. **No limite dos riscos e da dominação:** a politização dos investimentos industriais de grande porte. 1988. Tese (Livre-Docência) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1988.

SILVA, R. L. A. da; ADISSI, P. J. **Plano de controle de emergência:** um roteiro para elaboração. (CEFET-PE/PPGEP-UFPb). XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção – Porto Alegre, RS, Brasil, 29 out a 01 de nov de 2005. ENEGEP, 2005. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENESEP2005_Enegep0405_1300.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2017.

SANTA CATARINA. Secreyaria de Estado da Segurança Pública – Corpo de Bombeiros Militar – Diretoria de Atividades Técnicas. **Normas de Segurança contra incêndios.** Instrução Normativa (IN 031/DAT/CBMSC). Plano de Emergência. 2014. Disponível em: <https://dat.cbm.sc.gov.br/images/arquivo_pdf/IN/Em_vigor/IN_031_Plano_de_Emergnia_28mar2014.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2019.

SOUZA, C. Políticas públicas: uma revisão da literatura. **Sociologias.** Porto Alegre, 2006. a. 8, nº 16, pp. 20-45.

SOUZA, E. A. **O treinamento industrial e a gerência de riscos:** uma proposta de instrução programada. Programa de pós-graduação em engenharia de produção. Universidade Federal de Santa Catarina, 1995. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/disserta/evandro/indice/index.htm#index>>. Acesso em: 20 jan. 2013.

SOUZA, L. B.; M. E. ZANELLA. **Percepção de Riscos Ambientais:** Teoria e Aplicações. Fortaleza: Edições UFC, 2009.

SULGÁS. **Plano de Atendimento a Emergência**. Disponível em: <http://www.sulgas.rs.gov.br/sulgas/images/pdf/PAE_2012.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2017.

TAVARES, M. A. **Estudo de caso:** a aplicação do Plano de Ação de Emergência orientado a simulação em uma instituição de ensino. Universidade do Extremo Sul Catarinense – Unesc. Pós-Graduação Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/846/1/Marcio%20Andrei%20Tavares.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

UOL. Universo On-line. **Um ano de Mariana:** maior desastre ambiental do Brasil deixa duras lições. Matéria on-line publicada em 6 de novembro de 2016. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2016/11/06/um-ano-de-marina-maior-desastre-ambiental-do-brasil-deixa-duras-licoas.htm>>.

Acesso em: 10 abr. 2017.

VIANA, D.B. **Avaliação de riscos ambientais em áreas contaminadas:** uma proposta metodológica. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.getres.ufrj.br/pdf/daniel_viana.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2017.

WALDHELM NETO, N. **O que é CIPA** – Veja porque é importante na sua empresa. Matéria On-line publicada em 4 de fevereiro de 2012. Disponível em: <<http://segurancadotrabalhonwn.com/o-que-e-cipa/>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

WERNECK, G. **Samarco contratou plano de emergência contra desastres, mas nunca pôs em prática**. Disponível em: <http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2015/11/24/interna_gerais,710870/samarco-contratou-plano-de-emergenciapara-desastre-mas-nunca-pos-em.shtml>. Acesso em: 15 abr. 2016.

WVA. **Análise de Riscos como Ferramenta de Gestão Ambiental**. CRQ IV Set/2008. Disponível em: <<http://www.crq4.org.br/downloads/PRG/Artigos/Artigo%20An%20alise%20de%20Riscos.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2017. CRQ%20-