Série Manuais de Produção mais Limpa

Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS

Questões Ambientais e Produção mais Limpa

Porto Alegre
2003

Série Manuais de Produção mais Limpa

Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS

Questões Ambientais e Produção mais Limpa

PRESIDENTE DO SISTEMA FIERGS E DO CONSELHO REGIONAL DO SENAI-RS

Francisco Renan O. Proença

Conselheiros Representantes das Atividades Industriais - FIERGS

Titulares	Suplentes
Manfredo Frederico Koehler	Deomedes Roque Talini
Astor Milton Schmitt	Arlindo Paludo
Valayr Hélio Wosiack	Pedro Antônio G. Leivas Leite

Representantes do Ministério da Educação

Titular	Suplente
Edelbert Krüger	Aldo Antonello Rosito

Representantes do Ministério do Trabalho e Emprego

Titular	Suplente
Neusa Maria de Azevedo	Elisete Ramos

DIRETORIA SENAI-RS

José Zortéa
Diretor Regional

Paulo Fernando Presser
Diretor de Educação e Tecnologia

Silvio S. Andriotti
Diretor Administrativo-Financeiro

Série Manuais de Produção mais Limpa

Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS

Questões Ambientais
e
Produção mais Limpa

Série Manuais de Produção mais Limpa
Questões Ambientais e Produção mais Limpa

© 2003, CNTL SENAI-RS

Publicação elaborada com recursos do Projeto INFOREDE/FINEP Nº.6400043600, sob a orientação, coordenação e supervisão da Diretoria de Educação e Tecnologia do Departamento Regional do SENAI-RS.

Coordenação Geral	Paulo Fernando Presser	Diretoria de Educação e Tecnologia
Coordenação Local	Hugo Springer	Diretor do CNTL
Coordenação do Projeto	Marise Keller dos Santos	Coordenadora técnica do CNTL

Elaboração

ADRIANO AMARAL
ÂNGELA DE SOUZA
EDUARDO TORRES
ENDRIGO PEREIRA LIMA
ISABEL MANGANELI
LUIZ ALBERTO BERTOTTO
MARCELO CARLOTTO NEHME
MARISE KELLER DOS SANTOS
MICHEL GERBER
PAULO BOCACCIUS
ROSELE NEETZOW
WAGNER GERBER

S 491 SENAI.RS. *Questões ambientais e Produção mais Limpa*. Porto Alegre, UNIDO, UNEP, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI, 2003. 126 p. il. (Série Manuais de Produção mais Limpa).

1.Ciência ambiental. I. Título

CDU – 504

Catalogação na fonte: Enilda Hack

Centro Nacional de Tecnologias Limpas/SENAI-RS
Av. Assis Brasil, 8450 – Bairro Sarandi
CEP 91140-000 - Porto Alegre, RS
Tel.: (51) 33478410 Fax: (51) 33478405
Home page: www.rs.senai.br/cntl
e-mail: cntl@dr.rs.senai.br

SENAI – Instituição mantida e administrada pela Indústria

Sumário

1. INTRODUÇÃO ÀS QUESTÕES AMBIENTAIS 1
1.1 Introdução aos Conceitos Ambientais 1
1.2 Principais Problemas Ambientais 2
2. GERENCIAMENTO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS 11
2.1 Introdução 11
2.2 Caracterização de Resíduos Sólidos 13
2.3 Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos 16
2.4 Tratamento de Resíduos Sólidos 19
2.5 Disposição Final de Resíduos Sólidos 39
3. TRATAMENTO DE EFLUENTES 41
3.1 Introdução 41
3.2 Geração de Efluentes 41
3.3 Caracterização de Efluentes 44
3.4 Níveis de Tratamento de Efluentes 46
3.5 Classificação dos Processos 46
3.6 Sistemas de Tratamento de Efluentes 50
4. CONTROLE E TRATAMENTO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS 78
4.1 Introdução 78
4.2 Controle de Emissões Atmosféricas 82
4.3 Remoção de Material Particulado 88
4.4 Remoção de Gases e Vapores 99
5. O LICENCIAMENTO AMBIENTAL 102
6. PRODUÇÃO MAIS LIMPA 113
6.1 Centros Nacionais de Produção mais Limpa 113
6.2 Centro Nacional de Tecnologias Limpas – CNTL / SENAI-RS 114
6.3 Energia e Produção mais Limpa 122
6.4 Sistema de Gerenciamento Ambiental e Produção mais Limpa 122
6.5 Produtos do Centro Nacional de Tecnologias Limpas 123
7. BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA 125

QUESTÕES AMBIENTAIS E PRODUÇÃO MAIS LIMPA

1 QUESTÕES AMBIENTAIS

1.1 Conceitos Ambientais

As questões ambientais são, no momento, o assunto de maior amplitude global, tanto na abordagem dos aspectos técnicos envolvidos, dos impactos causados e da importância dada pela mídia. A origem dos problemas ambientais, normalmente é atribuída ao crescimento econômico baseado na exploração dos recursos naturais provocando seu esgotamento ou contaminação e no crescimento populacional sem controle. Nem sempre a tecnologia do desenvolvimento e o progresso têm sido aliados às ciências do meio ambiente, tornando-se, muitas vezes, incompatíveis com a sua preservação.

Os resíduos (sólidos, líquidos ou gasosos) sempre foram considerados sobras inevitáveis dos processos produtivos, bem como associados aos processos econômico-sociais, dos quais a sociedade é dependente. Assim como no metabolismo dos seres vivos, nossa sociedade transforma insumos em bens, em serviços e em alguns subprodutos e resíduos, que necessitam ser adequadamente tratados, para serem absorvidos pelo ambiente, com a mínima geração de impacto. O reaproveitamento de resíduos e a melhor utilização das matérias-primas são entendidos como as únicas saídas para a continuidade do processo tecnológico já implementado, pois atuam em perfeita sintonia com as necessidades de preservação do ambiente e manutenção das necessidades básicas dos seres humanos.

Para melhor entendimento, é necessário revisar os conceitos ambientais mais utilizados, que se apresentam resumidos abaixo:

Meio ambiente

Corresponde não só ao meio físico e biológico, mas também ao meio sócio-cultural e sua relação com os modelos de desenvolvimento adotados pelo homem. 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 suas formas.

Recursos ambientais

A atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo, os elementos da biosfera, a fauna e a flora.

Poluição

A degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- afetem desfavoravelmente a biota;
- afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Poluidor

A pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental.

Poluente

Substância que se encontra no meio ambiente como resultado das atividades antropogênicas e que tem efeito tóxico sobre os organismos vivos, provocando efeitos irreversíveis.

Contaminante

Substância que se encontra no meio ambiente como resultado das atividades antropogênicas e que não tem efeito tóxico sobre os organismos vivos, mas que pode apresentar efeitos biológicos.

Resíduos

Matérias-primas ou insumos não aproveitados ou desperdiçados nos processos produtivos. Os resíduos podem apresentar-se sob a forma sólida, liquida ou gasosa e desta forma, são convencionalmente denominados de:

- Resíduos na forma sólida: denominados genericamente resíduos sólidos;
- Resíduos na forma líquida: denominados efluentes líquidos, ou simplesmente efluentes;
- Resíduos na forma gasosa: denominados emissões atmosféricas, ou simplesmente, emissões.

Desenvolvimento sustentável

Significa atender às necessidades da geração atual sem comprometer o direito das futuras atenderem as suas próprias necessidades. Nessa definição estão embutidos dois conceitos com os quais precisaremos doravante conviver. O primeiro é o conceito das necessidades, que podem variar de sociedade para sociedade, mas que devem ser satisfeitas para assegurar as condições essenciais de vida a todos, indistintamente. O segundo conceito é o da limitação, que reconhece a necessidade da tecnologia desenvolver soluções que conservem os recursos limitados atualmente disponíveis e que permitam renová-los na medida em que eles sejam necessários às futuras gerações.

1.2 Principais Problemas Ambientais

Os problemas ambientais considerados globais são três: o EFEITO ESTUFA, a CHUVA ÁCIDA e o BURACO NA CAMADA DE OZÔNIO. A denominação de Problemas Globais vem do fato de que, para esses fenômenos não importa quem seja o causador, todos são prejudicados.

1.2.1 Efeito estufa

A queima de combustíveis fósseis, além de outras atividades diretas como o desmatamento, emitem grandes quantidades de gases, em especial o dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera. A cada ano estas emissões adicionam ao carbono já presente na atmosfera, mais 7 bilhões de toneladas de CO_2 que nela podem permanecer por um período superior a 100 anos. O dióxido de carbono é um bom absorvedor da radiação terrestre. Se ocorrer um aumento de CO_2, ele agirá como um "cobertor" na superfície terrestre, mantendo a terra aquecida.

Com o aumento da temperatura, a quantidade de vapor de água na atmosfera também aumentará, provocando o mesmo efeito "cobertor".

O dióxido de carbono (CO_2) é liberado quando ocorre a queima de carvão, óleo e gás e também quando as florestas são destruídas. As plantas verdes absorvem CO_2 durante a fotossíntese. Atualmente, tem sido liberada uma quantidade de CO_2 maior que a capacidade de absorção das plantas. O aumento da quantidade de CO_2 que se acumula na atmosfera, bloqueando a saída da radiação quente para o espaço e mandando de volta para a superfície terrestre esta radiação aquecida, causa o chamado efeito estufa. Emissões de metano, óxido de nitrogênio e os clorofluorcarbonetos (CFCs) também contribuem para o efeito estufa.

O aumento de CO_2 na atmosfera tem sido significativo nos últimos tempos e entre 1860 e 1989 ficou em torno de 30%; de 1958 a 1989 ficou em 9%. Se a quantidade de CO_2 dobrar, a média de temperatura da terra aumentará entre 3 a 4° C, e o nível dos oceanos será elevado de 60 centímetros a 1,2 metros, segundo alguns cientistas.

Os países industrializados são responsáveis por cerca de 71% da emissão global de CO_2. Os países em desenvolvimento, com 80% da população mundial, produzem aproximadamente

18% da emissão total. Dentro de uma política de ampliação de seus parques industriais, os países em desenvolvimento, durante a década de 80, aumentaram a emissão de CO_2 em torno de 5% ao ano, enquanto os países industrializados aumentaram sua contribuição numa taxa anual aproximada de 0,7%.

Caso a taxa de industrialização continue no mesmo ritmo, os países em desenvolvimento emitirão, em 30 anos, a mesma quantidade de CO_2 que os países industrializados. Incluindo o desmatamento e a queimada de florestas tropicais, os países em desenvolvimento poderão atingir, rapidamente, o mesmo nível de emissão de CO_2 das nações industrializadas.

Diante deste contexto, observa-se uma divisão de estratégias para enfrentar este novo desafio dentro do setor industrializado dos países desenvolvidos. Um grupo adotou a atitude de negar o problema e tem divulgado sua descrença nos argumentos sobre mudanças climáticas através de uma das maiores campanhas publicitárias veiculadas nos Estados Unidos, em 1997. Outro grupo, composto de empresas mais inovadoras e pioneiras, optou por uma reformulação de suas atividades em preparação a um novo conceito, buscando alternativas e soluções para os problemas energéticos globais.

Os maiores efeitos do aquecimento global, considerados por alguns cientistas são: os efeitos que a mudança climática causará na produção mundial de alimentos; mudanças na agricultura (que alterarão a viabilidade econômica de produção, bem como os níveis de emprego na agricultura); e a venda de *commodities* (o que poderá modificar a estrutura do comércio mundial).

Os cientistas estão conscientes sobre o fato de que a mudança climática e o aquecimento global estão ocorrendo em função das atividades e interferências humanas. Ainda assim, muitas incertezas permanecem sobre a dimensão desse aquecimento e as conseqüências da mudança nos diferentes continentes. Mesmo possuindo algumas evidências, os cientistas ainda não podem prever, com maiores detalhes, de que forma e quais continentes serão mais afetados, sendo necessárias pesquisas intensivas para confirmar as previsões científicas.

Até que estas previsões se confirmem, para que possam ser utilizadas em um plano de ação, políticos e instituições não-governamentais estão indo ao encontro da necessidade de optar entre a incerteza científica e os custos de várias ações que podem ser executadas em resposta às ameaças de mudança climática. Algumas ações são simples e de custo relativamente baixo como, por exemplo, preservação de ecossistemas em perigo de extinção, desenvolvimento de programas de conservação e uso racional de energia, bem como programas de reflorestamento e redução de desmatamento.

Existem outras ações que podem ser trabalhadas, como a utilização de novas fontes de recursos energéticos que não liberam emissões significativas de dióxido de carbono (biomassa hidroelétrica, energia eólica e solar).

É importante, entretanto, que novas alternativas sejam estudadas e que um planejamento global seja realizado, prevendo as mudanças que deverão ocorrer nas próximas décadas.

1.2.2 Chuva ácida

O fenômeno denominado Chuva Ácida pode ser relacionado com a emissão de Óxidos de Enxofre e Nitrogênio, na atmosfera. Dentre as fontes antropogênicas destacam-se os processos de combustão em geral. Este fenômeno é agravado pelo fato de que é muito mais usual a adoção de chaminés cada vez mais elevadas, do que a remoção destes poluentes dos gases emitidos.

A presença de enxofre nos combustíveis fósseis, quer seja o petróleo ou o carvão, faz com que durante o processo de queima ocorra a geração dos Óxidos de Enxofre. Normalmente, os gases combustíveis naturais não contêm esse elemento, o que pode ser uma vantagem significativa. Os processos de combustão efetuados da forma tradicional, ou seja, usando o Oxigênio contido no ar, fazem com que tenhamos sempre a presença de grandes

quantidades de Nitrogênio, já que ele se apresenta praticamente em uma quantidade 4 vezes superior ao Oxigênio.

O uso de Oxigênio puro traria um grande benefício no controle da emissão dos Óxidos de Nitrogênio, porém o custo da adoção desta alternativa ainda não permite o seu uso de forma generalizada.

O imenso uso dos processos de combustão faz com que este fenômeno ocorra em todo o planeta, de forma generalizada. Assim temos a emissão dos Óxidos de Enxofre e de Nitrogênio na geração da energia termoelétrica, na geração de vapor e em todo o sistema de transporte com motores a combustão.

Os efeitos danosos da chuva ácida podem ser observados em inúmeros locais e se apresentam principalmente da seguinte forma: corroendo edificações e obras de arte, acidificando o solo e as águas e ocasionando a perda de fertilidade. O TAJ MAHAL, por exemplo, está recebendo uma cobertura com um filme plástico para evitar a sua completa deterioração, já que é constituído por placas de mármore, material fortemente atacado pela chuva ácida.

Já existem vários conflitos entre nações, em função dos prejuízos causados pelas emissões ácidas. Destacam-se os seguintes:

- Suécia e outros x Inglaterra – Os países nórdicos reclamam da acidulação de suas águas por fumaças oriundas da Inglaterra.
- Canadá x EUA – O Canadá acusa os Estados Unidos da América de estar acabando com a vida nos seus lagos, por causa da queima de carvão em larga escala, para geração de energia termoelétrica, no Oeste Norte Americano.
- Uruguai x Brasil – O Uruguai reclama que as emissões da Termoelétrica de Candiota, no Rio Grande do Sul, estão chegando até seu território e trazendo prejuízos pelo fato de serem ácidas.

1.2.3 Destruição da camada de ozônio

Sabe-se que algumas substâncias como os Óxidos de Nitrogênio e o Cloro, entre outras, aceleram a decomposição do Ozônio. O Cloro catalisa a reação, já que ele reage com a molécula de Ozônio destruindo-a e retornando a sua condição original, podendo reagir com outra molécula de Ozônio; estima-se estatisticamente que uma molécula de Cloro pode destruir cerca de 100.000 moléculas de Ozônio.

Nem todos os compostos de Cloro preocupam em relação ao buraco na Camada de Ozônio, já que por ser uma molécula muito reativa, acaba não atingindo a estratosfera. Os CFC's (CloroFluorCarbonos), no entanto, são compostos estáveis e levam o Cloro até lá, onde este, através da radiação ultravioleta, acaba sendo liberado para reagir com o Ozônio.

Os CFC's, são compostos muito estáveis e não reativos, que foram desenvolvidos pelo homem para ter exatamente essas características. Dentre os usos atuais desses compostos, destacam-se os seguintes:

- como solvente na indústria eletrônica e
- como integrante do circuito refrigerante de refrigeradores e condicionadores de ar.

Antigamente esses compostos eram usados como propelente em aerossóis e como expansor de plásticos. Infelizmente, esses compostos deverão permanecer na atmosfera durante muitos anos. Como exemplo podemos citar o Freon F-11, que leva 74 anos para se degradar.

1.2.4 Perda da biodiversidade

A Biodiversidade é um dos grandes patrimônios da humanidade. Estima-se que existam entre 5 a 10 milhões de espécies de organismos em todo o mundo, das quais ainda se conhece muito pouco, pois apenas 1,7 milhões foram identificadas. A grande maioria não vai

ser estudada ou conhecida, pois estima-se que entre 20 a 50% das espécies estarão extintas nas primeiras décadas do século 21.

Com relação a importância das conservação das florestas, estima-se que de 74 a 86% das espécies animais e vegetais existentes, vivem nas florestas tropicais. Atualmente, um de cada três remédios brasileiros vem da floresta tropical. Este número tende a aumentar, pois apenas 3% das plantas já foram estudadas. As florestas tropicais têm importância significativa na definição do clima e caso elas desapareçam ocorrerão alterações climáticas profundas.

1.2.5 Degradação dos solos

Ações humanas inadequadas estão se somando no sentido de trazer um desequilíbrio ambiental na gestão do uso do solo.

Dentre elas destacamos a disposição inadequada de lixo, que traz prejuízo não apenas para o solo como para as águas subterrâneas. Poucos municípios conseguem dispor seu lixo de forma adequada. Práticas inadequadas de agricultura tem causado a diminuição do solo agricultu<u>rável</u>, fato que sem dúvida trará prejuízos a longo prazo, pois a formação do solo agricultu<u>rável</u> leva cerca de 500 anos.

O desmatamento das margens dos rios, as queimadas e o uso intensivo de máquinas tem provocado a erosão, que colabora para a diminuição do solo agricultu<u>rável</u> e no assoreamento dos rios. O assoreamento dos rios é uma das principais conseqüências da degradação dos solos. O assoreamento diminui a área de passagem, ocasiona o transbordamento e causando enchentes indesejadas.

1.2.6 Crescimento populacional

O crescimento populacional pode comprometer a disponibilidade de recursos naturais, além de ocasionar o inchamento das cidades, que já estas apresentam problemas de saneamento e de segurança.

A figura 1 mostra a evolução da população do planeta nos últimos 2.500 anos. Como pode ser observado entre 500 A.C. e 1.700 D.C., ou seja, durante 2.200 anos a população do planeta sempre esteve abaixo dos 500 milhões de habitantes. Com a revolução industrial tivemos uma evolução científica que permitiu uma vida mais longa para a humanidade. Como conseqüência, a população nos últimos 300 anos cresceu de forma muito rápida, o que sem dúvida colaborou para o esgotamento dos recursos naturais e para a degradação das águas, ar e solos.

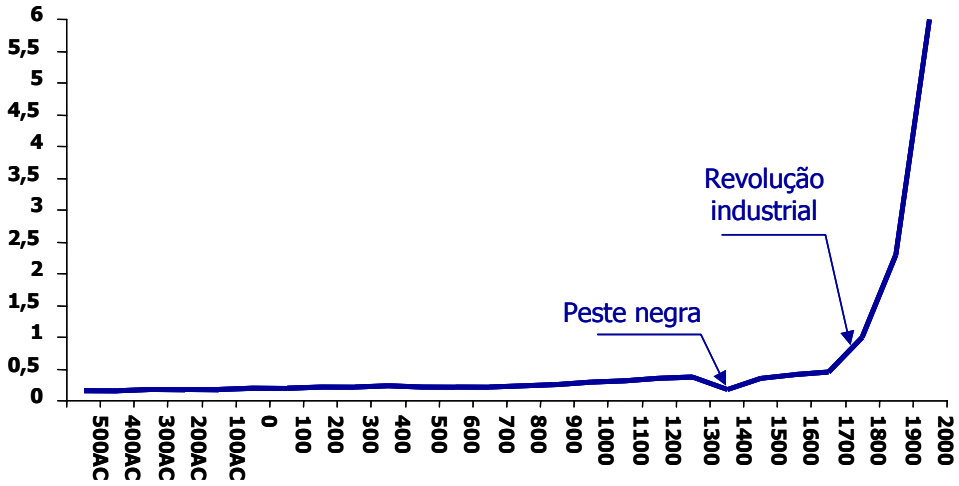


Figura 1 – Evolução da população mundial (em bilhões de habitantes)

1.2.7 Problemas das grandes cidades

O crescimento populacional e a dificuldade na fixação do homem no campo têm trazido para as cidades problemas dos mais variados, onde a falta de saneamento básico, de abastecimento de água e de coleta do lixo, além de altos riscos para a saúde, são fatores de degradação do meio ambiente. Os problemas ambientais das cidades, principalmente as maiores, são inúmeros. Desta forma vamos nos dedicar somente aos que se destacam dentre os demais:

- abastecimento de água;
- tratamento de esgotos;
- disposição do lixo e
- poluição dos veículos.

1.2.7.1 ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A escassez, mau uso e poluição das águas, caso não sejam combatidos, podem inviabilizar sociedades e mesmo nações inteiras. A água em quantidade e qualidade é fator de saúde pública, estando relacionada a ocorrência de 80% das doenças humanas.

- Tendência de escassez – menos de 1% da água do mundo é doce e disponível naturalmente; a erosão e o assoreamento, especialmente das nascentes, e a contaminação das águas subterrâneas podem determinar a dificuldade de abastecimento.
- Consumo exagerado – O consumo *per capita* especialmente nas grandes cidades brasileiras é muito grande, como por exemplo o Rio de Janeiro com 650 L/hab.dia ou São Paulo com 300 L/hab.dia. A falta de conscientização da população faz com o desperdício seja muito grande.
- Grandes perdas na distribuição – estima-se que até 30% da água distribuída seja perdida no caminho, principalmente devido à má conservação das redes de distribuição.
- Ligações clandestinas – dados coletados nas cidades maiores indicam que até 20% da água produzida é consumida em ligações clandestinas. As ligações clandestinas e as perdas na distribuição acarretam num aumento do preço do produto.
- Diminuição da qualidade da água captada – a poluição dos rios em virtude do lançamento dos efluentes domésticos e industriais tende a fazer com que a qualidade das águas retiradas para o abastecimento público esteja piorando. A adequação das estações de tratamento a esta nova realidade deve se constituir numa prioridade governamental.

1.2.7.2 TRATAMENTO DE ESGOTOS

Os esgotos das cidades brasileiras constituem-se de uma mistura de esgotos sanitários e de efluentes industriais de um conjunto de pequenas indústrias que não dispõem de tratamento próprio.

- Poucas cidades possuem rede de coleta e tratamento – no início dos anos 90, segundo o IBGE, apenas 2.090 municípios brasileiros tinham rede de esgotos e somente 50 tinham estações de tratamento de esgotos.
- Redes conjuntas com águas pluviais – na maioria das cidades ocorre o lançamento clandestino das águas contaminadas nas redes pluviais.
- Infiltração no solo – como na maior parte das cidades não existe sistema de tratamento, os esgotos domésticos são infiltrados no solo, o que pode ocasionar a contaminação das águas subterrâneas.
- Mistura de esgotos domésticos e industriais – a contaminação dos esgotos domésticos pelos efluentes industriais traz dificuldades para qualquer sistema de tratamento, pois os

sistemas de tratamento para cada um deles são diferentes. Desta forma é de se esperar que haja, em um futuro próximo, um maior controle nas emissões industriais não tratadas.

1.2.7.3 DISPOSIÇÃO DO LIXO

Lixo doméstico é aquele acumulado em nossa casa e que, após um determinado período é descartado, como restos de comida, papéis, plásticos, latas, tampinhas metálicas, pilhas usadas, entre outros. A composição e a quantidade do lixo gerado variam em função dos hábitos das sociedades. Antigamente, quase todo ele era biodegradável. O lixo de nosso tempo é cheio de plásticos e materiais tóxicos, como tintas por exemplo, que os microorganismos contidos no solo não conseguem degradar.

- Maior problema das cidades – a disposição do lixo gerado é sem dúvida um dos maiores problemas enfrentados pelas cidades. Em cada uma delas é comum encontramos pelo menos um lixão.
- Geração média de 700 g/hab.dia – estima-se que nas cidades maiores, cada habitante gere diariamente cerca de 1.200 gramas de lixo, tendendo a crescer em função do aumento no uso de material descartável.
- Nas grandes cidades, pouca área disponível – com o crescimento das cidades, cada vez mais existem menos áreas disponíveis para disposição do lixo. Uma alternativa possível é o consórcio de municípios para solução conjunta desta problemática.
- Custos crescentes – os custos de disposição do lixo tendem a crescer, principalmente porque as exigências para os aterros estão aumentando assim como as distâncias, pois as áreas disponíveis são cada vez mais distantes, o que provoca também um custo crescente no transporte.

No Brasil, a geração de resíduos sólidos municipais está estimada em 54 mil toneladas/dia, cuja composição varia de região para região. A geração per capita de uma cidade brasileira varia entre 0,4 e 1,2 kg/hab.dia. A disposição e o tratamento de resíduos sólidos urbanos no país se distribuem da seguinte forma: 76% depositados em lixão a céu aberto; 3% em aterros controlados; 10% em aterros sanitários; 0,9% em usinas de compostagem e 0,1% incinerados (FUNDAÇÃO IBGE, 1992). A variação de tipos e taxas de produção de resíduos sólidos no país está relacionada com a grande extensão territorial e com diferenças regionais, tanto sociais quanto econômicas, que não permitem o estabelecimento de uma política nacional global de gerenciamento e dificultam a obtenção de dados estatísticos.

O crescimento demográfico, combinado com mudanças de hábitos, melhoria da qualidade de vida e desenvolvimento industrial, causa um aumento na quantidade gerada de resíduos e uma modificação de suas características, com crescente participação percentual de embalagens e outros materiais inertes, agravando os problemas de disposição.

Recentemente, o destino final das pilhas e baterias virou manchete de jornais. Isto porque metais como o mercúrio, cádmio e chumbo estão presentes nas pilhas tipo zinco - carbono e alcalinas, que contém 0,025 a 1% de mercúrio, nas pilhas tipo níquel - cádmio e nas pequenas baterias de chumbo, chamadas SLA. No Brasil, o destino final das pilhas são lixões ou aterros sanitários, contaminando o solo, os cursos de água, o lençol freático, a flora e a fauna, devido ao vazamento dos metais tóxicos que chegam ao ser humano através de cadeias alimentares. O problema do lixo não é somente de responsabilidade das Prefeituras. Trata-se de um problema que deve ser resolvido em conjunto por todos.

1.2.7.4 POLUIÇÃO DOS VEÍCULOS

Os veículos automotores, nas cidades, se constituem numa grande fonte de emissão de compostos aéreos. O fato da fonte emissora (veículos) e os receptores (pessoas) estarem muito próximos, e os riscos daí decorrentes, faz com que o controle das emissões dos

veículos tenha que ser uma obrigação do Estado. Entre as principais emissões gasosas dos veículos encontramos:

- Poeiras (fuligem), que ocorrem com maior intensidade nos veículos cujo combustível é o óleo diesel.
- Hidrocarbonetos, emitidos durante a queima, pela má combustão, ou por perdas por evaporação.
- Óxidos de Enxofre, emitidos durante a combustão, tem por origem a presença de Enxofre nos combustíveis.
- Óxidos de Nitrogênio, são decorrentes do processo de combustão e da presença inevitável, no momento, do Nitrogênio nos processos de combustão, pelo fato de estar presente no ar, fonte do Oxigênio.
- Monóxido de Carbono, emitido durante o processo de combustão, decorre principalmente da má queima dos combustíveis, está presente em todos os processos de queima.
- Outra contribuição importante, para agravamento da qualidade de vida nas cidades, é o ruído gerado pela utilização dos veículos. Cidades como o Rio de Janeiro tem um crescimento médio de cerca de 2dB (decibéis) por ano, em seu nível de ruído.

O controle da emissão veicular, quer seja ela química (gases) ou física (ruído), é uma necessidade que se impõe.

1.2.8 Contaminação por mercúrio

O uso do mercúrio no beneficiamento dos minerais auríferos (amalgamação) foi responsável pela importação de 260 toneladas de mercúrio metálico em 1989. Aproximadamente 10% do mercúrio utilizado na amalgamação são emitidos para o ambiente. Outra importante fonte de emissão de mercúrio é o refino de ouro nas casas compradoras, liberando um residual de mercúrio da ordem de 1 a 5%, contido no ouro comprado dos garimpeiros. O uso do mercúrio no garimpo é, indiscutivelmente uma forma eficiente e barata para a obtenção do ouro fino, quando a amalgamação se processa adequadamente. Por outro lado, os resíduos de amalgamação constituem-se num perigoso poluente lançado no ambiente.

Nas regiões de garimpo intenso é comum a contaminação de peixes por mercúrio, os quais servem, normalmente, de alimento para os próprios garimpeiros.

Além do garimpo, o mercúrio é utilizado em outros processos produtivos. O caso mais famoso de intoxicação por mercúrio ocorreu na baía de Minamata, no Japão, onde fábricas de acetaldeído e cloreto de vinila descarregaram grandes quantidades de cloreto de mercúrio e metil mercúrio no mar. As pessoas que se alimentavam dos peixes oriundos da região foram contaminadas e dezenas delas acabaram morrendo.

1.2.9 Destruição da Floresta Amazônica

O Brasil é um dos países com a maior biodiversidade no mundo, mas é também um dos que menos protege sua natureza. Um estudo qualitativo divulgado pelo WWF mostra que 75% dos parques e reservas nacionais ainda estão ameaçados devido a uma combinação de falta de implementação e com alta vulnerabilidade. O resultado é que a área efetivamente protegida no Brasil é muito menor do que o indicado nas estatísticas oficiais: as 86 unidades de conservação federal de uso indireto estudadas protegeriam, somadas, 1,85% do território nacional; mas, descontando-se os parques e reservas em situação precária, o total protegido de fato, cai para apenas 0,4%. Isso coloca o Brasil bem abaixo da média mundial, que é de 6%. O estudo demonstra que os parques e reservas no Brasil não cumprem seu papel básico que é o de proteger mananciais e espécies ameaçadas, servir de local para pesquisa científica e, em certos casos, permitir o contato com a natureza por meio do ecoturismo e da educação ambiental.

Entre os problemas que o estudo aponta estão: os parques e reservas não têm suas terras completamente regularizadas nem demarcadas e não possuem equipamentos ou funcionários em número suficiente para fiscalizar e administrar a área. Segundo o diretor-executivo do WWF, Garo Batmanian, "*este quadro é preocupante no momento em que as taxas de desmatamento continuam altas e a crise financeira impõe cortes de recursos à área ambiental*". O relatório foi encaminhado ao Ministério do Meio Ambiente e ao IBAMA.

Entretanto, segundo Lomborg (2002), as estatísticas apresentadas não têm uma avaliação histórica sustentável.

O processo de desmatamento da floresta amazônica, provocado por queimadas e derrubadas, e, num futuro próximo, possivelmente agravado pela pressão internacional por madeira, ocorre de forma rápida e preocupante. Suas conseqüências não ficam restritas ao nosso país e podem afetar o planeta, pois levam a alterações climáticas como o agravamento do efeito estufa. Pode, ainda, alterar o regime hídrico local e as características do solo na bacia do rio Amazonas. Os programas ambientais apresentados para a região convivem com o dilema do Brasil entre o desenvolvimento e a preservação. Procuram-se alternativas que possam conciliar esses dois interesses, como as reservas extrativistas, o turismo e a pesquisa de drogas medicinais, contrárias ao modelo de ocupação atual, que substitui a floresta por gado ou cultivos exóticos, de menor produtividade e maior dano.

1.2.10 Escassez de água

A água limpa do planeta caminha para assumir o papel que tinha o petróleo em 1973: uma *commodity* em crise, com potencial para lançar a economia mundial num estado de choque. Nem o Brasil, privilegiado com 12% da água doce existente no mundo, vai escapar do estresse hídrico do planeta. Entre 1970 e 1995, a quantidade de água disponível para cada habitante do mundo diminui cerca de 37%. Mantida a atual política de uso da água e com as estimativas de crescimento populacional, a ONU - Organização das Nações Unidas, prevê o esgotamento do estoque útil de água potável até 2025. Aliadas à previsível escassez de água estão a má distribuição e a contaminação dos recursos hídricos. Hoje, cerca de 1,4 bilhões de pessoas não tem acesso à água potável. A cada 8 segundos morre uma criança por doença relacionada à contaminação hídrica, como disenteria e cólera, e 80% das enfermidades do mundo são contraídas por causa da água contaminada.

No Brasil, o problema não vai se restringir aos grandes centros nem ao sertão nordestino. Em dez anos, o desabastecimento pode atingir as principais capitais e regiões metropolitanas. Em São Paulo, o racionamento sazonal já é uma prática freqüente. A contaminação das reservas de água superficiais e subterrâneas ocorre ao mesmo tempo em que não é racionalizado o consumo de água e a população aumenta.

Em relação ao desperdício, estima-se que no Brasil as perdas sejam de 40% de água tratada nos sistema de distribuição. A grande São Paulo desperdiça 10 m^3 de água por segundo, o que poderia abastecer cerca de 3 milhões de pessoas por dia.

1.2.11 O caso da Lagoa Rodrigo de Freitas – exemplo regional

A bacia hidrográfica da área de influência da lagoa Rodrigo de Freitas, localizada na zona sul do município do Rio de Janeiro, é formada basicamente pelos rios Cabeças, Macacos e Rainha. Para evitar um maior comprometimento na qualidade das águas da lagoa, grande parte das águas escoadas pelos rios Cabeças, Macacos e Rainha são desviadas por canais que desembocam no mar, havendo, no entanto, uma comporta que permite o extravasamento dos rios Cabeças e Macacos para a lagoa Rodrigo de Freitas, quando da ocorrência de cheias.

Os maiores problemas que afetam a qualidade deste ecossistema estão relacionados à drenagem pluvial, à qualidade da água da lagoa, ao sistema formado pela embocadura do canal do Jardim de Alah e ao movimento da areia das praias de Ipanema e Leblon. A lagoa é circundada por uma área altamente urbanizada. Embora dotadas de rede de esgotamento

sanitário, as bacias que contribuem naturalmente para ela acabam por fazer chegar às suas águas alguma carga poluidora, o que resulta em danos à qualidade das águas da lagoa.

Vários fatores interagem e desencadeiam condições adversas na lagoa Rodrigo de Freitas; a estratificação de suas águas, decorrente da insuficiente circulação e renovação, faz com que a água do mar (mais densa) penetre em pequena quantidade e em baixa velocidade, migrando para o fundo, ficando acima da camada de lama rica em matéria orgânica e abaixo de uma camada de água salobra (menos densa). Esta situação tende a permanecer, visto que a circulação provocada pelas marés é muito pequena, só sendo modificada caso ocorram ventos muito fortes.

Estabelecida a estratificação, a camada mais salgada torna-se em pouco tempo anaeróbia e rica em gases, com oxidação da matéria orgânica existente no fundo da Lagoa. A mistura destas camadas, devido a ventos fortes causa rápido déficit de oxigênio dissolvido em toda a massa d'água. Estes fatores foram os responsáveis pela alta mortandade de peixes, observada no início de 2000.

2 GERENCIAMENTO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

2.1 Introdução

O aumento populacional, a industrialização e o incremento nas atividades foram os principais motivos da multiplicação dos resíduos. O crescimento acelerado da população implica na expansão automática da industrialização para atender a nova demanda, o que significa um aumento considerável no volume de resíduos gerados, tanto do ponto de vista doméstico quanto industrial.

O tratamento não adequado desta quantidade de resíduos pode representar um aumento na degradação ambiental em detrimento da qualidade de vida.

2.1.1 Histórico

A prática de aterrar lixo não é privilégio da civilização moderna. Em 2.500 A.C., na Mesopotânia, os resíduos domésticos e agrícolas eram enterrados em trincheiras escavadas no solo. Posteriormente, a matéria orgânica decomposta era removida e utilizada como fertilizante orgânico. O povo Romano também tinha prática de aterrar seus resíduos. Prática esta que iniciou devido à grande proliferação de roedores e insetos junto aos locais de depósito de lixo. Na idade média, a peste bubônica, que fez mais de 43 milhões de vítimas na Europa, obrigou os administradores públicos a desenvolverem técnicas de tratamentos de rejeitos mais sépticas e confiáveis. Daí surgiu a técnica de disposição em aterros sanitários, simples e de baixo custo. Na antigüidade, os orientais, em especial, utilizavam artesanalmente o processo de tratamento de resíduos no solo com posterior recuperação e utilização na produção de cereais. Este processo é chamado hoje de compostagem.

A preocupação com a poluição ambiental decorrente dos resíduos sólidos é relativamente recente. Historicamente verifica-se que os esforços foram inicialmente direcionados para o controle da qualidade dos recursos hídricos. Posteriormente, com o incremento no número de veículos e o desenvolvimento industrial a qualidade do ar mereceu atenção especial. Só recentemente o problema ocasionado pelos resíduos sólidos vem recebendo a atenção necessária. Isto porque, diariamente, são descobertos extensos "cemitérios" de resíduos sólidos.

No Brasil verifica-se a mesma tendência mundial no trato com o controle das fontes de poluição ambiental, porém bem mais tarde. O histórico do tratamento de resíduos no Brasil revela o uso de lixões onde verifica-se a mistura de resíduos domésticos, hospitalares e industriais.

Freqüentemente observam-se depósitos de resíduos sem condições técnicas adequadas e tecnologias importadas incompatíveis com as condições brasileiras. Mais de 95% do tratamento utiliza o solo como meio. Existem poucas unidades de incineração com tratamento adequado dos gases emitidos. A legislação é pouco específica e dificulta o controle pelos órgãos ambientais. Existem ainda poucos centros de pesquisas sobre o assunto.

2.1.2 Tendência mundial

Hoje, a tendência mundial, em especial nos países altamente industrializados, está baseada em:

- Redução da geração na fonte - Geração Zero ou minimização: pode variar desde a alteração de práticas operacionais até alterações tecnológicas no processo produtivo.
- Reutilização de resíduos: pode variar da simples utilização dos dois lados de uma folha de papel, passando pela reutilização de peças e componentes usados de produtos até profundas alterações no processo produtivo.

- Reciclagem de resíduos: pode ser dividida em reciclagem interna e externa onde a primeira utiliza os resíduos como matéria-prima em outro processo produtivo e a segunda, além desta utilização, pode aproveitar os materiais contidos nos resíduos e transformá-los em outro produto.
- Incineração de resíduos com aproveitamento de calor: visa a redução de volume e toxicidade dos resíduos, bem como pode ser dirigida à recuperação energética dos materiais contidos no resíduo.
- Implantação de monitoramento nos locais de disposição de resíduos: prevenção e controle da poluição ambiental.

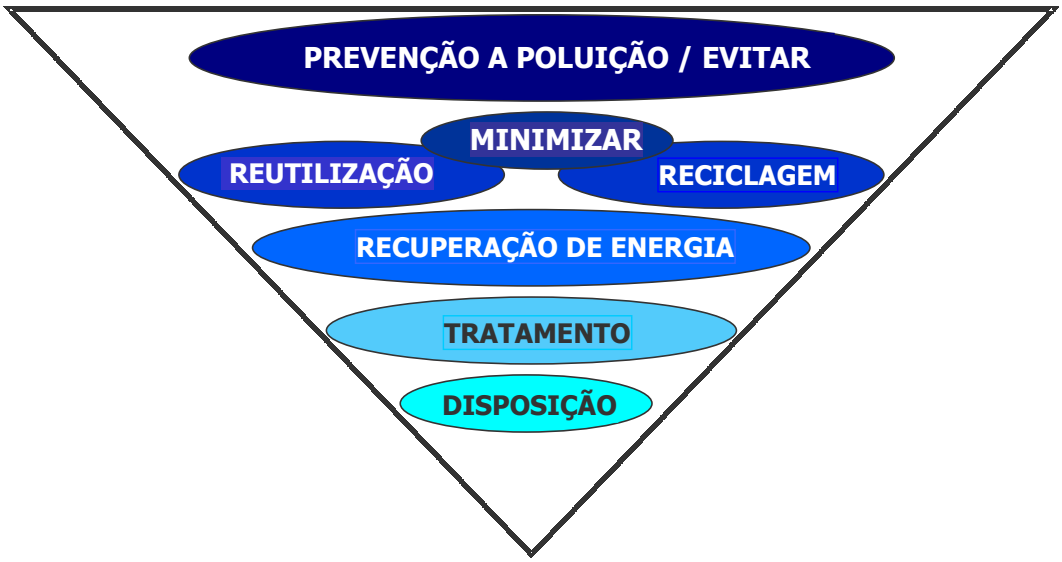


Figura 2 Prioridades em relação a geração de resíduos

Pesquisas recentes nos Estados Unidos revelaram os seguintes dados:

- os gastos com reciclagem, incineração e outras alternativas para tratamento e disposição de resíduos passaram de US$ 10 bilhões em 1989, para US$ 25 bilhões após o ano 2000.
- o segmento de projeto de recuperação de áreas degradadas triplicou neste período, passando de US$ 927,0 milhões para US$ 3,4 bilhões.
- a pressão da legislação foi intensificada para que os resíduos perigosos não fossem mais tratados no solo e medidas definitivas foram tomadas.

A tendência brasileira é de intensificar a reciclagem dos rejeitos com uma maior divulgação das bolsas de resíduos, segregar o lixo industrial do lixo doméstico com tratamento respectivo, destacando a necessidade de investimentos em tecnologia por parte das indústrias e intensificar a existência de centrais de tratamento de resíduos.

Atualmente, os processos produtivos industriais são muito diversificados, capazes de originar uma variedade de sub-produtos e resíduos sólidos. Estes, gerados nas atividades industriais, normalmente não retornam aos processos produtivos como forma de recuperar matéria e energia. São lançados ao meio ambiente de maneira desordenada, interferindo nos sistemas naturais.

Este fenômeno, via de regra, é conseqüência da escassez de recursos humanos e de limitações tecnológicas. Outras vezes, devido à falta de conhecimento ou conscientização.

O lixo disposto inadequadamente sem qualquer tratamento, pode poluir o solo, as águas superficiais e subterrâneas e contaminar o ar. A poluição do solo é a forma mais direta de contaminação, pois altera as características físicas, químicas e biológicas do mesmo.

As águas podem ser contaminadas diretamente pelos resíduos, conforme a proximidade do local de tratamento/disposição ou através da percolação do solo e lixiviação, contaminando a água subterrânea.

A poluição do ar é causada pela disposição de resíduos sem controle de gases e odores, bem como pela queima inadequada.

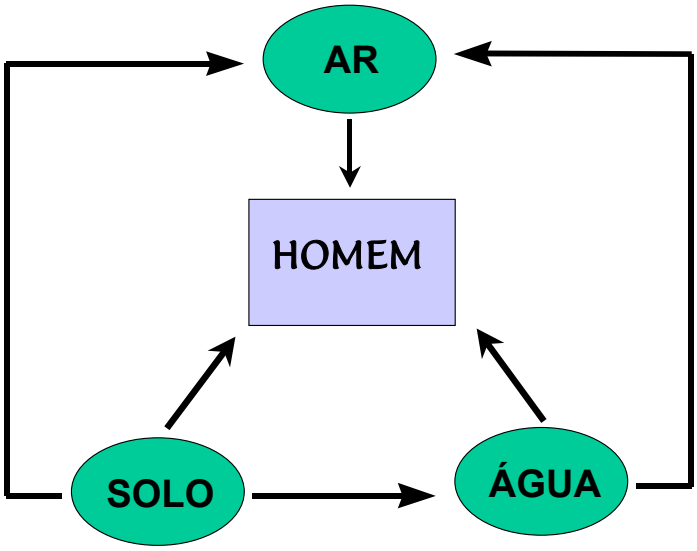


Figura 3 - Interações dos sistemas com o ser humano

2.2 Caracterização de Resíduos Sólidos

2.2.1 Definição

Segundo a NBR 10004 são os resíduos que encontram-se nos estados sólidos e semi-sólidos e que resultam das atividades da comunidade de origem:

- Industrial
- Doméstica
- Hospitalar
- Comercial
- Agrícola
- Serviços Gerais
- Varrição

Estão 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 seu lançamento na rede de esgoto ou corpos de água, ou exijam para isto soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

2.2.2 Resíduos sólidos industriais

São os resíduos sólidos e semi-sólidos resultantes do processamento industrial, bem como determinados líquidos oriundos do mesmo processamento, não passíveis de tratamento pelos métodos convencionais e que, por suas características, não podem ser lançados na rede de esgoto ou em corpos d'água. Incluem-se também nesta relação os lodos de estações de tratamento de efluentes.

2.2.3 Periculosidade de um resíduo

Característica apresentada por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, pode apresentar:

- risco à saúde pública, provocando ou acentuando, de forma significativa, um aumento de mortalidade ou incidência de doenças, e/ou

- risco ao meio ambiente, quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada.

A caracterização de um resíduo é um fator importante para avaliar alternativas de tratamento, disposição e recuperação de energia, porém muitas vezes é bastante difícil em função, principalmente, das limitações técnicas de nossos laboratórios. Em função disto, a *origem* do resíduo e um conhecimento prévio do *processo industrial* que lhe deu origem, podem facilitar bastante a classificação de um resíduo através das listagens da NBR 10004.

Aqueles resíduos cuja origem não seja conhecida ou não seja caracterizado através das listagens, deverá ter sua *periculosidade* efetiva avaliada através da amostragem e realização de exames e testes em laboratórios padronizados das seguintes características:

- Inflamabilidade
- Corrosividade
- Reatividade
- Toxicidade
- Patogenicidade

2.2.4 Classificação de um resíduo

As decisões técnicas e econômicas tomadas em todas as fases do resíduo desde a sua geração, manuseio, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final, devem basear-se na *classificação do resíduo,* em função dos riscos que estes podem apresentar ao homem e ao Meio Ambiente.

Com o objetivo de padronizar, a nível nacional, a classificação dos resíduos, a ABNT estabeleceu um conjunto de normas que caracterizam os resíduos de acordo com sua periculosidade. São elas:

- NBR 10004 - Resíduos Sólidos - Classificação
- NBR 10005 - Lixiviação de Resíduos - Procedimento
- NRB 10006 - Solubilização de Resíduos - Procedimento
- NBR 10007 - Amostragem de Resíduos - Procedimento

Segundo a NBR 10004, os resíduos são divididos nas seguintes classes:

Classe I - Perigosos

São aqueles resíduos ou mistura de resíduos que, em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar risco à saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento de mortalidade ou incidência de doenças e/ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseado ou disposto de forma inadequada.

Ex.: Lama de cromo, borras oleosas, lodo de estação de tratamento.

Classe II - Não Inertes

São os resíduos que por suas características, não se enquadram nas classificações de resíduos Classe I (Perigosos) ou Classe III (Inertes). Esses Resíduos podem apresentar propriedades como: solubilidade em água, biodegradabilidade, combustibilidade.

Ex.: Restos de alimentos, papel e papelão, madeira, tecidos.

Classe III - Inertes

São os resíduos que submetidos ao teste de solubilidade (conforme NBR 10006 - Solubilização de resíduos) não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água (conforme listagem da NBR 10004).

Ex.: Blocos de Concreto, vidro, porcelana, certos plásticos.

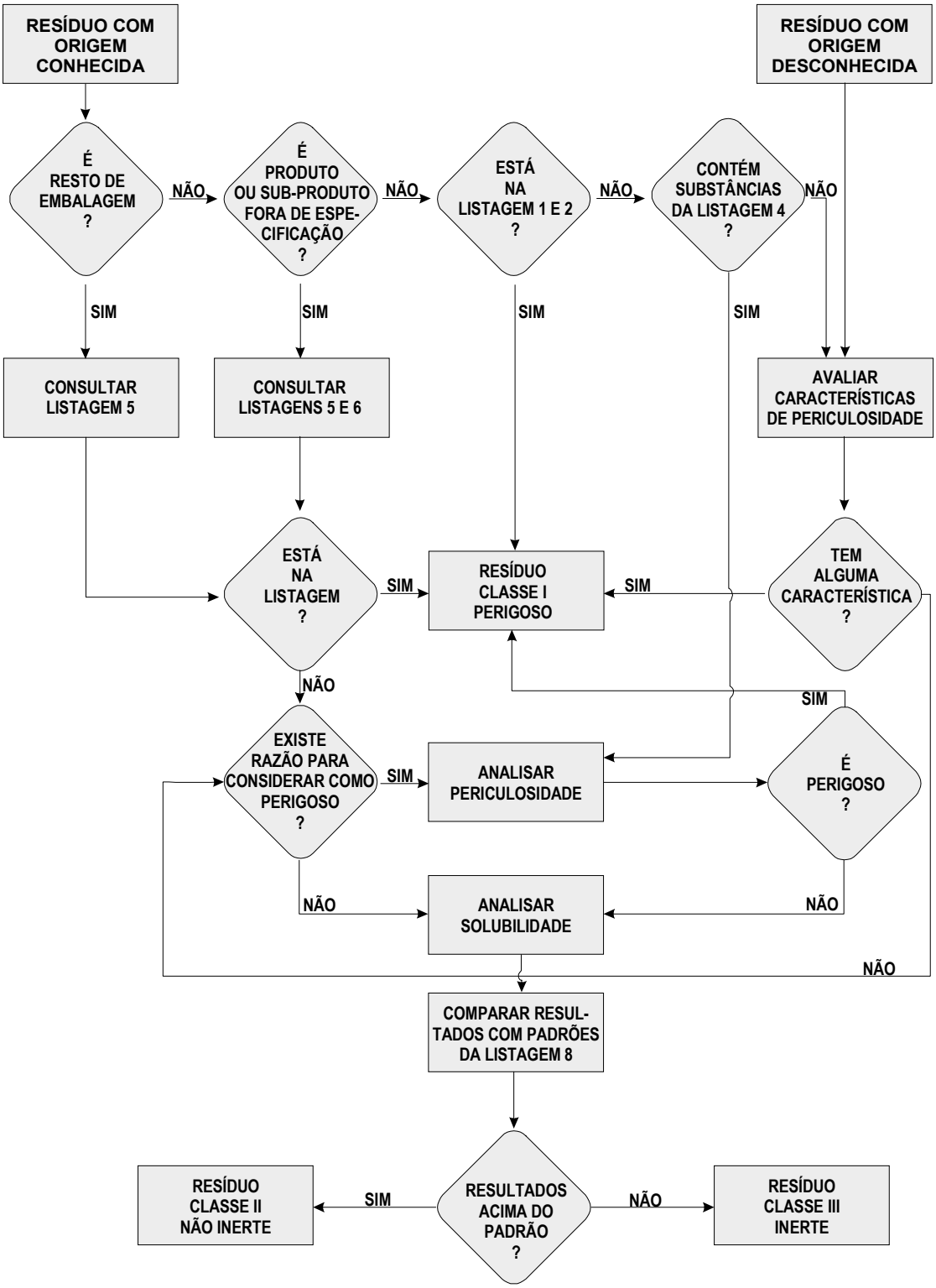


Figura 4 – Fluxograma de classificação de resíduos, segundo NBR 10004

2.3 Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos

Um programa de gerenciamento integrado de resíduos sólidos deve assegurar que todos os resíduos sejam gerenciados de forma apropriada e segura, desde a sua geração até a disposição final (do berço ao túmulo), e deve envolver as seguintes etapas:

- Geração;
- Caracterização;
- Manuseio;
- Acondicionamento;
- Armazenamento;
- Coleta;
- Transporte;
- Reuso/Reciclagem;
- Tratamento;
- Disposição final.

As decisões técnicas e econômicas tomadas em relação aos resíduos estocados, baseiam-se em informações preliminares, que levam em consideração principalmente os aspectos de saúde ocupacional, qualidade ambiental, exeqüibilidade da medida e custos envolvidos.

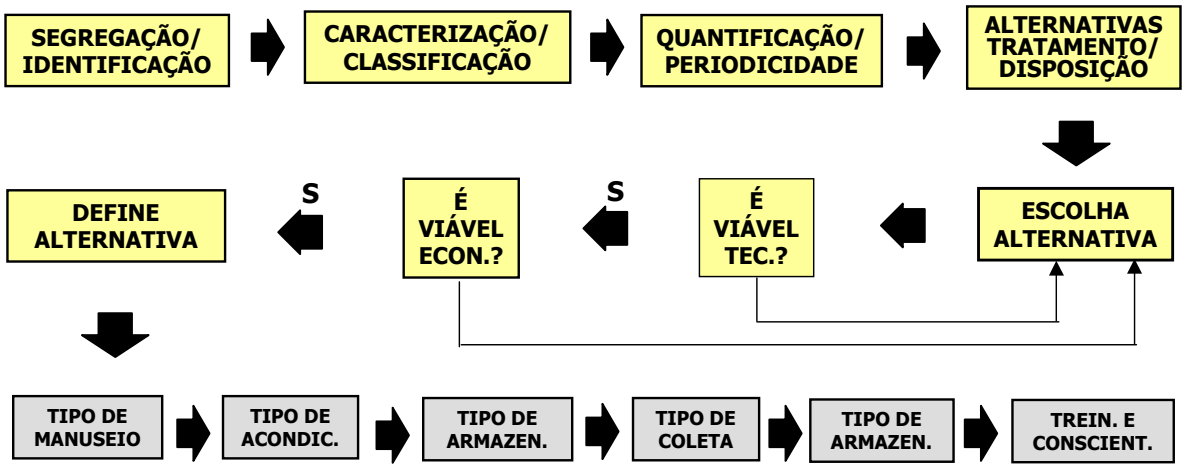


Figura 5 – Fluxograma de gerenciamento integrado de resíduos

2.3.1 Treinamento de pessoal

As pessoas envolvidas com o manuseio de resíduos devem ter conhecimento dos aspectos ambientais de suas atividades. Muitas vezes os resíduos não apresentam efeitos imediatos, como intoxicação aguda ou queimaduras, porém ao longo do tempo podem ser observados efeitos crônicos, distúrbios irreversíveis no organismo ou mesmo danos genéticos e teratogênicos.

O manuseio de resíduos é realizado geralmente por pessoal desqualificado podendo gerar problemas de ordem técnica, econômica e de segurança. O correto manuseio dos resíduos, apesar de implicar em custos adicionais, não deve ser desconsiderado, pois representa grave risco ao ser humano e ao meio ambiente. O manuseio correto pode tornar-se menos oneroso do que a recuperação de recursos naturais contaminados, bem como, o tratamento de saúde dispendido ao pessoal envolvido com os resíduos.

Para o correto manuseio dos resíduos, os operadores devem ser devidamente treinados, onde o treinamento básico deve conter:

- informações quanto às características e os riscos inerentes ao trato de cada tipo de resíduo;
- orientação quanto à execução das tarefas de coleta, transporte e armazenamento;
- utilização adequada de EPI's necessários às suas atividades e
- procedimentos de emergência em caso de contato ou contaminação com o resíduo, tanto individual, quanto ambiental.

2.3.2 Identificação e seleção dos resíduos

Para o estabelecimento de uma política de controle de resíduos é necessário antes de qualquer coisa, definir-se perfeitamente aquilo que vai ser controlado, ou seja, é preciso saber quais resíduos serão trabalhados.

A segregação e posterior identificação do resíduo deve ser a etapa inicial do trabalho. Com ela é possível evitar a mistura de resíduos incompatíveis, melhorar a qualidade dos resíduos que podem ser recuperados ou reciclados e reduzir o volume dos resíduos perigosos a serem tratados.

2.3.3 Caracterização e classificação

Agrupar em classes distintas os resíduos que possuem características semelhantes em função dos riscos que apresentam ao meio ambiente.

Esta classificação é um dos pontos a serem considerados no estabelecimento das ações, uma vez que é técnica e economicamente inviável o controle global do problema.

2.3.4 Quantificação e periodicidade

As quantidades produzidas e a freqüência de geração de cada resíduo são muitas vezes dados de difícil obtenção e precisão. É fundamental para esta etapa, o conhecimento do processo industrial que lhe deu origem.

O conhecimento de tais parâmetros é de extrema importância para definir as técnicas de manejo, acondicionamento, transporte, tratamento/disposição dos resíduos.

2.3.5 Manuseio

Os resíduos, por não serem economicamente representativos, são tratados inadequadamente. São manuseados por pessoal desqualificado que na maioria das vezes desconhece a periculosidade dos mesmos. São simplesmente jogados em qualquer ponto da fábrica e dispostos sem qualquer critério de engenharia e segurança.

O correto manuseio dos resíduos, apesar de gerar custos, não pode ser desconsiderado, pois negligenciado, representa grave risco ao homem e ao meio ambiente. É normalmente menos oneroso que a recuperação dos recursos naturais contaminados.

Para a movimentação interna dos resíduos devem ser considerados os seguintes aspectos:

- necessidade de rotas preestabelecidas;
- equipamentos compatíveis com o volume;
- peso e forma do resíduo a ser manuseado;
- pessoal familiarizado com esses equipamentos;
- determinação das áreas de risco para equipamentos especiais.

As pessoas envolvidas com manuseio de resíduos devem ter conhecimento dos aspectos ambientais de suas atividades. Na empresa a movimentação dos resíduos é promovida por: carrinho de mão, empilhadeiras, caminhonetes, tratores, etc.

2.3.6 Segregação de resíduos

A separação correta e criteriosa é uma etapa fundamental no gerenciamento de resíduos, pois permite o tratamento diferenciado, a racionalização de recursos despendidos e facilita a

reciclagem. A segregação é importante porque evita a mistura de resíduos incompatíveis e reduz o volume de resíduos perigosos a serem tratados. Além disso, devem ser observados os seguintes itens:

- a separação deve ser realizada no local de origem;
- separar resíduos que possam gerar condições perigosas quando combinados;
- evitar misturar resíduos líquidos com resíduos sólidos.

2.3.7 Acondicionamento

O acondicionamento depende de cada tipo de resíduo, forma de tratamento e/ou disposição final e do tipo de transporte utilizado. Devem ser observados alguns critérios mínimos para a forma de acondicionamento:

- material de construção compatível com os resíduos;
- estanqueidade;
- resistência física a pequenos choques;
- durabilidade;
- compatibilidade com os equipamentos de transporte em termos de forma, volume e peso.

No acondicionamento devem ser respeitadas informações básicas sobre o resíduo, tais como: características, quantidades geradas, periodicidade, tipo de transporte utilizado e forma de tratamento ou disposição final. Normalmente são utilizados dois tipos de recipientes: o de pequena capacidade e o de grande capacidade.

Tipos de acondicionamento mais usuais:

- tambores de 200 L;
- a granel;
- caçambas e containeres;
- tanque;
- tambores de outros tamanhos e bombonas;
- fardos;
- sacos plásticos.

2.3.8 Armazenamento

É definido como a área onde o resíduo fica depositado temporariamente até o seu tratamento ou destino final. Na maioria das vezes os resíduos sólidos gerados em uma indústria são armazenados sem qualquer critério. Esta prática traz prejuízos tanto ao próprio industrial quanto ao transportador, uma vez que a forma de armazenamento interfere na determinação do tipo de transporte.

O armazenamento dos resíduos deverá atender a Portaria Minter nº 124/80 e ser executado conforme as condições estabelecidas nas normas:

- NBR 12235 – Armazenamento de resíduos perigosos;
- NBR 11174 – Armazenamento de resíduos não inertes e inertes;
- NB 98 – Armazenamento e manuseio de líquidos inflamáveis e combustíveis.

Na escolha da área onde o resíduo vai ficar depositado temporariamente até seu tratamento e/ou destino final, devem ser observados os seguintes itens:

- o local deve ser projetado para que o risco de contaminação ambiental seja mínimo;
- deve ser de fácil acesso para os equipamentos de transporte;
- deve ter o acesso limitado;
- os resíduos devem estar devidamente identificados e dispostos em áreas separadas;

- o piso deve ser impermeabilizado e com drenagens para a ETE;
- os resíduos de diferentes classificações não devem ser armazenados próximos;
- o local deve ser coberto, dependendo do tipo de resíduo estocado;
- o local deve ser ligeiramente afastado de áreas administrativas. Deverá ser controlada a direção predominante dos ventos para evitar problemas de odor.
- a Instalação deverá possuir equipamentos de segurança e de proteção individual compatível com os resíduos e com as possíveis emergências.

2.3.9 Transporte

O expedidor de resíduos ou produtos perigosos é a pessoa jurídica responsável pela contratação do transporte. O expedidor tem por obrigação, antes de efetuar o embarque da carga:

- certificar-se de que o motorista possua o devido treinamento;
- certificar-se das boas condições do veículo;
- verificar a existência de equipamentos para situações de emergência e de proteção individual;
- avaliar a compatibilidade dos resíduos;
- avaliar o acondicionamento, a distribuição dos resíduos no veículo e a correta colocação dos rótulos de risco e painéis de segurança;
- fornecer a ficha de emergência e o envelope para o transporte;
- colocar na nota fiscal o nome e o número do resíduo, classe de risco e declaração sobre o acondicionamento da carga.

2.3.10 Minimização da geração

É importante ter em mente que toda tecnologia utilizada no abatimento de carga poluente, seja moderna ou convencional, deve ser encarada como a última opção, dentre uma série de medidas que podem ser tomadas no gerenciamento de resíduos. É de vital importância para a indústria moderna que o termo minimização seja praticado na sua plenitude.

De maneira resumida, a minimização abrange uma série de técnicas a serem utilizadas de modo a eliminar ou minimizar um determinado resíduo na própria fonte geradora. Dentre as principais técnicas ou medidas para minimização pode-se citar:

- substituição de matérias-primas;
- modificação tecnológica;
- modificação de procedimentos e práticas operacionais.

Estas atitudes podem ser tomadas separadamente ou em conjunto, sendo interessante ressaltar que o tratamento de resíduos, embora sendo uma das atitudes possíveis, infelizmente tem sido encarado como a única opção disponível.

2.4 Tratamento de Resíduos Sólidos

São processos que alteram as características, a composição e as propriedades dos resíduos, com o objetivo de reduzir sua toxicidade, seu volume ou destruí-lo.

Existem várias formas de se tratar um resíduo, como:

- converter constituintes agressivos em formas menos perigosas ou insolúveis;
- alterar a estrutura química de determinados produtos, tornando mais fácil sua assimilação pelo meio ambiente;
- destruir quimicamente produtos indesejáveis e separando da massa de resíduos os constituintes perigosos, com a conseqüente redução de volume e periculosidade.

2.4.1 Tipos de tratamento

Existem vários tipos de tratamento de resíduos, que podem ser divididos da seguinte forma:

- Tratamento Físico: separação e redução de volume.

Ex.: adensamento, desaguamento, secagem, filtração, centrifugação, adsorção, etc.

- Tratamento Físico-químico: inertização e redução da toxicidade.

Ex.: encapsulamento e neutralização.

- Tratamento Químico: separação e redução de volume e toxicidade.

Ex.: incineração, precipitação, oxidação, redução, co-processamento, recuperação eletrolítica, gaseificação, etc.

- Tratamento Biológico: redução da toxicidade.

Ex.: *land-farming*, digestão anaeróbia, compostagem, uso de plantas enraizadas, etc.

2.4.2 Leitos de secagem

Consistem em tanques rasos de alvenaria, com fundo drenante. Sobre o fundo é colocado um sistema de filtração de material granular inerte, normalmente areia e brita. Sobre o filtro é colocada uma proteção que facilita a remoção do lodo adensado sem danificar o material filtrante.

A secagem se dá pela drenagem dos líquidos e através da evaporação, na superfície exposta ao ar e ao calor, onde o líquido recolhido na rede de drenagem retorna à ETE. Quanto maior a incidência de luz solar e ventilação e quanto menor precipitação e umidade do ar, mais eficiente será o processo.

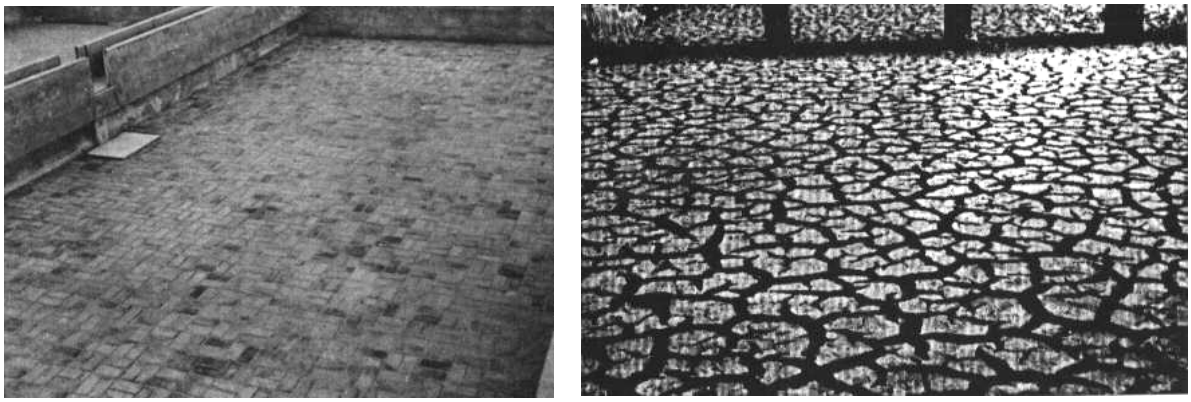


Figura 6 - Leito de secagem vazio e lodo seco

2.4.3 Filtração

Processo de separação entre as fases sólida e líquida de um resíduo pela retenção das partículas sólidas em um sistema de filtração.

Tabela 1 – Tipos de filtros

Características	Filtro prensa de placas	Filtro prensa de cinto	Filtro a vácuo
Redução de volume	Média	média	Elevada
Redução de umidade	< 80%	< 60%	< 70%
Custo operacional	Médio	baixo	Elevado
Tipo de processo	Bateladas	Contínuo	Semi-contínuo
Limitações	Resíduo com elevado teor de sólidos	Baixa capacidade de processamento	Lodo adicional gerado pelo meio filtrante

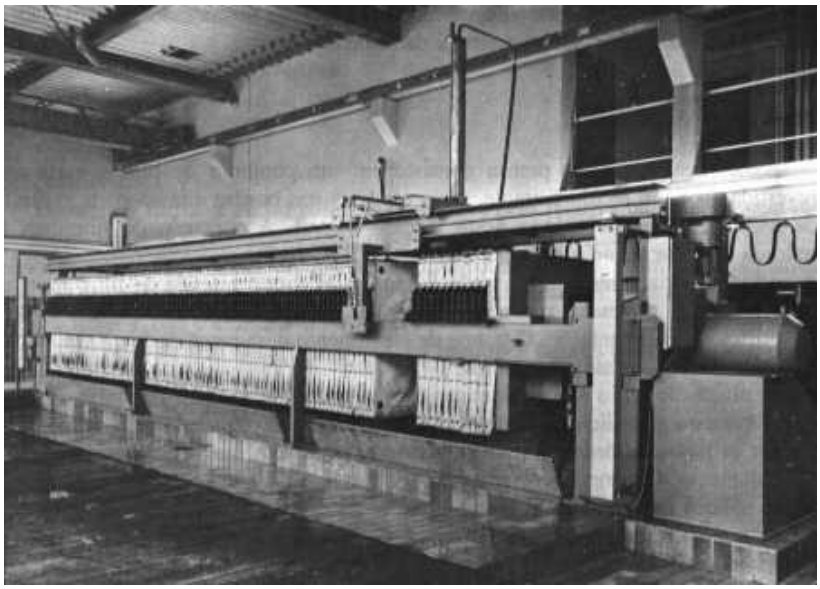


Figura 7 - Filtro prensa de placas

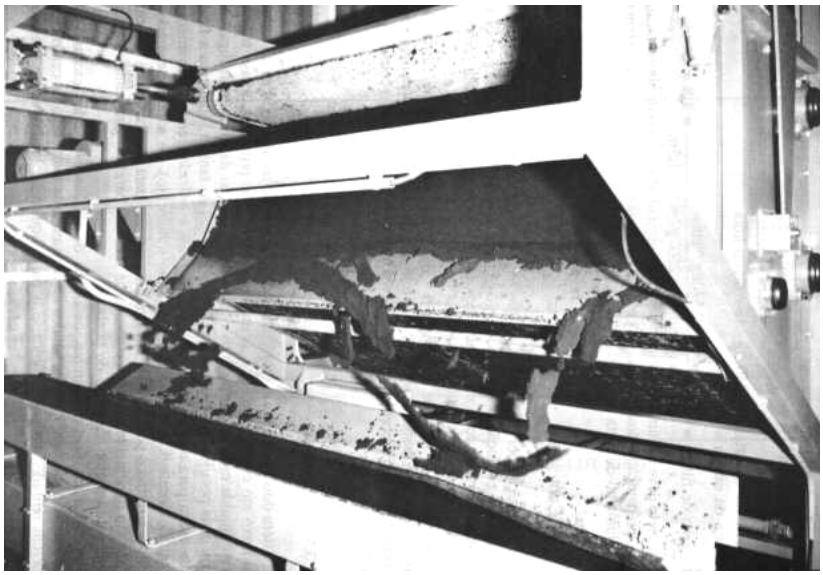


Figura 8 - Filtro de esteira

2.4.4 Centrifugação

Consiste na separação das fases sólida e líquida, através da utilização de força centrífuga.

- Aplicação: Resíduos orgânicos ou inorgânicos com teor de umidade entre 90-95%;
- Vantagens: Processo de funcionamento simples e limpo, com custo de manutenção relativamente baixo, apesar de investimento inicial elevado;
- Limitações: Não reduz toxicidade do resíduo e não é aplicado para resíduos com alta concentração de sólidos;
- Custo de investimento: US$ 100 - 250 mil. A menor centrífuga disponível no mercado custa US$ 30 mil.

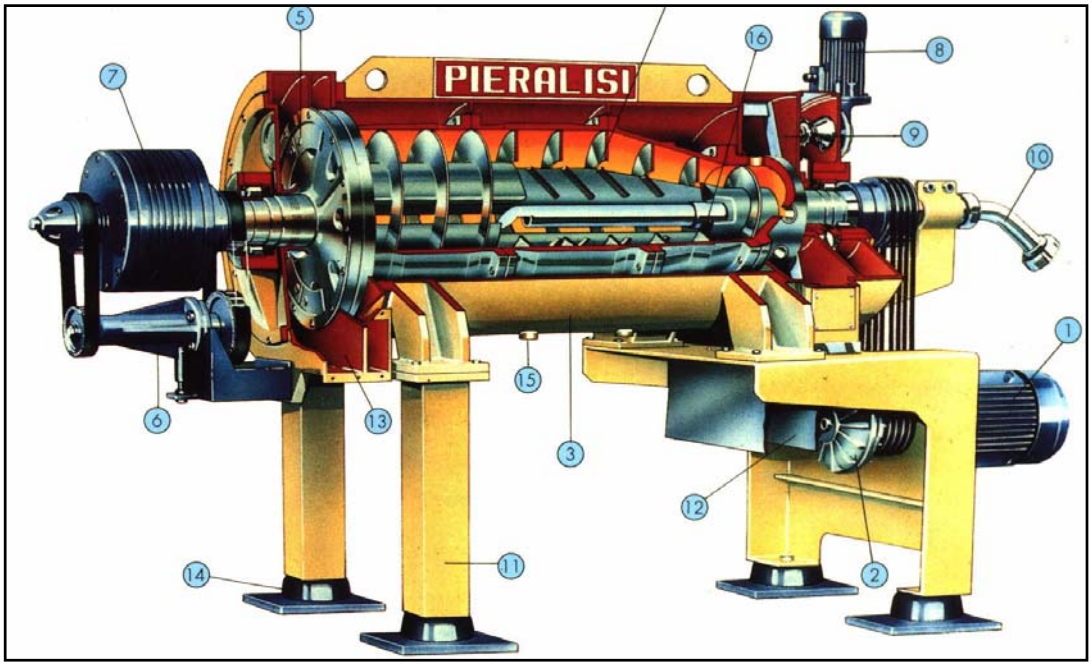


Figura 9 - Centrífuga

2.4.5 Encapsulamento

Também conhecido como solidificação, estabilização, inertização ou fixação. Consiste na estabilização ou imobilização de resíduos perigosos transformando-os em materiais menos poluentes através da adição de aglomerantes ou através de processos físicos.

Objetivos:

- Melhorar as características físicas e de manuseio do resíduo;
- Diminuir a área superficial de transferência ou perda de constituintes para o meio;
- Limitar a solubilidade de qualquer constituinte do resíduo;
- Imobilizar constituintes perigosos.

Tipos de encapsulamento:

- Processo à base de cimento: Resíduos com elevados teores de metais tóxicos;
- Processo à base de cal e materiais pozolânicos: Materiais utilizados são cinzas leves, poeiras de fornos de cimento, cal;
- Técnicas à base de termoplástico: Materiais utilizados são asfalto, betume, polietileno, polipropileno;
- Técnicas à base de polímeros orgânicos: Materiais utilizados são uréia - formaldeído, poliéster e butadieno;
- Técnicas de encapsulamento superficial: Resíduos aglomerados são revestidos superficialmente (poliuretanos, resina de fibra de vidro);
- Técnicas de auto – solidificação: Resíduos com grandes quantidades de sulfatos ou sulfetos;
- Técnica de vitrificação com sílica: Resíduos altamente perigosos ou radioativos (fusão com sílica).

2.4.6 Co-processamento

Técnica de utilização de resíduos industriais a partir do processamento desses como substitutos parciais de matéria-prima ou de combustível em fornos de produção de clínquer, na fabricação de cimento.

Os tipos de resíduos podem ser:

- Substitutos de Matérias Primas: resíduos que possuam características semelhantes às matérias primas utilizadas na fabricação de cimento;
- Substitutos de Combustíveis: Resíduos com poder calorífico e que substituam os combustíveis tradicionais.

O processo de co-processamento envolve as seguintes etapas:

- Caracterização do resíduo no cliente;
- Elaboração de projeto de co-processamento;
- Apresentação da proposição ao Órgão ambiental;
- Programação de transporte;
- Recebimento na fábrica;
- Preparo do resíduo;
- Monitoramento do processo;
- Registro do processo.

Exigências para o licenciamento ambiental:

- Estudo da viabilidade da queima (EVQ);
- Proposta de co-processamento/plano de teste em branco;
- Teste em branco/relatório de teste em branco;
- Plano de teste de queima (PTQ)/teste/relatório de queima;
- Análise de risco;
- Planos complementares.

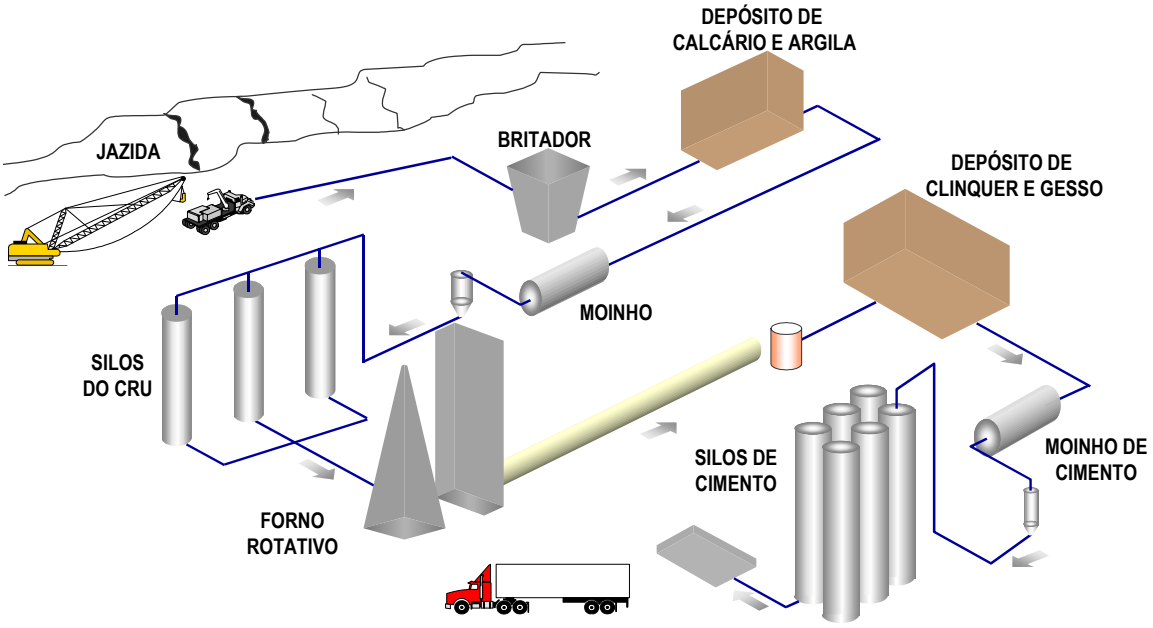


Figura 10 - Fluxograma de Co-processamento

2.4.7 Incineração

É uma das tecnologias térmicas existentes para tratamento de resíduos. Incineração é a queima de materiais em alta temperatura (geralmente acima de 900 ^{o} C), em mistura com uma quantidade apropriada de ar e durante um tempo pré-determinado. No caso de incineração do lixo, compostos orgânicos são reduzidos a seus constituintes minerais, principalmente dióxido de carbono gasoso, vapor d'água e sólidos inorgânicos (cinzas). Esta combustão acontece numa instalação, usualmente denominada usina de incineração, projetada para esse fim.

A incineração apresenta as seguintes vantagens:

- redução drástica do volume a ser descartado;
- redução do impacto ambiental e destoxificação;
- recuperação de energia.

As desvantagens são:

- custo elevado;
- necessidade de mão-de-obra qualificada;
- problemas operacionais;
- limite de emissão de componentes da classe das dioxinas e furanos.

O dimensionamento apropriado de uma usina de incineração resulta da avaliação cuidadosa de uma variedade de critérios, como a capacidade da usina (suprimento de resíduos), os programas alternativos de resíduos, as características do resíduo a ser incinerado, planejamento das interrupções na planta, duração do projeto e localização da usina. A análise minuciosa desses critérios é que determinará a viabilidade da usina.

Existem várias tecnologias térmicas (incineradores) empregadas na incineração que, basicamente, divide-se nas etapas de pré tratamento/alimentação, incineração e controle de poluição. Um dos empregos mais importantes da incineração é quanto ao destino dos resíduos sólidos dos serviços de saúde e hospitalar, pela destruição dos seres patogênicos pela alta temperatura dos incineradores.

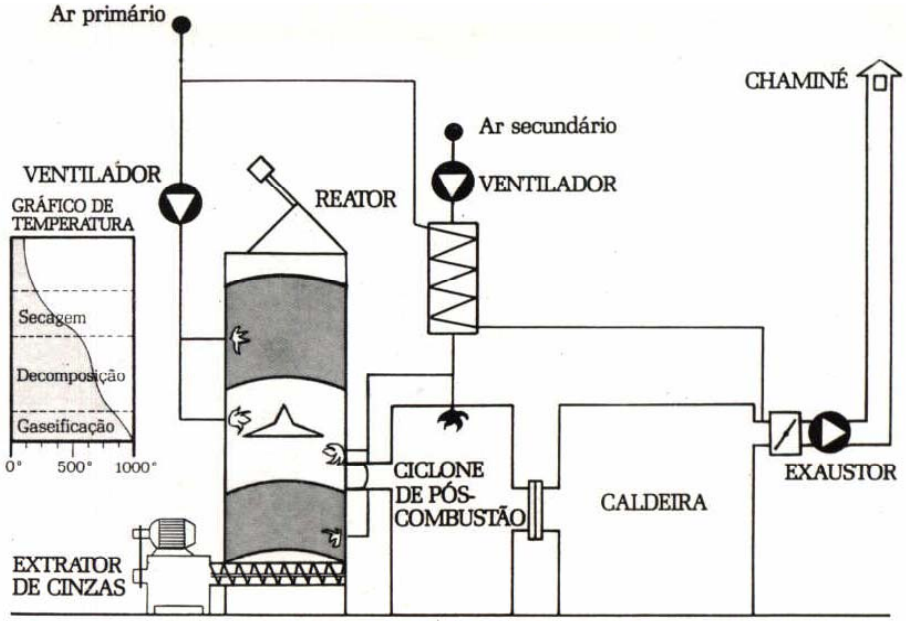


Figura 11 - Incineração de resíduos

2.4.8 Reciclagem

A crescente preocupação com a disposição final dos resíduos, a devastação dos recursos naturais e a crise energética, torna necessária uma posição voltada para a reciclagem.

A recuperação de materiais que apresentem algum valor comercial é, sem dúvida, uma forma atraente de se abordar os problemas de tratamento e disposição final de resíduos.

Existem muitos problemas associados à recuperação e reciclagem de materiais. Talvez, o principal deles tenha origem na estocagem dos resíduos dentro da própria indústria, onde estes são indiscriminadamente misturados. Desta forma, o fato de uma dada substância que apresente interesse econômico estar contaminada, dificulta, se não exclui, diminui qualquer possibilidade de recuperação.

Papel

A reciclagem do papel é uma prática muito antiga. Ao longo dos anos, o material mostrou ser fonte acessível de matéria-prima limpa. Com a conscientização ambiental, para a redução da quantidade de lixo despejado em aterros e lixões a céu aberto, os sistemas de reciclagem evoluíram. As campanhas de coleta seletiva se multiplicaram e aumentou a ação de catadores nas ruas, que têm no papel usado sua maior fonte sustento.

O papel é composto basicamente de fibras celulósicas. Estas fibras provêm comumente da madeira, mas outras matérias-primas fibrosas podem ser usadas. De acordo com sua finalidade os papéis podem ser classificados em:

- para impressão;
- para escrever;
- para embalagem;
- para fins sanitários;
- cartões e cartolinas;
- especiais.

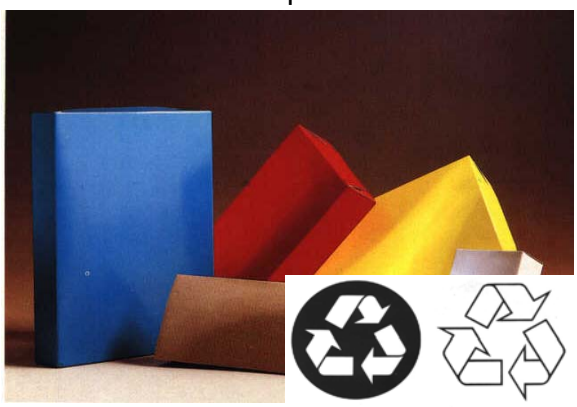


Figura 12 – Papel e simbologia de reciclagem

Os papéis são fabricados de acordo com formulações específicas, a fim de atenderem às características necessárias para a finalidade a que se destinam. Assim, além de sua matéria-prima básica, pasta celulósica, podem:

- conter aditivos (colas, pigmentos minerais, filmes metálicos ou plásticos, parafina, silicone, etc.);
- ser impregnados;
- ser revestidos (com pigmentos minerais, filme metálico ou plástico, parafina, silicone, etc.);

A reciclagem de papel está baseada na utilização de papéis usados ou não, como:

- rebarbas de papéis, cartões, cartolinas, papelões gerados durante os processos de fabricação destes materiais, ou de sua conversão em artefatos, ou ainda gerados em gráficas;
- papéis, cartões, cartolinas, e papelões, assim como seus artefatos, usados ou não, que foram descartados.

A maioria dos papéis é reciclável, porém existem exceções:

- papel vegetal ou glassine;
- papel impregnado com substâncias impermeáveis à umidade (resinas sintéticas, betume, etc.);

- papel carbono;
- papel sanitário usado, tais como, papel higiênico, papel toalha, guardanapos e lenços de papel;
- papel e cartões revestidos com substâncias impermeáveis à umidade (parafina, filmes plásticos ou metálicos, silicone, etc). Existem, porém, tecnologias disponíveis, em alguns países, para a reciclagem, deste material;
- papel sujo, engordurado ou contaminado com produtos químicos nocivos à saúde.

No Brasil, a disponibilidade de aparas de papel é grande. Mesmo assim, as indústrias precisam periodicamente fazer importações de aparas para abastecer o mercado. Com a escassez da celulose e o conseqüente aumento dos preços do reciclado, as indústrias recorrem à importação de aparas em busca de melhores preços. No entanto, quando há maior oferta de celulose no mercado, a demanda por aparas diminui, abalando fortemente a estrutura de coleta, que só volta a normalizar vagarosamente. No Brasil, há pouco incentivo para a reciclagem de papel porque o País é um grande produtor de celulose virgem.

As caixas em papel ondulado são facilmente recicláveis, consumidas principalmente pela indústria de embalagens, responsáveis pela utilização de 80% das aparas recicladas no Brasil. Somente 18% das aparas são consumidas para a fabricação de papéis sanitários e 8% para aqueles destinados à impressão e escrita. O papel ondulado é o material que atualmente mais usa material reciclado no País.

A maioria das aparas provém:

- de atividades comerciais (escritórios, lojas, supermercados);
- de residências;
- de outras fontes (como instituições e escolas).

Muitos são os papéis feitos total ou parcialmente com fibras provenientes de aparas de papel:

- papéis para impressão;
- papéis para embalagens leves e embrulhos;
- papéis para embalagens pesadas (como papelão ondulado e outros tipos de papelão);
- papéis para fins sanitários;

Também são usualmente feitos com aparas de papel os denominados artefatos de polpa moldada: bandeja de ovos, certas bandejas onde se embalam frutas e legumes e suportes para acondicionamento de frutas, como aqueles usualmente usados nas embalagens de maçãs.

As duas grandes vantagens da reciclagem de papel são:

- redução do lixo gerado;
- economia de recursos naturais como: matéria-prima, energia e água.

Os fatores que dificultam a reciclagem de papel são:

- Fatores relativos ao processo: falta de homogeneidade das aparas; necessidade da eliminação das impurezas presentes na massa provenientes da desagregação do papel; descarte e tratamento dos rejeitos gerados.
- Fatores externos ao processo: flutuação do mercado; custos elevados para instalação de unidades que fabricam papel reciclado; produtos de papel cada vez mais sofisticados, de difícil reciclagem; a demanda por papel ou produtos de papel reciclado, é ainda relativamente baixa; extensão territorial brasileira: o custo do transporte pode inviabilizar o aproveitamento de aparas.

A reciclagem de papel tem sido função de fatores econômicos. Entretanto, nos últimos anos, o fator ambiental vem exercendo uma função alavancadora. Essa pode ser sentida em ações

governamentais de certos países, que começam a criar leis que obrigam a reciclagem. Entretanto, deve ser lembrado que a fibra secundária não substitui totalmente a fibra virgem. Para determinados tipos de papel, só podem ser usadas fibras virgens, pois as secundárias não oferecem produtos com as características desejadas. Ainda, uma fibra celulósica pode ser reciclada, em média, 5 a 6 vezes, após o que perde suas características de resistência.

2.4.8.1 PLÁSTICOS

Plásticos são artefatos fabricados a partir de resinas (polímeros) sintéticas, derivadas do petróleo. No grande desafio atual enfrentado pelas Prefeituras relacionado à disposição final do lixo, encontram-se os plásticos, que pela sua natureza química caracterizam-se por apresentarem uma grande resistência à biodegradação.

Em 1862, o inglês Alexander Parkes produziu o primeiro plástico. Durável e leve, o material tornou-se um dos maiores fenômenos da era industrial. No entanto, como não é biodegradável, o plástico passou a sofrer críticas de setores ambientalistas mais radicais. A reciclagem, que começou a ser feita pelas próprias indústrias para reaproveitamento de suas perdas de produção, tem contribuído para reduzir o impacto dos aterros de lixo. Além da questão ambiental, em termos econômicos, o desperdício não se justifica: usando plástico reciclado, é possível economizar até 50% de energia.

Figura 13 - Plástico e simbologia de reciclagem

O principal mercado consumidor de plástico reciclado na forma de grânulos são as indústrias de artefatos plásticos, que utilizam o material na produção de baldes, cabides, garrafas de água sanitária, conduítes e acessórios para automóveis, para citar alguns exemplos. Mas os avanços da identificação e separação das diversas resinas, bem como equipamentos e tecnologias mais modernas de reprocessamento, vêm abrindo novos mercados para a reciclagem de plásticos. Além disso, a multiplicação da coleta seletiva do lixo, que garante oferta de material reciclável de melhor qualidade, evitando que se contamine ao ser misturado com outros resíduos, tem impulsionado o desenvolvimento do setor. Calcula-se que existam no Brasil cerca de 300 instalações industriais de reciclagem de plástico, que faturam perto de R$ 250 milhões por ano e geram 20 mil empregos diretos. Devido a sua capacidade de ser moldado, o plástico tem sido utilizado na produção de uma grande variedade de artigos de formas diversas. O plástico é constituído em sua maior parte, por embalagens descartáveis (sacos, potes, garrafas, copos, brinquedos, etc). Embora represente somente cerca de 4 a 7% em massa, os plásticos ocupam de 15 a 20% do volume do lixo, o que contribui para que aumentem os custos de coleta, transporte e disposição final.

A remoção ou redução do plástico no lixo deve ser perseguida com todo o empenho, pois trazem sérios prejuízos tanto como por sua queima, quanto por prejudicar a compactação do lixo e a decomposição de materiais biodegradáveis.

No Brasil, o consumo de plástico já vem causando problemas advindos da dificuldade em gerenciá-lo adequadamente. Seu consumo, apesar de expressivo, ainda está longe daquele verificado em países desenvolvidos, portanto, existe um espaço muito grande de demanda a ser preenchido.

Tabela 2 - Consumo *per capita* de plásticos em alguns países

País	Consumo (kg/hab.ano)
EUA	70
Japão	54
Europa Ocidental	40
Brasil	11

A partir de um conceito amplo, a reciclagem ou recuperação de plásticos pode ser entendida como a reutilização de um artefato plástico para reaver, de modo econômico, o valor do material descartado.

No Brasil, são reciclados em média 15% dos plásticos rígidos, o que equivale a 200 mil toneladas por ano. Não há dados específicos para o plástico filme. Em média, o material corresponde a 29 % do total de plásticos separados pelas cidades que fazem coleta seletiva. Nos EUA são reciclados 3,2 % das bolsas e sacos plásticos (28,8 mil toneladas anuais) e 2% das embalagens (30 mil toneladas). O percentual de sacos de lixo é desprezível, porque a contaminação dificulta a recuperação.

Os plásticos são divididos em duas categorias importantes: termoplásticos e termofixos.

Pode-se classificar a reciclagem de plásticos em três tipos de tecnologias:

- primária;
- secundária;
- terciária.

A reciclagem primária ou pré-consumo é a recuperação dos produtos realizada na própria indústria geradora ou por outras empresas transformadoras. Consiste na conversão de resíduos plásticos por tecnologias convencionais de processamento em produtos com características de desempenho equivalentes às daqueles produtos fabricados a partir de resinas virgens. Esses resíduos são constituídos por artefatos defeituosos, aparas provenientes dos moldes ou dos setores de corte e usinagem.

A reciclagem secundária ou pós-consumo é a conversão de resíduos plásticos de produtos descartados no lixo. Os materiais que se inserem nesta classe provêm de lixões, usinas de compostagem, sistemas de coleta seletiva, sucatas, etc. São constituídos pelos mais diferentes tipos de materiais e resinas, o que exige uma boa separação, para poderem ser aproveitados.

A reciclagem terciária é a conversão de resíduos plásticos em produtos químicos e combustíveis, através de processos termoquímicos (pirólise, conversão catalítica). Através desses processos, os materiais plásticos são convertidos em matérias-primas que podem originar novamente as resinas virgens ou outras substâncias interessantes para a indústria, como gases e óleos combustíveis. Esse tipo de reciclagem ainda não está sendo utilizado em grande escala devido ao seu custo elevado.

Dentre a grande variedade de resinas termoplásticas, apenas seis representam cerca de 90% do consumo: PEBD, PEAD, PP, PS, PVC e PET. O consumo de plásticos no Brasil, apesar da recessão, vem crescendo. A tendência é de aceleração do consumo, se houver retomada do crescimento econômico do país.

A dificuldade em reciclar os resíduos plásticos reside, justamente, no fato de que estes se encontram misturados, existindo a necessidade de separar os diferentes tipos, por serem incompatíveis entre si e não poderem ser processados em equipamento convencional.

A separação dos plásticos por tipo de resina é um problema que ainda não foi resolvido e é um dos motivos que tem restringido a reciclagem de plásticos. Apesar dos muitos estudos e pesquisas já realizados, não se chegou, até hoje, a um processo que possa, de maneira

rápida, automática e eficiente, efetuar a perfeita separação dos plásticos. Muitos artefatos são fabricados com mais de um tipo de resina, o que dificulta ainda mais a separação.

Tabela 3 - Tipos de plásticos e suas utilizações mais comuns

Produtos	Tipos de Plástico
Baldes, garrafas de álcool e bombonas	PEAD
Condutores para fios e cabos elétricos	PVC, PEBD, PP
Copos de água mineral	PP e PS
Copos descartáveis	PS
Embalagens de massas e biscoitos	PP, PEBD
Frascos de detergentes e produtos de limpeza	PP, PEAD, PEBD, PVC
Frascos de xampus e artigos de higiene	PEBD, PEAD, PP
Gabinetes de aparelhos de som e TV	PS
Garrafas de água mineral	PVC (maioria), PEAD, PP e PET
Garrafas de refrigerantes	Fabricadas em PET, com a base em PEAD e a tampa em PP com retentor em EVA
Isopor	PS
Lonas agrícolas	PEBD, PVC
Potes de margarina	PP
Sacos de adubo	PEBD
Sacos de leite	PEBD
Sacos de lixo	PEBD, PVC
Tubos de água e esgoto	PVC (maioria), PEAD e PP

O reaproveitamento dos plásticos, através do seu reprocessamento, pode ser feito por dois processos distintos, com ou sem a separação das resinas.

A reciclagem de artigos plásticos encontrados no lixo urbano traz alguns benefícios sociais e econômicos para a sociedade, dentre os quais, pode-se destacar os seguintes:

- redução do volume de lixo coletado que é removido para os aterros sanitários, propiciando aumento da vida útil e redução dos custos de transporte;
- economia de energia e petróleo, pois um quilo de plástico equivale a um litro de petróleo em energia;
- geração de empregos (catadores, sucateiros, operários, etc.), com redução da pressão social;
- menor preço para o consumidor dos artefatos produzidos com plástico reciclado (em média os artefatos produzidos com plástico reciclado são 30% mais baratos do que os mesmos fabricados com matéria-prima virgem);
- melhorias sensíveis no processo de decomposição da matéria orgânica nos aterros sanitários, uma vez que o plástico impermeabiliza as camadas de material em decomposição, prejudicando a circulação de gases e líquidos.

A reciclagem de plásticos tem contribuído efetivamente para o desenvolvimento de artefatos de boa qualidade e de baixo custo, tornando possível o seu acesso por uma boa parte da população de baixo poder aquisitivo, tais como condutores elétricos, mangueiras, sacos de lixo, brinquedos, utensílios domésticos, etc., e de produtos industriais de alto desempenho, tais como paletes, tábuas, mourões e perfis de madeira plástica e um sem número de outros produtos.

2.4.8.2 VIDRO

O vidro é um material obtido pela fusão de compostos inorgânicos a altas temperaturas, e resfriamento da massa resultante até um estado rígido, não-cristalino. O principal componente do vidro é a sílica (SiO_2), mas também entra na sua composição óxido de sódio (Na_2O) e óxido de cálcio (CaO).

A lenda conta que o vidro foi descoberto ocasionalmente há 4 mil anos por navegadores fenícios, ao fazerem uma fogueira na praia: com o calor, a areia, o salitre e o calcário das conchas reagiram, formando o vidro. A indústria vidreira desenvolveu-se rapidamente, sendo que a coleta seletiva somente começou na década de 60 nos EUA, que hoje já conta com 6 mil pontos de coleta de embalagens de vidro. No Brasil. A primeira iniciativa organizada surgiu em 1966, em São José do Rio Preto, interior de São Paulo. Em 1986, a Associação Brasileira Técnica da Indústria do Vidro (ABIVIDRO) lançou um programa nacional de coleta que atualmente envolve 7 milhões de pessoas em 25 cidades.

Figura 14 – Vidro e simbologia de reciclagem

O vidro soda-cal, também conhecido como *vidro comum* representa 90% de todo o vidro fabricado no mundo. O vidro soda-cal, além de SiO_2, Na_2O e CaO, que constituem aproximadamente 90% da sua composição, possui outros elementos, alguns provenientes da própria matéria-prima usada, como o óxido de ferro (Fe_2O_3), e alguns adicionados propositadamente para conferir ao vidro características desejáveis, como é o caso do óxido de alumínio (Al_2O_3).

As matérias-primas utilizadas basicamente na fabricação do vidro tipo soda-cal são a areia, barrilha, calcário e feldspato. A essa mistura é comum adicionarmos cacos de vidro gerados internamente na fábrica ou comprados, procedimento que reduz sensivelmente os custos de produção. Embora todos os vidros partam de uma mesma base, eles possuem composições diferentes, de acordo com a finalidade a que se destinam. Deste modo, têm-se:

- vidro soda-cal, também denominado vidro comum;
- vidro borosilicato (tem óxido de boro);
- vidro de chumbo (tem óxido de chumbo);
- vidros de formulações específicas.

Os produtos do vidro são geralmente:

- vidro para embalagem: garrafas, potes, frascos e outros vasilhames fabricados em vidro comum na cor branca, âmbar e verde;
- vidro plano: vidros planos lisos, vidros cristais, vidros impressos, temperados, laminados, aramados e coloridos, fabricados em vidro comum;
- vidros domésticos: tigelas, travessas, copos, pratos, panelas e outros produtos domésticos fabricados em diversos tipos de vidro comum, borosilicato, de chumbo, vitro-cerâmica;
- fibras de vidro: mantas, tecidos, fios e outros produtos para aplicações de reforço ou isolamento fabricados em vidro borosilicato;
- vidros técnicos: lâmpadas incandescentes e fluorescentes, tubos de TV, vidros para laboratório, vidros para ampolas, vidros para garrafas térmicas, vidros oftálmicos e

isoladores elétricos, fabricados em vidro comum, de chumbo e de formulações específicas.

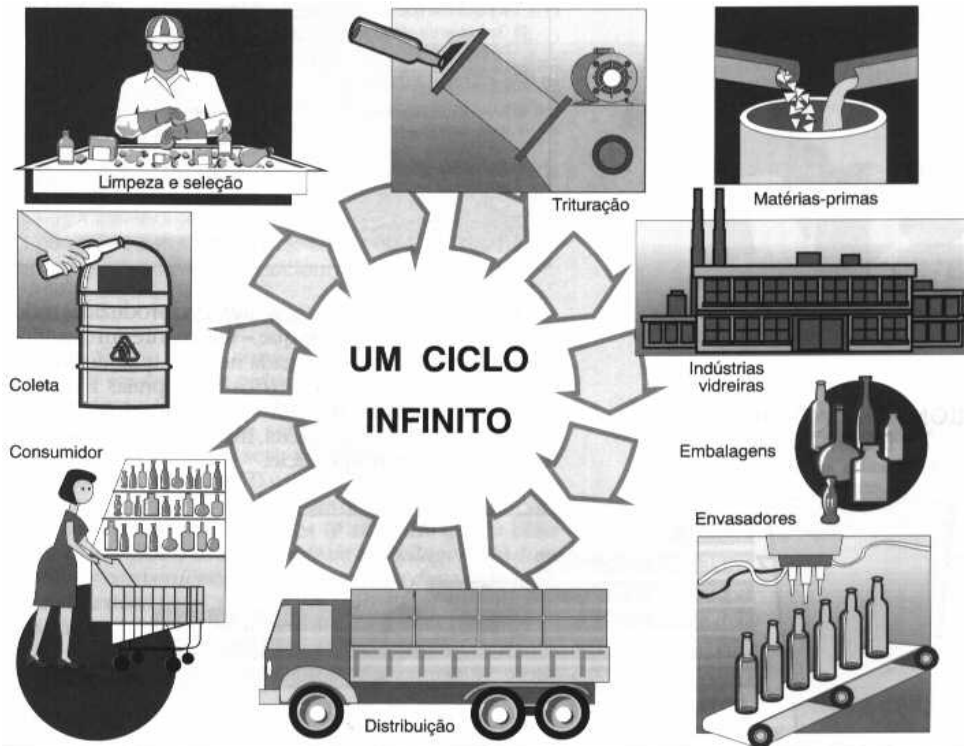


Figura 15 – Ciclo de vida do vidro

O Brasil produz em média 800 mil toneladas de embalagens de vidro por ano, usando cerca de um quarto de matéria-prima reciclada na forma de cacos. Parte deles foi gerada como refugo nas fábricas e parte retornou por meio de coleta. Os Estados Unidos produziram cerca de 10,3 milhões de toneladas em 1990, totalizando 41,1 bilhões de embalagens, principalmente para alimentos (33%) e cerveja (31%). Desse total, 500 mil a 1 milhão de toneladas foram importadas.

O principal mercado para recipientes de vidros usados é formado por vidrarias, que compram o material de sucateiros na forma de cacos ou recebem diretamente em suas campanhas de reciclagem. Além de voltar à produção de embalagens, a sucata pode ser aplicada na composição de asfalto e pavimentação de estradas, construção de sistemas de drenagem contra enchentes, produção de espuma e fibra de vidro, bijuterias e tintas reflexivas.

Devido ao peso, uma das dificuldades para a reciclagem de vidro é o custo do transporte da sucata. Os sucateiros e vidrarias costumam exigir o mínimo de 10 toneladas para fazer a coleta a uma distância não superior a 400 quilômetros.

São recicladas 27,6 % das embalagens de vidro no Brasil, somando 220 mil toneladas por ano.

Desse total, 5% são geradas por engarrafadores de bebidas, 10% por sucateiros e 0,6% provém das coletas promovidas por vidrarias. Os outros 12% representam refugos de vidro gerados nas fábricas, reaproveitados para compor novas embalagens.

Atualmente, a indústria do vidro utiliza processos de fabricação de acordo com o tipo de produto final que fornece. Uma primeira classificação divide esses processos em Primários (automáticos e manuais) e Secundários. Os processos primários caracterizam-se pela produção de vidro a partir da fusão de matérias-primas a altas temperaturas, enquanto os processos secundários são aqueles que transformam o vidro em outros produtos, ou seja,

qualquer processo em que a matéria-prima para a fabricação seja o próprio vidro, tais como, espelhos, vidros temperados, vidros laminados, entre outros.

Nos sistemas de reciclagem mais completos, o vidro bruto estocado em tambores é submetido a um eletroímã para separação dos metais contaminantes. O material é lavado em tanque com água, que após o processo precisa ser tratada e recuperada para evitar desperdício e contaminação do lençol freático. Depois, o material passa por uma esteira ou mesa destinada à catação de impurezas, como restos de metais, plásticos, vidros indesejáveis que não tenham sido removidos. Um triturador transforma as embalagens em cacos de tamanho homogêneo que são encaminhados a uma peneira vibratória. Outra esteira leva o material para um segundo eletroímã, que separa metais ainda existentes nos cacos. O vidro é armazenado em silo ou tambores para abastecimento da vidraria, que usa o material na composição de novas embalagens.

A reciclagem do vidro se dá sem perda de volume nem perda das propriedades do material: um recipiente de vidro reciclado é tão impermeável, inerte (não deixa sabor nem gosto no conteúdo) e puro quanto um fabricado com matérias-primas virgens. Ao contrário de outros materiais, as embalagens fabricadas com cacos de vidro não sofrem restrições de uso por parte dos organismos sanitários. Nelas podem ser acondicionados alimentos, bebidas e medicamentos.

Tabela 4 – Vidros recicláveis e não recicláveis

O que vai para a reciclagem	O que não vai para a reciclagem
Garrafas de refrigerantes e cervejas não retornáveis	Espelhos, vidros de janela e box de banheiro
Garrafas de sucos e águas	Vidros de automóveis
Frascos de molhos e condimentos	Ampolas de remédios
Garrafas de vinhos e bebidas alcoólicas	Tubos de televisão e válvulas
Potes de produtos alimentícios	Cristais
Frascos de remédios, perfumes e produtos de limpeza	Lâmpadas
Cacos de qualquer das embalagens acima	Utensílios de vidro temperado

As propriedades do vidro se mantêm, independente do número de vezes que o material é reaproveitado para fabricar novas embalagens, o que significa que o vidro é infinitamente reciclável. Todos os recipientes de vidro podem ser reciclados. A exceção, por razões de coleta, é os vidros que formam o lixo hospitalar, cujo destino é a incineração. Em meio a esse lixo são descartados frascos de antibióticos e outros remédios. Mas se fossem coletados separadamente, como acontece em países desenvolvidos, seriam perfeitamente recicláveis, pois nas altíssimas temperaturas dos fornos das vidrarias qualquer elemento contaminante é eliminado.

A viabilidade financeira é definida pela adequação de três fatores: volume, distância, custo e preço de venda. Para os municípios localizados próximos às fabricas de vidro, a melhor forma encontrada para a reciclagem é quebrar os produtos de vidro (garrafas, potes, frascos, etc.) e vendê-los, em forma de caco, diretamente a essas fábricas. Para um melhor preço de venda, esse caco deve estar lavado e, de preferência, separado por cor.

2.4.8.3 METAIS

Os metais são classificados quanto à sua composição em dois grandes grupos: os ferrosos, compostos basicamente de ferro e aço, e os não-ferrosos, Essa divisão justifica-se pela grande predominância do uso de metais à base de ferro, principalmente o aço.

Os metais são materiais de elevada durabilidade, resistência mecânica e facilidade de conformação, sendo muito utilizados em equipamentos, estruturas e embalagens em geral.

Entre os metais não-ferrosos destacam-se o alumínio, o cobre e suas ligas (como o latão e o bronze), o chumbo, o níquel e o zinco. Os dois últimos, junto com o cromo e o estanho, são mais empregados combinados, na forma de ligas com outros metais ou como revestimento, depositado sobre metais, como, por exemplo, o aço.

Figura 16 – Aço e simbologia de reciclagem

A maior parte dos metais presentes no lixo é proveniente de embalagens, principalmente as alimentícias, que são as tradicionais latas. Os principais tipos de latas são:

- de folha-de-flandres (aço revestido com estanho). Ex.: latas de conservas alimentícias;
- cromadas (aço revestido com cromo). Ex.: latas de óleo;
- de aço não revestido: Ex.: latas de tinta;
- de alumínio. Ex.: latas de bebidas.

A grande vantagem da reciclagem de metais é evitar despesas da fase de redução do minério a metal. Essa fase envolve um alto consumo de energia, requer transporte de grandes volumes de minério e instalações caras, destinadas à produção em grande escala.

Embora seja maior o interesse na reciclagem de materiais não-ferrosos, devido ao maior valor de sua sucata, é muito grande a procura pela sucata de ferro e aço, inclusive, pelas grandes usinas siderúrgicas e fundições. A sucata é a matéria-prima das empresas produtoras de aço que não contam com o processo de redução, e que são responsáveis por cerca de 20% da produção nacional de aço.

O Brasil não é auto-suficiente em sucata de aço, precisando importar matéria-prima para atender a sua demanda. Como o país exporta metade do aço que produz, grande parte da sucata resultante da produção nacional está no exterior. Em 1993, foram consumidas 700 mil toneladas de folhas de aço para produção de 600 mil toneladas de latas. O Brasil exporta a mesma proporção de embalagens de aço que importa: 5%.

As latas de folha-de-flandres detêm 25% do mercado nacional de embalagens. Os produtos comestíveis, como o óleo de cozinha, conservas e leite e derivados, representam 72,5% do consumo de latas de aço. O restante diz respeito a tintas e produtos químicos (14,5%), óleos lubrificantes (2,4%), tampas metálicas (8,7%) e outros produtos.

Somente 0,1% delas são usadas como embalagens de bebidas carbonatadas, como refrigerantes, normalmente acondicionados em latas de alumínio. O alumínio utilizado nestas é mais caro que a folha-de-flandres.

As latas de alumínio surgiram no mercado norte americano em 1963. Mas os programas de reciclagem começaram em 1968, fazendo retornar à produção meia tonelada de alumínio por ano. Quinze anos depois, esse mesmo volume era reciclado por dia. Os avanços tecnológicos ajudaram a desenvolver o mercado: há 25 anos, com um quilo de alumínio era possível fazer 42 latas de alumínio de 350 mL. Hoje, a indústria consegue produzir 62 latas com a mesma quantidade de material, aumentando a produtividade em 47%. As campanhas de coleta se multiplicaram e, atualmente, 10 milhões de americanos participam ativamente dos programas de coleta. No Brasil, há muito tempo as latas vazias são misturadas com outras sucatas de alumínio e fundidas para a produção, por exemplo, de panelas e outros utensílios domésticos.

Figura 17 – Alumínio e simbologia de reciclagem

É importante observar que a sucata pode, sem maiores problemas, ser reciclada mesmo quando enferrujada. Sua reciclagem também é facilitada pela simples identificação e separação, principalmente no caso da sucata ferrosa em que se empregam ímãs, devido às suas propriedades magnéticas. Através deste processo é possível retirar até 90% do metal ferroso existente no lixo.

Mesmo quando a sucata está separada dos demais tipos de lixo, muitas vezes ocorre a necessidade de operações complementares, como a eliminação do óleo de usinagem, no caso de cavacos de fabricação de peças.

Uma outra desvantagem é que alguns metais de revestimento, utilizados para a proteção do metal, precisam ser removidos ou diluídos antes do reprocessamento. Por exemplo, o estanho da folha-de-flandres pode causar a fratura a quente do aço no seu reprocessamento, quando presente em determinadas quantidades.

Após sua coleta, devido à grande diversidade dos tipos de sucata de metal presentes no lixo domiciliar, o trabalho de triagem deve ser o mais eficiente possível para que ocorra um bom aproveitamento desta sucata.

De toda a produção nacional de latas de alumínio, 60% é reciclada. Os números brasileiros superam países industrializados como Japão (44%), Inglaterra (23%), Alemanha (22%) e Itália (22%). Os Estados Unidos recuperam 62%, o que equivale a 61 bilhões de latas por ano. Com relação às latas de aço, 18 % são recicladas no Brasil, o que equivale a 108 mil toneladas por ano. Se o país reciclasse todas as latas de aço que consome atualmente, seria possível evitar a retirada de 900 mil toneladas de minério de ferro por ano, prolongando a vida útil de nossas reservas florestais.

2.4.8.4 PNEUS

O pneu apresenta uma estrutura complexa, formada por diversos materiais como borracha, aço, tecido de náilon ou poliéster visando conferir as características necessárias ao seu desempenho e segurança, sendo a separação desses componentes muito difícil.

O descarte das carcaças de pneus constitui sérios danos ambientais, como o assoreamento de rios e lagos, a ocupação de grandes espaços em aterros, ou o amontoamento em terrenos baldios, facilitando a proliferação de insetos e incêndios. Porém, o principal problema é a perda da matéria-prima. A reciclagem pode ser feita com sua utilização na

construção civil, na regeneração da borracha, na geração de energia, em asfalto modificado com borracha, além da fabricação de novos materiais (óleo de xisto, negro de fumo, etc.).

2.4.8.5 PILHAS E BATERIAS

A pilha é uma mini usina portátil que transforma energia química em elétrica. São classificadas de acordo com seus sistemas químicos, podendo haver em cada um deles mais de uma categoria. Além disso, as pilhas, podem ser divididas, em primárias e secundárias, sendo esta última recarregável.

O grande problema encontrado nas pilhas é os elementos tóxicos que as compõem. O mercúrio é utilizado para armazenar impurezas contidas nas matérias-primas, impurezas essas geradoras de gases que podem prejudicar o desempenho e a segurança da pilha. As pilhas ainda podem conter elementos tóxicos como zinco, cádmio e chumbo.

2.4.8.6 LÂMPADAS FLUORESCENTES

As lâmpadas fluorescentes contêm substâncias químicas nocivas ao meio ambiente, como metais, onde se sobressai o mercúrio.

Enquanto intactas, as lâmpadas fluorescentes não oferecem riscos. Porém, ao serem descartadas no lixo seu vidro é triturado e o mercúrio liberado, passando a evaporar. Quando chove, ele volta e contamina o solo e os cursos d'água. Ingerido ou inalado pelo ser humano, o mercúrio tem efeitos desastrosos no sistema nervoso, podendo causar desde lesões leves até vida vegetativa ou morte.

Apesar de no Brasil não existir lei quanto à disposição final de lâmpadas fluorescentes, existe um processo de reciclagem desenvolvido por uma empresa nacional. Este processo consiste na destruição de lâmpadas de forma controlada: o vidro é separado do soquete e descontaminado, retornando à produção de lâmpadas ou sendo usado na composição de esmalte na vitrificação de cerâmicas. O soquete é vendido como sucata de alumínio e o mercúrio é filtrado e encaminhado para fabricantes de cloro-soda, pilhas, baterias e também lâmpadas. Deve ser ressaltado que a venda dos materiais recicláveis não cobre o custo de processamento da lâmpada.

2.4.8.7 CAIXAS LONGA VIDA

As caixas longa vida são compostas de papel cartão (75%), PEBD (20%) e alumínio (5%), e têm a característica de preservar a integridade dos alimentos por muitos meses sem a necessidade de refrigeração.

Há três segmentos no mercado para a reciclagem: a prensagem para a produção de madeira sintética, o reprocessamento das fibras para a produção de papel reciclado e a incineração com recuperação de energia. No Brasil, o consumo dessas embalagens ainda é reduzido e por isso existe pouca disponibilidade desse produto no lixo urbano. Somente aparas e sobras da produção das caixas e não o material pós-consumido, são reciclados.

O reprocessamento das caixas para produção de madeira sintética é semelhante ao aplicado ao papel. A diferença é que após a filtração, as fibras celulósicas são encaminhas para a fabricação de madeira sintética e o resíduo de alumínio e polietileno é queimado em caldeira de biomassa com filtros para a geração de vapor.

2.4.9 Compostagem

O processo de compostagem é usado desde a antigüidade, principalmente pelos orientais, que faziam uso intensivo de compostos orgânicos na produção de cereais. As técnicas empregadas eram artesanais e fundamentava-se na formação de leiras ou montes de resíduos, que ocasionalmente eram revolvidos. Após cessar o processo de fermentação, o composto resultante era incorporado ao solo, o que favorecia o crescimento dos vegetais.

Define-se a compostagem como sendo um processo controlado de transformação de resíduos sólidos orgânicos em um composto bioestabilizado, através da decomposição microbiana, da oxigenação e oxidação.

A palavra composto é de origem inglesa, *compost*, para designar o fertilizante orgânico obtido pelo processo de compostagem, a partir de restos vegetais e animais.

Os resíduos orgânicos são geralmente utilizados na agricultura como fertilizantes. Há, entretanto, uma diferença entre resíduos orgânicos e fertilizantes orgânicos. Os resíduos animais e vegetais constituem excelentes fontes de matéria-prima para serem transformados em fertilizantes orgânicos humificados, mas ainda não apresentam as características necessárias para serem classificados como adubo ou fertilizante.

Segundo o Decreto n° 86.955, de 19 de fevereiro de 1986, considera-se fertilizante a substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes às plantas. Os fertilizantes são classificados como:

- Fertilizante orgânico: de origem vegetal ou animal;
- Fertilizante organomineral: procedente da mistura ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos;
- Fertilizante composto: obtido por processo bioquímico, natural ou controlado, com misturas de resíduos de origem vegetal ou animal.

Para serem considerados como tal, os fertilizantes deverão apresentar as seguintes especificações:

Tabela 5 – Especificações dos fertilizantes

Garantia	Organomineral	Composto
Matéria orgânica	mínimo de 25 %	mínimo de 40 %
Nitrogênio total	conforme registrado	mínimo de 1,0 %
Umidade	máximo de 20 %	máximo de 40 %
Relação C/N	-	máximo de 18/1
pH	-	mínimo de 6,0
P_2O_5	conforme registrado	-
K_2O	conforme registrado	-

Segundo Kiehl (1998), a compostagem é constituída por três fases principais: uma fase inicial de fitotoxidade ou do composto cru, uma fase de semi-cura ou bioestabilização e uma fase final de cura, maturação ou humificação, acompanhada pela mineralização de determinados componentes da matéria orgânica.

O composto imaturo empregado como adubo pode interferir na germinação de sementes ou pela toxidade ou pelo excesso de amônia, se o material contiver mais nitrogênio do que os microrganismos necessitam. Esse problema é intensificado se houver excesso de água a ponto de desenvolver anaerobiose, como ocorre em estabilização de lodos de estações de tratamento de efluentes.

Se um composto imaturo for ensacado, haverá formação de álcool, metano, ácido acético, e toxinas, além de favorecer a proliferação de microorganismos patogênicos.

Os principais fatores que influenciam o processo de compostagem são:

- características dos resíduos: granulometria, constituição inicial, relação C/N, etc.;
- microorganismos: indígenas ou necessidade de inoculação;
- umidade: natural ou adicionada;
- aeração: natural ou forçada;
- processo utilizado.

O desempenho da compostagem e a qualidade do composto obtido são diretamente influenciadas pela relação C/N (carbono/nitrogênio).

Os microorganismos absorvem carbono e nitrogênio sempre na relação C/N de 30 para 1, quer a matéria-prima a ser compostada contenha a relação 80/1 ou 8/1. Com a própria compostagem a relação C/N será corrigida, de maneira que, quando o composto estiver humificado, a relação será de 10/1. Se a relação inicial for alta, por exemplo 60 ou 80/1, o tempo de compostagem será maior, pois faltará nitrogênio aos microorganismos; por outro lado, se a relação C/N for baixa, como 6/1 por exemplo, os microorganismos eliminarão o excesso de nitrogênio na forma de amônia, até atingir a relação de 30/1. Deste ponto, a processo inicia normalmente.

É fundamental para o processo conhecer a relação C/N dos materiais a serem compostados e, quando possível, corrigir esta relação até os níveis recomendados, situados entre 25/1 e 35/1.

2.4.9.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE COMPOSTAGEM

Existem várias classificações de processos de compostagem, sendo que algumas não são mais recomendadas. Os principais autores costumam classificar os processos de compostagem segundo os seguintes aspectos:

- quanto ao ambiente: aberta ou fechada;
- quanto ao processamento: estático/natural ou dinâmica/acelerada;
- quanto ao manuseio: manual ou mecanizada.

2.4.9.2 PRINCIPAIS SISTEMAS DE COMPOSTAGEM

O avanço na tecnologia, associado às mudanças econômicas e sociais, tem proporcionado o aprimoramento e a racionalização dos processos de compostagem, visando, principalmente, a diminuição do tempo de estabilização e a garantia da qualidade do produto obtido.

Atualmente, existem diversos sistemas de compostagem com várias denominações, entretanto, diferem muito pouco entre si, quando analisados em sua essência.

Para Kiehl (1998), atualmente, existem dois métodos principais de compostagem: o natural e acelerado.

- Compostagem natural

Embora existam várias denominações para este processo. Baseia-se em promover a triagem prévia dos materiais a serem compostados, onde os resíduos orgânicos são triturados, peneirados e conduzidos a compostagem em áreas abertas. Os resíduos são empilhados em leiras e revolvidos periodicamente, manual ou mecanicamente. Após a formação das leiras, os procedimentos são semelhantes aos descritos no sistema Chinês, porém as leiras não são recobertas.

Este processo é largamente utilizado em unidades de processamento de lixo doméstico.

- Compostagem acelerada

Os principais processos de compostagem acelerada são: compostagem em digestor e compostagem em leiras fechadas com injeção forçada de ar.

Compostagem em digestores

O processo de compostagem é conduzido em um equipamento adaptado para promover uma homogeneização adequada dos materiais a serem compostados, através da uniformização do tamanho dos materiais, da umidade e da temperatura da massa.

O objetivo desse sistema é acelerar o processo de compostagem, sendo recomendado para cidades com mais de 200 mil habitantes.

Compostagem em leiras aeradas

Consiste, basicamente, em colocar os resíduos em uma célula, cujo piso contenha uma tubulação de drenagem e uma tubulação para a injeção do ar. Após o preenchimento, a célula é recoberta por uma manta semi-permeável especial, cujo objetivo é favorecer a perda de umidade da mistura, na forma de vapor d'água e impedir a entrada de umidade do ambiente externo. O fornecimento de ar é garantido por ventiladores, instalados na parte externa da célula.

O sistema ainda permite que apenas a primeira fase da compostagem seja conduzida nessas células, sendo o processo finalizado em áreas abertas. A grande vantagem está em acelerar a fase inicial, sem a geração de odores, diminuindo o tempo total da compostagem.

Figura 18 - Compostagem fechada

Figura 19 - Compostagem fechada com injeção de ar

2.5 Disposição Final de Resíduos Sólidos

O processo utilizado para a disposição final de resíduos industriais é o aterro de resíduos industriais, que pode ser classificado em aterro classe I e aterro classes II e III. Esse processo consiste na disposição dos resíduos sólidos no solo (semelhante à prática com lixo domiciliar) que, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite a confinação segura em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública.

2.5.1 Tipos de aterros

- Aterros Comuns

Caracterizados pela simples descarga de lixo sem qualquer tratamento e critérios de disposição. São também denominados "lixões".

- Aterros Controlados

Prática anterior, com o único cuidado da colocação de uma cobertura de material inerte. No entanto, a cobertura não soluciona os problemas de contaminação ocasionados pela formação de líquidos e gases.

- Aterros Sanitários

Processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, em especial para resíduos domiciliares, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicos que permite uma confinação segura em termos de proteção ao meio ambiente.

- Aterros Industriais

Processo de disposição de resíduos industriais no solo, baseado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas que permitam uma confinação segura em termos de proteção ambiental.

2.5.2 Exigências para o licenciamento de aterros

Seleção de área para instalação	LICENÇA PRÉVIA (ou similar)
Critérios técnicos do projeto	LICENÇA DE INSTALAÇÃO (ou similar)
Gerenciamento e operação	LICENÇA DE OPERAÇÃO (ou similar)

2.5.3 Critérios para projetos

- drenagem de águas pluviais;
- sistema de impermeabilização;
- sistema de detecção de vazamentos;
- drenagem e tratamento de líquidos percolados;
- drenagem de gases;
- cobertura final; e
- poços de monitoramento do lençol freático.

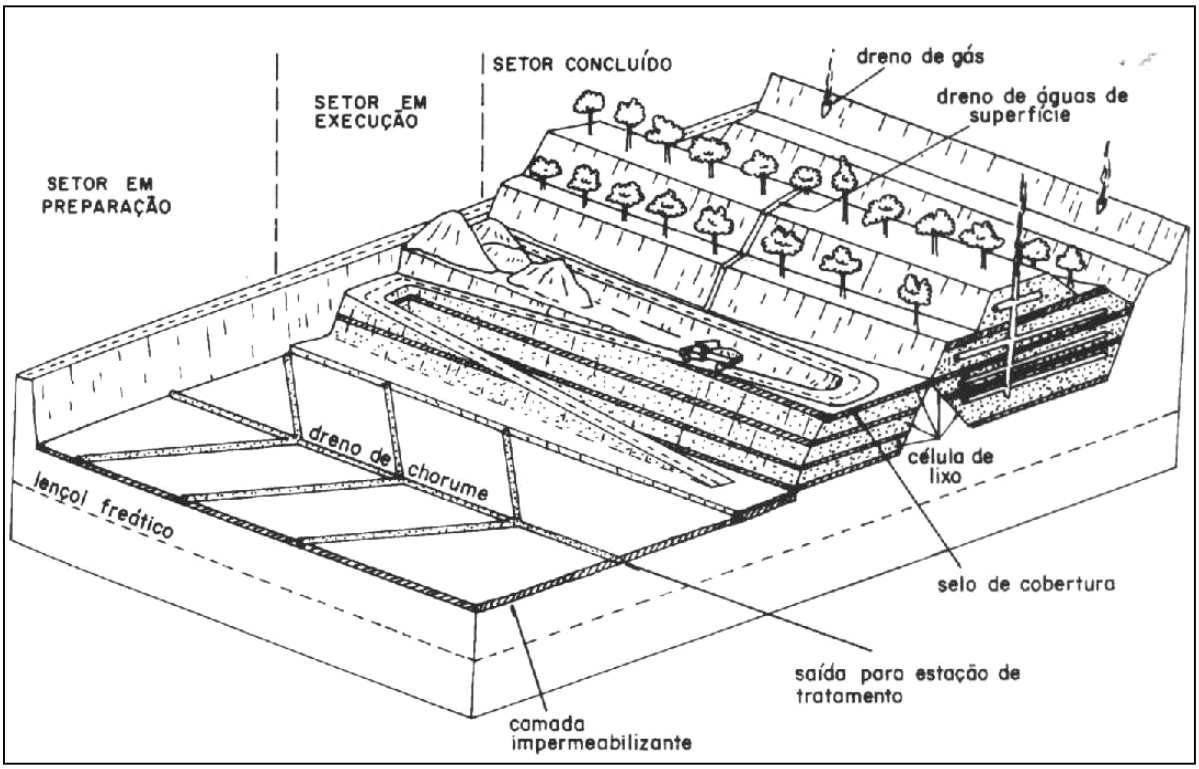


Figura 20 - Aterro sanitário

3 TRATAMENTO DE EFLUENTES

3.1 Introdução

Existe hoje uma grande preocupação em relação ao grau de tratamento e ao destino final dos efluentes, às suas conseqüências sobre o meio ambiente, à qualidade das águas e seus usos benéficos. Hoje em dia, este é um assunto que chama a atenção não apenas dos engenheiros, especialistas e técnicos, mas igualmente das organizações ambientalistas e comunitárias e da sociedade em geral.

Tendo em conta esse aspecto, os estudos, critérios, projetos, relativos ao tratamento e à disposição final dos efluentes, deverão ser precedidos de cuidados especiais que garantam o afastamento adequado dos efluentes e igualmente a manutenção e melhoria dos usos e qualidades dos corpos receptores.

As estações de tratamento de esgoto procuram reproduzir todo o complexo de reações que o rio emprega na sua autodepuração, mas processando de forma mais abrangente e complexa, devido à presença de outras substâncias. Estas transformações são realizadas em curto espaço de tempo em áreas reduzidas, quando comparadas aos processos naturais. Tratar efluentes é transformar seus componentes complexos, em compostos simples, como sais minerais e CO_2. Trata-se de uma oxidação. Esta transformação seria possível através de incineração (oxidação violenta), se o esgoto não fosse constituído quase que totalmente por água.

Os processos de tratamento consistem em operações físicas, químicas e biológicas que têm a finalidade de remover substâncias indesejáveis ou transformar estas substâncias em outras formas mais aceitáveis.

Os efluentes costumam ser classificados em dois grupos principais: os efluentes sanitários e industriais. Os primeiros são constituídos essencialmente de despejos domésticos, uma parcela de águas pluviais, águas de infiltração e, eventualmente, uma parcela não significativa de despejos industriais, tendo características bem definidas. Os esgotos domésticos ou domiciliares provêm principalmente de residências, edifícios comerciais, instituições ou quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas ou qualquer dispositivo de utilização da água para fins domésticos. Compõe-se essencialmente da água do banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes, águas de lavagem. Os efluentes industriais, extremamente diversos, provêm de qualquer utilização da água para fins industriais e adquirem características próprias em função do processo industrial empregado.

3.2 Geração de Efluentes

A geração de efluentes é influenciada diretamente pelo consumo de água, que por sua vez, é influenciada por diversos outros fatores. Em uma cidade, o consumo também é influenciado por diversos fatores, como clima, hábitos e nível de vida da população, atividade econômica predominante, sistema de medição da água distribuída, entre outros. A tabela a seguir apresenta a tendência de consumo médio *per capita* em cidades brasileiras:

Tabela 6 - Consumo médio de água para as cidades brasileiras

Cidades	População (habitantes)	Consumo médio *per capita* (Litros / habitante . dia)
Menores	até 5.000	100 a 150
Pequenas	5.000 a 25.000	150 a 200
Médias	25.000 a 100.000	200 a 250
Grandes	acima de 100.000	250 a 300

Na tabela abaixo são apresentados os consumos médios de água em estabelecimentos comerciais, utilizados como referência nas cidades brasileiras.

Tabela 7 - Consumo típico de água em estabelecimentos comerciais

Estabelecimento	Unidade	Consumo médio (L/unid.d)
Aeroporto	Passageiro	8-15
Alojamento	Residente	80-150
Banheiro público	Usuário	10-25
Bar	Freguês	5-15
Cinema/teatro	Assento	2-10
Escritório	Empregado	30-70
Hotel	Hóspede	100-200
	Empregado	30-50
Indústria(esgotos sanitário . apenas)	Empregado	50-80
Lanchonete	Freguês	4-20
Lavanderia - comercial	Máquina	2.000-4.000
Lavanderia - automática	Máquina	1.500-2.500
Loja	Banheiro	1.000-2.000
	Empregado	30-50
Loja de departamento	Banheiro	1.600-2.400
	Empregado	30-50
	m^2 de área	5-12
Posto de gasolina	Veículo servido	25-50
Restaurante	Refeição	15-30
Shopping center	Empregado	30-50
	m^2 de área	4-10

Fonte: EPA (1977), Hosang e Bischof (1984), Tchobanoglous e Schroeder (1985), Qasin (1985), Metcalf & Eddy (1991) NBR-7229/93

A utilização de água em uma empresa pode ter as seguintes finalidades:

- Sanitários
- Incorporação ao produto
- No processo industrial
- Refrigeração com circuito aberto
- Refrigeração com circuito fechado
- Lavagem de pisos e equipamentos
- Lavagem de veículos
- Refeitório

O consumo industrial varia muito em função da atividade produtiva, da tecnologia empregada e da conscientização dos seus funcionários. A tabela a seguir apresenta o consumo médio de algumas indústrias:

Tabela 8 – Consumo médio de água em algumas indústrias

Ramo	Tipo	Unidade	Consumo de Água (m^3/unid) *
Alimentícia	Frutas e legumes em conservas	1 t conserva	4-50
	Doces	1 t produto	5-25
	Açúcar de Cana	1 t açúcar	0,5-10,0
	Matadouros	1 boi ou 2,5 porcos	1-4
	Laticínios (leite)	1000 L leite	1-10
	Laticínios (queijo ou manteiga)	1000 L leite	2-10
	Cervejaria	1000 L cerveja	5-20
Têxtil	Algodão	1 t produto	120-750
	Lã	1 t produto	500-600
	Tinturaria	1 t produto	20-60
Couro e Curtume	Curtume	1 t pele	20-40
	Sapato	1000 pares sapato	5
Polpa e papel	Fabricação de polpa	1 t produto	15-200
	Fabricação de papel	1 t produto	30-250
	Polpa e papel integrados	1 t produto	200-250
Indústrias Químicas	Tinta	1 empregado	110 L/d
	Vidro	1 t vidro	3-30
	Sabão	1 t sabão	25-200
	Borracha	1 t produto	100-150
	Borracha sintética	1 t produto	500
	Refinaria de petróleo	1 barril (117 L)	0,2-0,4
	Detergente	1 t produto	13
	Gasolina	1 t produto	7-30
	Produtos farmacêuticos (vitaminas)	1 t produto	10-30
Metalúrgicas	Fundição	1 t gusa	3-8
	Laminação	1 t produto	8-50
	Forja	1 t produto	80
	Deposição eletrolítica de metais	1 m^3 de solução	1-25
	Indústria de chapas, ferro e aço	1 empregado	60 L/d
Minerações	Ferro	1 m^3 minério lavado	16
	Carvão	1 t carvão	2-10

Fonte: CETESB (1976), Dorwing (1978), Arceivala (1981), Hosang e Bischof (1984), Imhoff e Imhoff (1985), Metcalf & Eddy (1991), Derísio (1992). Adaptado por ECOCELL Consultoria (2000).

Os efluentes industriais também variam muito em sua constituição, ou seja, apresentam uma série de contaminantes em concentrações variadas, os quais precisam ser removidos para que os corpos de água receptores não sejam alterados quanto a sua qualidade, mantendo-se dentro dos padrões fixados pela legislação.

3.3 Caracterização de Efluentes

3.3.1 Amostragens

A amostragem é parte fundamental do plano de monitoramento adotado pela empresa, pois todos os resultados obtidos em análises de caracterização de águas e efluentes estão vinculados ao correto procedimento desta operação. A obtenção de resultados confiáveis depende de determinados detalhes, como:

- representatividade das amostras coletadas;
- utilização de técnicas adequadas de amostragem;
- utilização de técnicas de conservação de amostras até serem analisadas.

Os dados obtidos são utilizados em planos de monitoramento de técnicas de produção mais limpa e em projetos e monitoramento da operação de estações de tratamento de efluentes.

Existem dois tipos de amostragem: simples ou fortuita e composta. A amostragem simples é recomendada nos seguintes casos:

- quando o efluente é originado de descargas descontínuas;
- quando as características são relativamente constantes;
- quando os parâmetros a serem analisados apresentam um faixa de variação muito grande, como pH e temperatura;
- quando os parâmetros a serem analisados não sejam passíveis de amostragem composta, como gases dissolvidos, cloro residual, análises bacteriológicas, etc;

A amostragem composta consiste na realização de diversas amostragens simples em determinado intervalo de tempo, visando a obtenção de uma única amostra representativa do fluido a ser analisado.

A quantidade de amostragens simples necessária varia com a vazão do fluido e a variação de sua constituição. O quadro abaixo apresenta o número mínimo de alíquotas sugerido pela FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul.

Tabela 9 – Número mínimo de alíquotas

Classe	Vazão (m^3/dia)	Número mínimo de alíquotas
A	< 20	3
B	20 -100	3
C	100-500	4
D	500-1.000	6
E	1.000-10.000	6
F	>10.000	12

3.3.2 Parâmetros de monitoramento

Os parâmetros de monitoramento de efluentes são estabelecidos pela legislação ambiental de cada Estado, baseados na legislação federal. Normalmente, para a determinação desses parâmetros e seus respectivos padrões de emissão, são consideradas a tipologia da fonte geradora e a vazão de efluente.

Os principais parâmetros de monitoramento são:

- Temperatura;
- pH;
- DBO_5 : Demanda Bioquímica de Oxigênio, em 5 dias, a 20° C;
- DQO: Demanda Química de Oxigênio;
- Sólidos suspensos totais;
- Sólidos sedimentáveis;

- Óleos e graxas, vegetais, animais ou minerais;
- Nitrogênio total e suas formas de ocorrência;
- Fósforo total;
- Parâmetros específicos da atividade, como: metais, coliformes fecais, cor, etc.

Tabela 10 - Principais parâmetros importantes em alguns efluentes industriais

Ramo	Atividade	DBO ou DQO	SS	Óleos e Graxas	Fenóis	pH	CN^-	Metais
Produtos Alimentares	Usinas de açúcar e álcool	x	x		x	x		
	Conservas carne/peixe	x	x			x		
	Laticínios	x	x	x		x		
	Matadouros e frigoríficos	x	x	x				
	Conservas de frutas e vegetais	x	x			x		
Bebidas	Refrigerantes	x	x	x		x		
	Cervejaria	x	x	x		x		
Têxtil	Lã	x		x		x		
	Sintéticos	x				x		
	Tingimento			x	x	x	x	
Couros e peles	Curtimento vegetal	x	x	x		x		x
	Curtimento ao cromo	x	x	x		x		x
Papel	Process. da polpa-celulose	x	x			x		x
	Fabric. de papel e papelão	x	x			x		x
Produtos minerais não metálicos	Vidros e espelhos		x	x		x		x
	Fibra de vidro	x	x	x	x			
	Cimento		x	x		x		x
Borrachas	Artefatos de borracha	x	x	x		x		
	Pneus e câmaras	x	x	x		x		
Produtos químicos	Produtos químicos(vários)				x	x	x	x
	Tintas e corantes							x
	Inseticidas					x		x
	Desinfetantes				x			x
Plásticos	Plásticos e resinas	x	x		x	x		x
Perfum. e sabões	Cosmét. Deterg. e sabões	x		x				x
Mecânica	Produção de peças metálicas			x	x			
Metalúrgica	Produção de ferro gusa	x	x	x	x	x	x	x
	Siderúrgicas		x	x		x	x	x
	Tratamento de superfícies		x	x	x	x	x	x
Mineração	Atividades extrativas		x			x		
Derivados de petróleo	Combustíveis e lubrificantes	x		x	x	x		
	Usinas de asfalto		x	x				

3.4 Níveis de Tratamento de Efluentes

A remoção dos contaminantes constitui o objetivo do tratamento de efluentes. Entretanto, devido a sua diversidade, não existe uma fórmula pronta, adequada para utilização em qualquer situação.

Para atingir o objetivo, existem vários processos de tratamento, baseados em fenômenos ou princípios físicos, químicos ou biológicos, ou ainda, em suas combinações.

O tratamento de efluentes é usualmente classificado através dos seguintes níveis:

- Preliminar
- Primário
- Secundário
- Terciário

O tratamento preliminar objetiva apenas a remoção dos sólidos grosseiros, enquanto o tratamento primário visa a remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. Em ambos predominam os *mecanismos físicos* de remoção de poluentes. Já no tratamento secundário, no qual predominam mecanismos biológicos, o objetivo é principalmente a remoção da matéria orgânica e eventualmente predominantes, nitrogênio e fósforo. O tratamento terciário objetiva a remoção de poluentes específicos ou ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário. O tratamento terciário ainda é pouco utilizado no Brasil.

Tabela 11 – Níveis do tratamento de efluentes

Nível	Remoção
Preliminar	Sólidos em suspensão grosseiros (materiais de maiores dimensões e areia)
Primário	Sólidos em suspensão sedimentáveis DBO em suspensão (matéria orgânica componente dos sólidos em suspensão sedimentáveis)
Secundário	DBO em suspensão (matéria orgânica em suspensão fina, não removida no tratamento primário) DBO solúvel (matéria orgânica em suspensão fina, não removida no tratamento primário) DBO solúvel (matéria orgânica na forma de sólidos sedimentáveis)
Terciário	Nutrientes Patogênicos Compostos biodegradáveis Metais pesados

Nota: a remoção de nutrientes (por processos biológicos) e de patogênicos pode ser considerada como integrante do tratamento secundário, dependendo da concepção de tratamento local.

3.5 Classificação dos Processos

3.5.1 Processos físicos

São caracterizados por operações onde predominam processos físicos. Removem substâncias fisicamente separáveis dos líquidos ou que não se encontrem em dissolução. Exemplos de processos físicos:

- Remoção de sólidos grosseiros
- Remoção de sólidos decantáveis
- Remoção de sólidos flutuantes
- Remoção da umidade do lodo

- Filtração dos efluentes
- Incineração do lodo
- Diluição dos efluentes
- Homogeneização dos efluentes
- Floculação

3.5.2 Processos químicos

São processos onde ocorre adição de produtos químicos. São utilizados de forma auxiliar aos processos físicos e biológicos, ou complementando-os. Exemplos de processos químicos:

- Coagulação
- Precipitação química
- Elutriação
- Oxidação química
- Cloração
- Neutralização ou correção do pH

3.5.3 Processos biológicos

Processos que dependem da ação de microrganismos presentes nos esgotos e na alimentação dos mesmos. Os processos biológicos procuram reproduzir em dispositivos racionalmente projetados, os fenômenos biológicos observados na natureza, condicionando-se em área e tempo economicamente justificáveis. São classificados em:

- Processos aeróbios - Ex: lodos ativados, filtros biológicos, valos de oxidação e lagoas de estabilização.
- Processos anaeróbios - Ex: reatores anaeróbios e fossas sépticas.
- Processos conjugados – Ex: alguns tipos de lagoas de estabilização.

3.5.4 Outros processos

São chamados de processos especiais e são empregados quando o tratamento convencional não é satisfatório ou então após este, como complemento.

- Filtração Rápida
- Ultrafiltração
- Adsorção
- Eletrodiálise
- Troca Iônica
- Osmose Reversa

Tabela 12 – Características dos principais níveis de tratamento dos efluentes

Item	Nível de Tratamento[1]		
	Preliminar	Primário	Secundário
Poluentes Removidos	Sólidos grosseiros	Sólidos sedimentáveis DBO em suspensão	Sólidos não sedimentáveis DBO em suspensão fina DBO solúvel Nutrientes (parcialmente) Patogênicos (parcialmente)
Eficiência de Remoção	-	SS: 60-70% DBO: 30-40% Coliformes: 30-40%	DBO: 60 a 99% Coliformes: 60 a 99%[3] Nutrientes: 10 a 50%[3]
Mecanismo de tratamento predominante	Físico	Físico	Biológico
Cumpre o padrão de lançamento?[2]	Não	Não	Usualmente sim
Aplicação	Montante de elevatória Etapa inicial de tratamento	Tratamento parcial Etapa intermediária de tratamento mais completo	Tratamento mais completo para matéria orgânica e sólidos em suspensão (para nutrientes e coliformes, com adaptações e inclusão de etapas específicas)

1. Uma ETE a nível secundário usualmente tem tratamento preliminar, mas pode ou não ter tratamento primário (depende do processo).
2. Padrão de lançamento tal como expresso na legislação. O órgão ambiental poderá autorizar outros valores para o lançamento, caso estudos ambientais demonstrem que o corpo receptor continuará enquadrado dentro da sua classe.
3. A eficiência de remoção poderá ser superior, caso haja alguma etapa de remoção específica.

O grau, porcentagem ou *eficiência de remoção* de determinado poluente no tratamento ou em uma etapa do mesmo é dado pela fórmula:

$$E = \left(\frac{Co - Ce}{Co} \right) .100$$

Onde

E = eficiência de remoção (%)

Co = concentração afluente do poluente (mg/L)

Ce = concentração efluente do poluente (mg/L)

Tabela 13 – Classificação dos processos em função da eficiência das unidades

Tratamento Preliminar	Tratamento Primário
Remoção de sólidos grosseiros e areia	Decantação
Remoção de gorduras	Flotação
Homogeneização-Equalização	Digestão do lodo
Neutralização	Secagem do lodo
Tratamento Secundário	**Tratamento Terciário ou Avançado**
Filtros biológicos	Lagoas de maturação
Lodos ativados	Lagoas com plantas enraizadas
Lagoas de estabilização	Desinfecção
Reatores Anaeróbios	Remoção de nutrientes
	Remoção de complexos orgânicos

Tabela 14 – Operações, processos e sistemas de tratamento freqüentemente utilizados para a remoção de poluentes dos esgotos domésticos

Poluente	Operação, processo ou sistema de tratamento
Sólidos em suspensão	Gradeamento Remoção de areia Sedimentação Disposição no solo
Matéria orgânica biodegradável	Lagoas de estabilização e variações Lodos ativados e variações Filtro biológico e variações Tratamento anaeróbio Disposição no solo
Patogênicos	Lagoas de maturação Disposição no solo Desinfecção com produtos químicos Desinfecção com radiação ultravioleta
Nitrogênio	Nitrificação e denitrificação biológica Disposição no solo Processos físico-químicos
Fósforo	Remoção biológica Processos físico-químicos

Tabela 15 – Classificação dos processos em função do material removido

Contaminante	Operação ou Sistema de Tratamento
Sólidos grosseiros em suspensão	crivos, grades e desintegradores.
Sólidos grosseiros sedimentáveis	caixas de areia, centrífugas.
Óleos, graxas e substâncias flutuantes	tanques de retenção de gordura, tanques de flotação e decantadores com removedores de escuma.
Material fino em suspensão	tanques de flotação, tanques de precipitação química e filtro de areia.
Material orgânico biodegradável	irrigação em grande superfície, campo de nitrificação, filtros biológicos, lagoa de estabilização, lodos ativados e suas variações, tanques sépticos, sistemas físico-químicos.
Patogênicos	cloração, ozonização, irrigação superficial.
Nitrogênio	nitrificação e denitrificação, arraste de amônia, troca de íons, irrigação superficial.
Fósforo	adição de sais metálicos, coagulação e sedimentação com cal, eliminação biológica e química e irrigação superficial.
Metais pesados	precipitação química, troca de íons, irrigação superficial.
Sólidos inorgânicos dissolvidos	troca de íons, osmose reversa, eletrodiálise.

3.6 Sistemas de Tratamento de Efluentes

3.6.1 Tratamento preliminar

O tratamento preliminar destina-se a remover por ação física o material grosseiro e uma parcela das partículas maiores em suspensão no esgoto. Objetiva principalmente a remoção de sólidos grosseiros, areia, detritos minerais, óleos e graxas e ainda faz a equalização de vazão e de carga orgânica. Os materiais removidos no tratamento preliminar têm como principal destino os aterros sanitários ou industriais.

3.6.1.1 REMOÇÃO DE SÓLIDOS GROSSEIROS

São considerados sólidos grosseiros os resíduos sólidos contidos nos esgotos de fácil retenção e remoção, através de operações físicas de gradeamento e peneiramento, podendo-se utilizar também de trituradores.

– Grades

As grades são dispositivos constituídos de barras metálicas paralelas e igualmente espaçadas, destinadas a reter papéis, estopas, trapos, detritos vegetais, pedaços de madeira, latas, plásticos, etc. O objetivo do gradeamento é a proteção dos equipamentos posteriores e dos corpos d'água receptores além da remoção parcial da carga poluidora. As grades de barras convencionais são constituídas de dispositivos de retenção e de remoção.

– Peneiras

As peneiras são caracterizadas por disporem de aberturas menores que as grades, de 0,25 a 5,00 mm, sendo usadas para a remoção de sólidos muito finos ou fibrosos. Em função do tipo de remoção do material, as peneiras podem ser classificadas em peneiras estáticas e móveis.

– Peneiras Estáticas

São modelos projetados para promover a auto-limpeza. Nestas peneiras o efluente é alimentado de cima para baixo contra uma tela de aço inox com um desenho especial, geralmente de formato trapezoidal. O esgoto passa através desta tela e os sólidos não conseguem atravessá-la sendo coletados em uma caçamba localizada na parte inferior da peneira. O espaçamento da tela varia de 0,25 a 2,5mm.

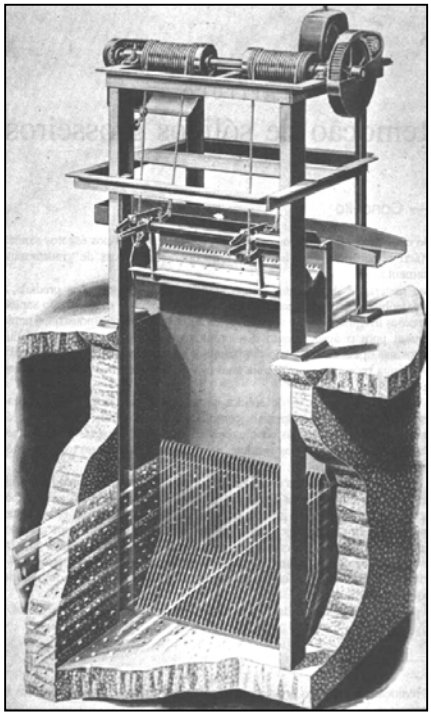
As peneiras estáticas estão encontrando um emprego muito grande nos sistemas de recuperação de perdas e produtos dentro do processo produtivo, antes de submeter ao tratamento de efluentes.

– Peneiras Móveis

Os principais tipos de peneiras móveis são constituídos de cilindros giratórios formados por barras de aço inoxidáveis, através das quais o esgoto passa, retendo o material que se pretende remover. Em função do sentido do fluxo afluente, essas unidades podem ser classificadas em: fluxo tangencial, fluxo axial (esses dois modelos recolhem o líquido através de canaletas localizadas abaixo do cilindro de barras) e fluxo frontal.

As peneiras de fluxo tangencial ou movimento vertical consistem num sistema de malhas colocadas frontalmente ao escoamento, entre duas guias, em posição vertical no canal e que, para limpeza pode ser erguida graças ao movimento de seus roletes sobre as guias. Estes dispositivos podem ser aplicados também para tratamento físico de água de processo em indústrias.

As peneiras de fluxo axial ou tambor rotativo consistem num sistema de malhas ou barras em espiral colocadas sobre um tambor rotativo. O líquido penetra por uma tubulação no interior do tambor e atravessa as malhas, ficando o material retido nas aberturas de onde é removido por jatos d'água.



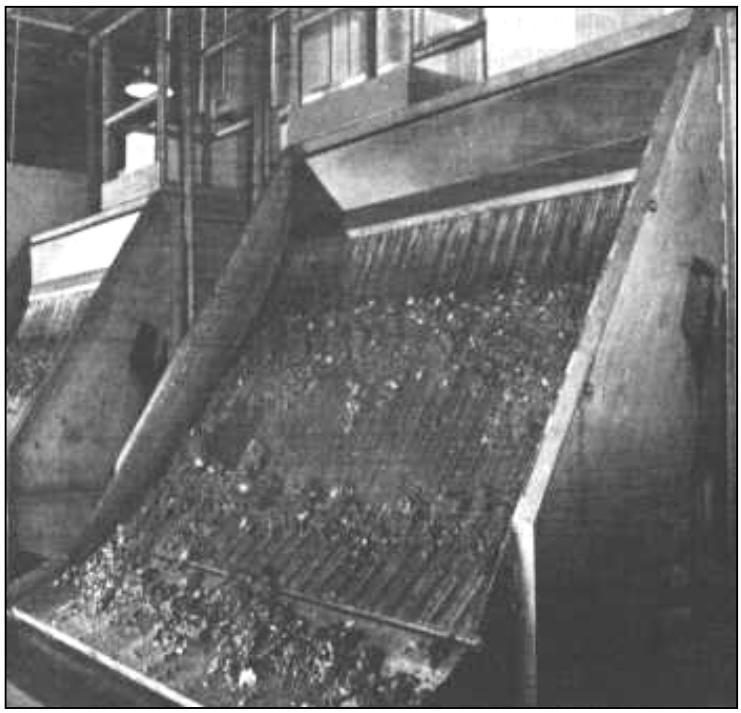


Figura 21 – Grade mecanizada acionada por cabos e Peneira

3.6.1.2 REMOÇÃO DE AREIA

A unidade de remoção de areia é comumente chamada de caixa de areia ou desarenador. As caixas de areia destinam-se a remover areia e outros detritos inertes e pesados. Estes materiais decantam quando a velocidade do esgoto é reduzida. Esta operação tem por objetivo proteger os equipamentos da abrasão, reduzir as possibilidades de avarias e obstruções em unidades do sistema e facilitar o manuseio e transporte das fases líquida e sólida, ao longo dos componentes da ETE.

As caixas de areia podem ser classificadas em função das seguintes características:

- de acordo com a forma: prismáticas (seção retangular ou quadrada), cilíndrica (seção circular);
- de acordo com a separação sólido-líquida: por gravidade (natural e aerada), por centrifugação (vórtex e centrífuga);
- de acordo com a remoção: manual, ciclone separador e mecanizado (raspador, bombas centrífugas, parafuso, *air lift*, caçambas transportadoras);
- de acordo com o fundo: plano (prismática com poço), inclinado (prismática aerada), e cônico (vórtex).

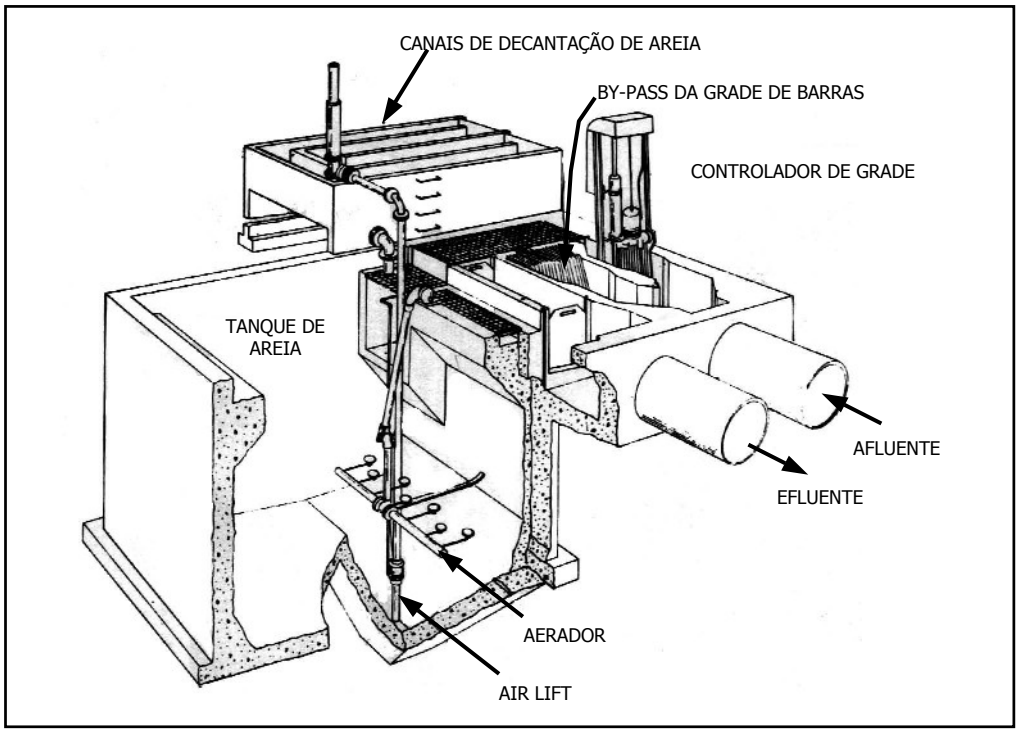


Figura 22 - Caixa de areia com aeração

3.6.1.3 REMOÇÃO DE GORDURAS E SÓLIDOS FLUTUANTES

São denominados gorduras, os materiais como óleos, graxas e outros de densidade inferior à da água, comumente encontrados em efluentes, denominados sólidos flutuantes.

A remoção de óleos e graxas pode ser realizada em:

- tanques simples, chamados caixas de gordura;
- dispositivos de remoção de gordura em decantadores, em tanques aerados ou em separadores de óleo.

As caixas de gordura, domiciliares ou coletivas, são empregadas em residências ou indústrias, ou constituem uma unidade do sistema de tratamento de esgoto de uma comunidade. Os dispositivos de remoção de gordura em decantadores são aqueles adaptados nos decantadores (primários em geral), que permitem recolher o material flutuante em depósitos convenientemente projetados para o encaminhamento posterior às unidades de tratamento de lodo. Os tanques aerados são unidades dotadas de dispositivo que insufla ar comprimido ao tanque ou ar dissolvido ao esgoto a ser tratado, com o fim de auxiliar a flotação e aumentar a eficiência do processo.

Os separadores de óleo são unidades destinadas a remover o óleo presente num esgoto, em particular nos casos em que há presença de despejos industriais com elevado teor de óleo. Existem vários tipos, alguns patenteados, de aplicação maior no caso de refinarias e indústrias afins. O principal equipamento utilizado atualmente é o tanque aerado ou flotador, onde o ar comprimido é injetado no fundo do tanque, por um sistema de domos difusores numa taxa de 4,2 m^3 de ar por m^3 de efluente. O tamanho da bolha de ar injetado no tanque influencia diretamente no rendimento da separação das gorduras. O material removido nestes sistemas geralmente vai para aterro sanitário, e eventualmente, em casos de esgotos industriais pode ser reaproveitado no processo.

O funcionamento dos dispositivos de remoção de gordura está condicionado às mesmas leis que regem os fenômenos de sedimentação de sólidos, apenas se processa no sentido inverso.

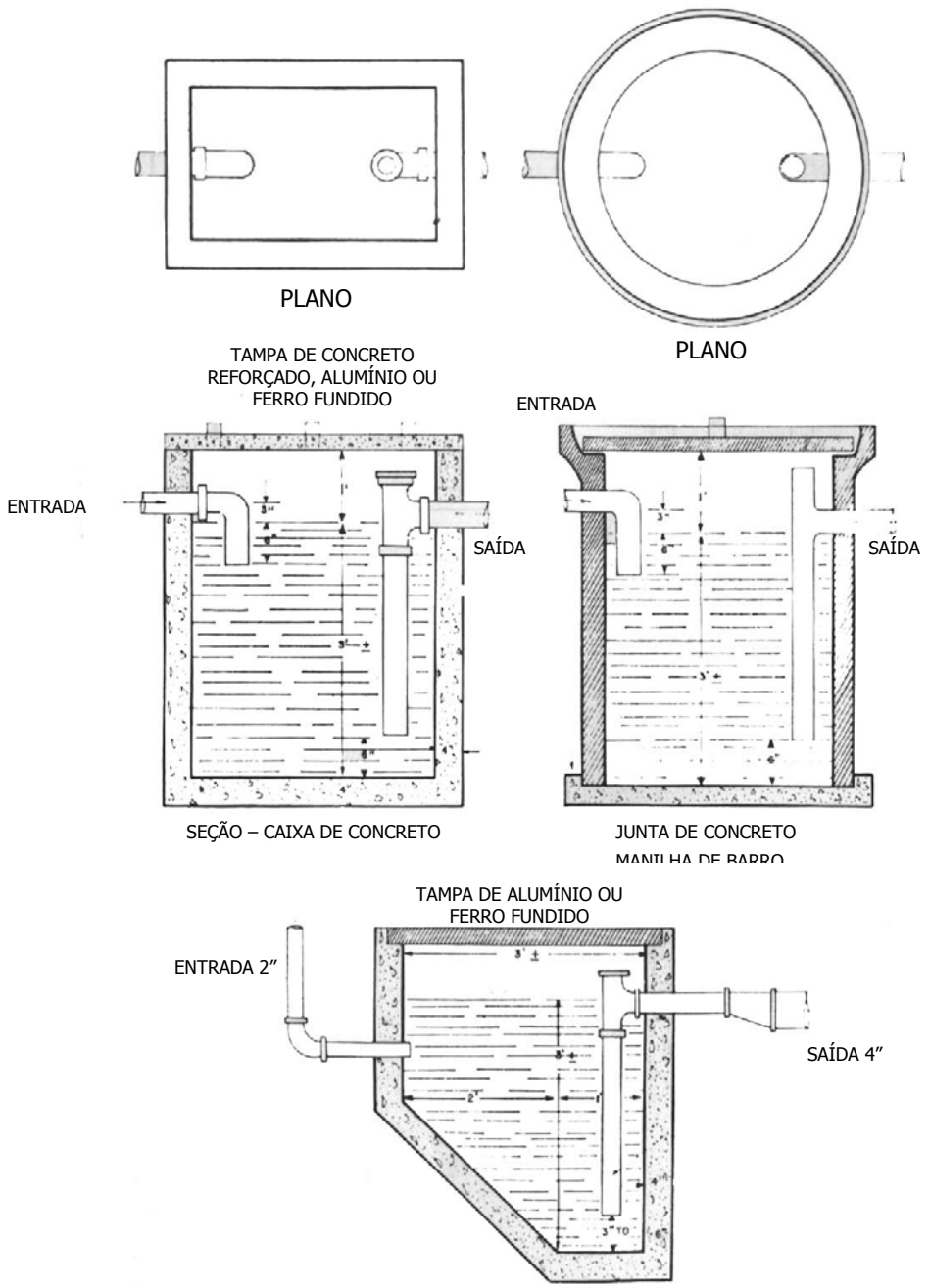


Figura 23 - Tipos de Caixa de Gordura

3.6.1.4 NEUTRALIZAÇÃO - EQUALIZAÇÃO

A neutralização tem por objetivo regularizar o pH dos efluentes para posterior tratamento ou disposição. A equalização tem por finalidade minimizar as variações de vazão e a concentração de DBO. Estas operações podem ser realizadas no mesmo equipamento ou separadamente. As bacias de equalização podem ser:

- Nível constante - não regularizam a vazão, apenas uniformizam a concentração de carga orgânica e servem também para neutralização. Algumas bacias de nível constante podem ser dotadas de sistemas de agitação.
- Nível variável - serve para equalização e neutralização onde o nível varia para regularizar a vazão. Em momentos em que a vazão aumenta na entrada da bacia, o nível da mesma

automaticamente sobe, mantendo-se na saída uma vazão constante. Nos momentos em que a vazão diminui, ocorre o contrário, mas sempre mantendo constante a vazão de saída.

A neutralização de efluentes ácidos pode ser feita com alcalinizantes como NaOH ou $Ca(OH)_2$ e a de efluentes alcalinos com ácidos como H_2SO_4 ou HCl, ou com CO_2.

3.6.2 Tratamento primário

3.6.2.1 INTRODUÇÃO

A principal finalidade do tratamento primário é de remover sólidos sedimentáveis, através do abaixamento da velocidade do líquido, possível de ser realizada em decantadores. Também fazem parte do tratamento primário o processo de digestão e desaguamento do lodo, que serão descritos no capítulo sobre tratamento do lodo. Quando trata-se de esgotos industriais, pode-se incluir o resfriamento dos esgotos como uma técnica de tratamento primário. Em alguns casos pode preceder ao tratamento primário, uma coagulação química para facilitar a remoção dos sólidos. O tratamento primário geralmente precede a um posterior tratamento biológico, mas também pode ser a última etapa do tratamento.

3.6.2.2 DECANTADORES PRIMÁRIOS

Decantador primário é a unidade de tratamento onde se processa a sedimentação do material decantável. É a operação unitária pela qual a capacidade de carreamento e de erosão da água é diminuída, até que as partículas em suspensão decantem pela ação da gravidade e não possam mais ser relevantadas pela ação erosiva, estando assim em condições de serem lançados nos corpos receptores ou de serem submetidos a tratamento secundário. Em termos de qualidade, verifica-se uma remoção de sólidos em suspensão da ordem de 40 a 60%, e da DBO de 25 a 35%. Alguns decantadores possuem dispositivos para remoção de escuma, principalmente gordura, não removida no tratamento preliminar.

As características de sedimentação das partículas em suspensão dependem da natureza das partículas, de sua concentração e das condições na unidade de sedimentação. De acordo com a forma como ocorre a sedimentação, esta costuma ser classificada em três tipos:

- *Sedimentação discreta*: as partículas são ditas individuais, isto é, não floculam nem se aglomeram umas às outras. A partícula individual mantém inalterada sua forma. Volume e peso durante o processo. A remoção de partículas granulares pesadas nas caixas de areia se aproximam deste tipo;
- *Sedimentação floculenta*: as partículas são floculentas em pequena concentração; floculam, formam partículas maiores e a velocidade de sedimentação cresce com o tempo. Este fenômeno ocorre freqüentemente nos decantadores primários;
- *Sedimentação em massa*: as partículas são coesivas, em suspensão em alta concentração e decantam como uma massa única, formando uma face de separação entre o líquido e o material em sedimentação; à medida que se processa a sedimentação ocorre também uma compactação do lodo já decantado. Os decantadores secundários geralmente trabalham nesse regime

Os decantadores podem ter a forma retangular ou circular; com o fundo um pouco inclinado, inclinado ou com poços de lodo; o sistema de remoção de lodo pode ser de limpeza manual ou mecanizado; o sentido do fluxo pode ser horizontal ou vertical; e, de acordo com a tração, nos decantadores circulares: de tração central ou periférica.

A eficiência do decantador baseia-se na capacidade deste, de sedimentar o lodo e evitar que este seja arrastado junto com o efluente. As condições de decantação estão ligadas à taxa de escoamento superficial e ao tempo de detenção no decantador. Normalmente a quase totalidade dos sólidos sedimentáveis é removida no período de duas horas de detenção.

Cálculo do tempo de detenção:

$$\text{tempo de detenção} = \frac{\text{capacidade de detenção } (m^3)}{\text{vazão } (m^3/h)}$$

A taxa de aplicação é o volume em m^3 que passa num m^2 de área do decantador num período de 1 hora ($m^3/m^2.h$).

A experiência tem indicado faixas de valores para a taxa de vazão superficial entre 33 e 50 $m^3/m^2.d$, para a vazão média, e de 80 a 120 $m^3/m^2.d$ para a vazão máxima, no caso da decantação primária antes de um tratamento secundário. No caso de decantadores primários que recebem lodo ativado recirculado, estes valores são reduzidos para 25 a 33 e 50 a 60 $m^3/m^2.d$, respectivamente.

Tabela 16 – Faixas da Taxa de Vazão Superficial para Esgoto Domésticos

Tipo de decantação	Q/A ($m^3/m^2.d$)	Velocidade (m/h)
Decantação primária de esgoto cru	30 - 60	1,25 – 2,50
Decantação secundária nos processos biológicos convencionais, de alta capacidade e de aeração eascalonada	30 - 60	1,25 – 2,50
Decantação final na oxidação total	12 - 24	0,50 – 1,00

Para dimensionar um decantador, as principais informações são: o tipo de material a ser retido, o tempo de detenção, a taxa de aplicação e o sistema de remoção de lodo.

3.6.2.3 DECANTADORES CIRCULARES

Os decantadores circulares têm sido muito usados no tratamento primário, assim como na fase de tratamento biológico. Normalmente, são alimentados pelo centro, através de uma tubulação central, ascendente, que é circundada por uma chicana ou *cortina* circular, chamada também *saia defletora* ou *gaiola*, cuja finalidade é dissipar a energia do esgoto afluente, e garantir uma distribuição homogênea no tanque. Podem também, embora seja menos comum, ser alimentados por uma tubulação inserida diametralmente, até lançar o esgoto interior da saia defletora.

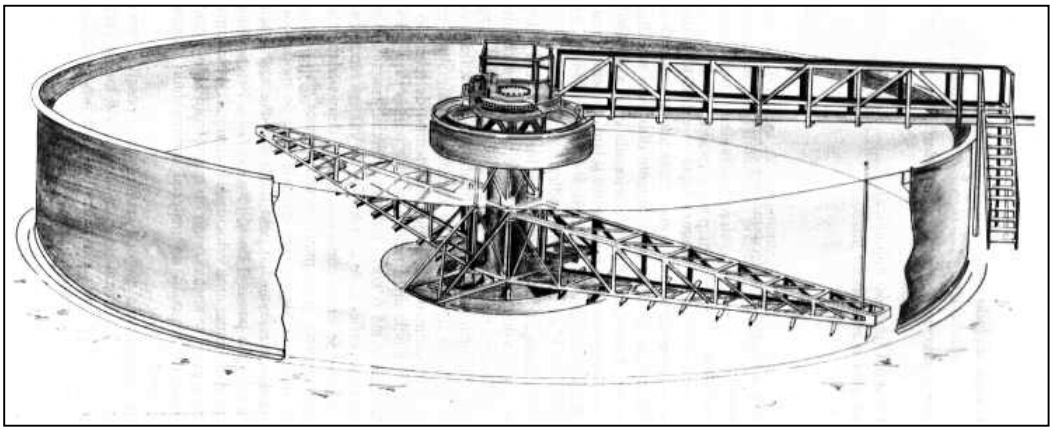


Figura 24 - Decantador (tração central)

3.6.2.4 DECANTADORES RETANGULARES

Os decantadores retangulares são sempre recomendados quando há limitação na área disponível para implantação da ETE. A alimentação dos decantadores retangulares se dá por uma das cabeceiras, com fluxo escoando lentamente até a extremidade oposta. Os dispositivos de entrada e saída são projetados com os respectivos objetivos de permitir uma distribuição uniforme de esgoto no decantador e de reter os sólidos flutuantes contidos na superfície líquida do decantador, evitando ainda que partículas sejam arrastadas com o efluente do tanque. A forma dos decantadores tem influência na permanência dos sólidos

retidos nos decantadores. Assim a relação entre as dimensões principais nos tanques retangulares poderão estabelecer condições desfavoráveis à retenção do lodo.

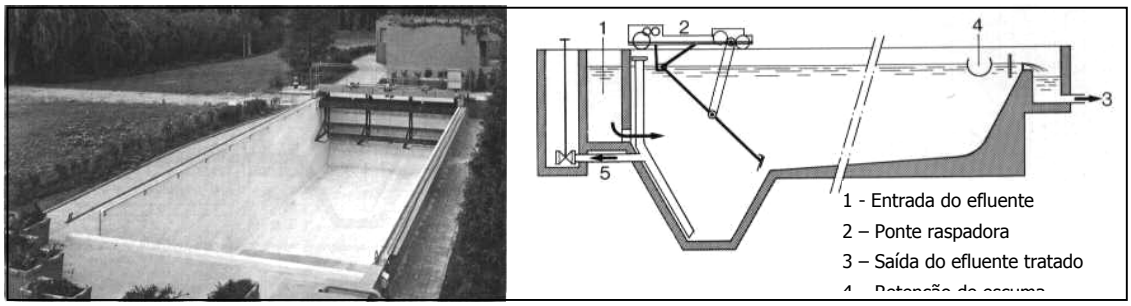


Figura 25 - Decantador retangular

A operação de decantação deverá ser orientada para que o esgoto afluente tenha a mínima variação de vazão possível. Variações de vazão repentinas e de grande amplitude causarão modificações constantes na taxa de vazão superficial e no período de retenção, interferindo nas reduções de sólidos e de DBO. Portanto, os vertedores deverão ser mantidos limpos e nivelados de acordo com o nível corresponde às vazões afluentes. A operação de raspagem da escuma (gordura) é realizada continuamente, e a operação de remoção deverá observar a freqüência de formação de escuma, de modo a se programar remoções periódicas. Deve-se evitar que haja arraste da escuma com o efluente do decantador ou que a operação de raspagem seja causadora da presença do grande volume de esgoto líquido nas caixas coletoras de escuma. A coleta do lodo é função do tipo de decantador, podendo ser manual ou mecanizada. A extração de lodo dos decantadores pode ser intermitente ou contínua. A remoção tem melhor eficiência se for realizada periodicamente com maior freqüência e curta duração. Em pequenas instalações costuma-se remover 2 (duas) vezes por dia e em grandes instalações deve ser de hora em hora.

A qualidade do lodo removido varia amplamente de instalação para instalação. A estimativa da quantidade de lodo decantado deve ser feita através do exercício do balanço de massa da estação. A manutenção dos decantadores permitirá melhores condições de trabalho da unidade e do pessoal de operação. Assim, as práticas seguintes deverão ser executadas de acordo com a conveniência da instalação.

A consistência do lodo primário varia de 1 a 6%. Quando este lodo for submetido a tratamento anaeróbio, convém que a concentração de sólidos esteja ao redor de 5%, a fim de aumentar-se a eficiência do processo. Em muitas estações de tratamento, o lodo biológico é recirculado até o decantador primário e então, removido do sistema.

Tabela 17 - Concentração de lodo

Tipo de lodo	Sólidos (%)
Lodo primário cru	< 4
Lodo secundáruio ou biológico	< 2
Lodo primário e húmus de filtro biológico	3 a 6
Lodo primário e ativado (biológico)	4 a 5
Húmus de filtro biológico	5 a 10
Lodo de tratamento com cal	< 10
Lodo de tratamento com sulfato de alumínio ou de ferro	< 2

Considera-se lodo primário cru aquele que não sofreu tratamento em digestores anaeróbios, e lodo primário digerido aquele que sofreu. Todo lodo secundário é de origem biológica e quando o processo de tratamento secundário empregado é o de lodos ativados, o lodo aí gerado recebe o nome de ativado.

3.6.3 Tratamento secundário

O tratamento secundário ou biológico de efluentes tem por objetivo principal a transformação de material orgânico complexo (energético), em compostos simples, sais minerais e CO_2 (pouco energéticos). É realizada através de reações enzimáticas promovidas por microrganismos (bactérias de modo geral, de composição média $C_5H_7O_2N$) que se desenvolvem sobre condições controladas no processo.

Os principais organismos envolvidos no tratamento de efluentes são as bactérias, protozoários, fungos, algas e vermes. Destes, as bactérias são os mais importantes na estabilização da matéria orgânica.

A remoção da matéria orgânica ocorre através dos processos de desassimilação ou catabolismo. Os dois tipos de catabolismo de interesse em tratamento de efluentes são: catabolismo oxidativo (oxidação da matéria orgânica) e catabolismo fermentativo (fermentação da matéria orgânica).

De modo geral, a oxidação implica na perda de um ou mais elétrons de substâncias oxidadas. Estas podem ser matéria orgânica ou compostos inorgânicos na forma reduzida (doadores de elétrons). O elétron retirado da molécula oxidada é transferido, através de reações bioquímicas com o auxílio de enzimas, a um outro composto inorgânico (agente oxidante), o qual recebe a denominação genérica de *aceptor de elétrons.* Este composto, como resultado, tem seu estado de oxidação reduzido. Os principais agentes aceptores de elétrons utilizados na respiração estão listados abaixo:

Tabela 18 - Principais aceptores de elétrons

Condições	Aceptor de elétrons	Forma do aceptor após a reação	Processo
Anaeróbias	Oxigênio (O_2)	H_20	metabolismo aeróbio
Anóxicas	Nitrato (NO_3^-)	nitrogênio gasoso (N_2)	denitrificação
Anaeróbias	Sulfato (SO_4^{2-}) Dióxido de carbono (CO_2)	sulfeto (H_2S) metano (CH_4)	dessulfatação matanogênese

Fonte: Sperling, 1996

Existem organismos adaptados funcionalmente para as diversas condições de respiração, sendo que os mais importantes em tratamento de efluentes são:

- organismos aeróbios estritos: utilizam apenas o oxigênio livre na sua respiração;
- organismos facultativos: utilizam, preferencialmente, o oxigênio livre e, na sua falta, o nitrato como aceptor de elétrons;
- organismos anaeróbios estritos: utilizam o sulfato ou dióxido de carbono como aceptores de elétrons.

Pelo fato de ser liberada mais energia através das reações aeróbias do que nas anaeróbias, os organismos aeróbios se reproduzem mais rapidamente e a estabilização da matéria orgânica é obtida em taxas mais rápidas que a anaeróbia. Sendo maior a taxa de reprodução nos organismos aeróbios, maior também é geração de lodo. As principais reações envolvidas são:

- Condições aeróbias:

$$C_2H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O$$

- Condições anóxicas:

$$2\ NO_3^- + 4\ H^+ \rightarrow N_2 + 2\ O_2 + 2\ H_2O$$

– Condições anaeróbias:

$CH_3COOH + SO_4^{2-} + 2\ H^+ \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O$

$6\ CO_2 + 4\ H_2 \rightarrow CH_4 + 2\ H_2O$

$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$

3.6.3.1 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

O nome lagoa de estabilização é usado para designar um grande número de processos de tratamento que têm em comum o fato de utilizar um enorme tanque artificialmente construído, com a finalidade de tratar efluentes.

As primeiras lagoas, de origem acidental, em que os fenômenos de tratamento de efluentes foram constatados, parecem ter sido as de Santa Rosa, na Califórnia USA em 1924, e de Fesseden na Dakota do Norte em 1928.

As lagoas apresentam excelente eficiência de tratamento. A matéria orgânica dissolvida no efluente das lagoas é bastante estável e a DBO geralmente encontra-se numa faixa de 30 a 50 mg/L, nas lagoas facultativas (havendo uma separação de algas, esta concentração pode reduzir-se para 15 a 30 mg/L). Nem sempre o objetivo será a remoção da DBO ou da DQO – Muitas vezes, interessará a remoção de coliformes, onde se tem alcançado até 99,9999% de eficiência nas lagoas de maturação em série.

Os organismos que habitam as lagoas de estabilização e tratam os efluentes são constituídos por uma variedade de plantas e animais microscópios, que coexistem no meio e dependem uns dos outros. Os mais importantes para o funcionamento das lagoas de estabilização convencionais são bactérias e algas.

A estabilização dos poluentes orgânicos na lagoa facultativa faz-se pela ação conjunta de algas e bactérias provenientes do próprio efluente. As algas, utilizando-se de sais minerais presentes e de luz solar, realizam a fotossíntese, produzindo oxigênio que fica dissolvido na água.

Por esse motivo, as lagoas em que o oxigênio é produzido por algas também denominam-se lagoas de fotossíntese. As bactérias executam a decomposição dos poluentes orgânicos, aproveitando o oxigênio produzido pelas algas. Não havendo mistura da massa líquida promovida pela ação do vento, a camada de produção de algas é limitada a uma faixa de 10 a 20cm de profundidade, devido à alta turbidez, que impede a penetração da luz na água.

Os sólidos decantáveis que se encontram nos efluentes sedimentam nas lagoas em forma de lodo, que é digerido por bactérias anaeróbias e facultativas, produzindo novas bactérias, gases e sais minerais. A matéria orgânica em suspensão e na forma solúvel também é estabilizada por bactérias, principalmente facultativas, com produção de gases, mais bactérias e sais minerais. O tratamento de efluentes através das lagoas de estabilização apresenta as seguintes vantagens:

- é uma forma de tratamento eficiente;
- reduz a matéria orgânica semelhante às estações sofisticadas e remove mais organismos patogênicos que as mesmas;
- se houver área disponível a preços acessíveis e com topografia adequada, trata-se de um processo cujo custo de implantação é muito menor do que o das estações feitas em concreto e utilizando equipamentos mecânicos;
- não exige outra forma de energia, apenas a luz solar;
- funciona bem em climas quentes, sendo indicado para a maioria das regiões climáticas brasileiras;
- é um processo satisfatoriamente estável, se receber apenas esgoto doméstico; em outras palavras, uma vez em funcionamento, as lagoas, desde que bem projetadas e convenientemente operadas, reproduzem a mesma eficiência;

- não produz lodo a ser disposto;
- não requer pessoal especializado para operação;
- apresenta baixíssimos custos de operação e manutenção;
- pode-se utilizar o efluente das lagoas para irrigação de algumas culturas com aproveitamento dos nutrientes.

Por outro lado, não é conveniente utilizar as lagoas nas seguintes situações:

- se o preço do terreno for muito elevado;
- em topografia muito acidentada requerendo grande remoção de terra;
- em terreno muito permeável (arenoso) com excessiva infiltração;
- em terreno muito rochoso que exija serviços de dinamitação;
- em regiões muito frias, onde há congelamento de lagos no inverno.

Lagoa Facultativa

Dentre os sistemas de lagoa de estabilização, o processo de lagoas facultativas é o mais simples, dependendo unicamente de fenômenos puramente naturais. Constituem a maioria das lagoas existentes no mundo. A lagoa facultativa se caracteriza por possuir uma zona aeróbia superior, em que os mecanismos de estabilização da DBO solúvel e finamente particulada são a oxidação aeróbia e a redução fotossintética, e uma zona anaeróbia na camada de fundo, onde ocorrem os fenômenos típicos da fermentação anaeróbia sobre a DBO suspensa sedimentável. A camada intermediária entre essas duas zonas é dita facultativa, predominando os processos de oxigenação aeróbia e fotossintética. O oxigênio necessário para manter as condições aeróbias provém das algas e pequena parcela é obtida por aeração natural. Estas lagoas utilizam os produtos finais do metabolismo dos seres aeróbios e dos anaeróbios para fotossíntese.

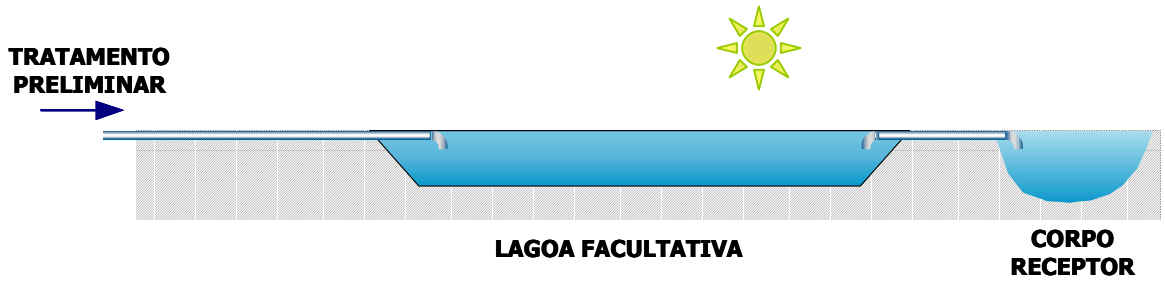


Figura 26 - Lagoa facultativa

Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa

A DBO é em torno de 50% estabilizada na lagoa anaeróbia (mais profunda e com menor volume), enquanto a DBO remanescente é removida na lagoa facultativa. O sistema ocupa uma área inferior ao de uma lagoa facultativa única. Este sistema é também conhecido como sistema australiano.

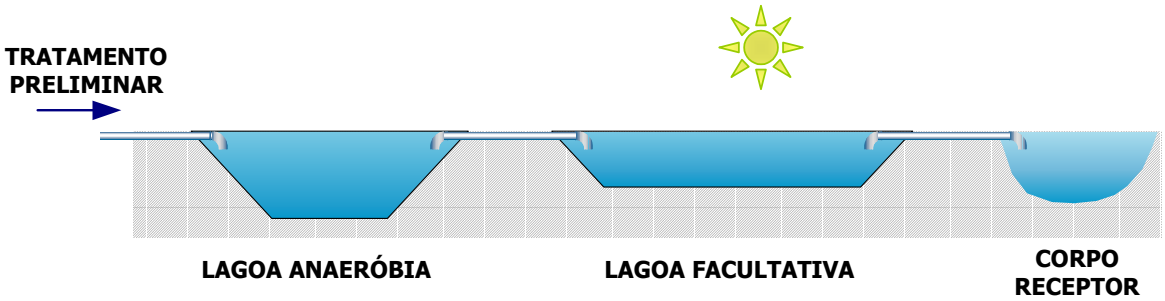


Figura 27 - Lagoa anaeróbia-lagoa facultativa

Lagoa aerada facultativa

Os mecanismos de remoção da DBO são similares aos de uma lagoa facultativa. No entanto, o oxigênio é fornecido por aeradores mecânicos, ao invés de fotossíntese. Como a lagoa é também facultativa, uma grande parte dos sólidos do esgoto e da biomassa sedimenta, sendo decomposta anaerobicamente no fundo. Esta lagoa apresenta uma área menor que a facultativa, porém demanda energia para o funcionamento dos aeradores.

Figura 28 - Lagoa aerada facultativa

Lagoa aerada de mistura completa – lagoa de decantação

A energia introduzida por unidade de volume da lagoa é elevada, o que faz com que os sólidos (principalmente a biomassa) permaneçam dispersos no meio líquido, ou em mistura completa. A decorrente maior concentração de bactérias no meio líquido aumenta a eficiência do sistema na remoção da DBO, o que permite que a lagoa tenha um volume inferior ao de uma lagoa aerada facultativa. No entanto, o efluente contém elevados teores de sólidos (bactérias), que necessitam ser removidos antes de serem lançados no corpo receptor. A lagoa de decantação à jusante proporciona condições para esta remoção. O lodo da lagoa de decantação deve ser removido em períodos de poucos anos.

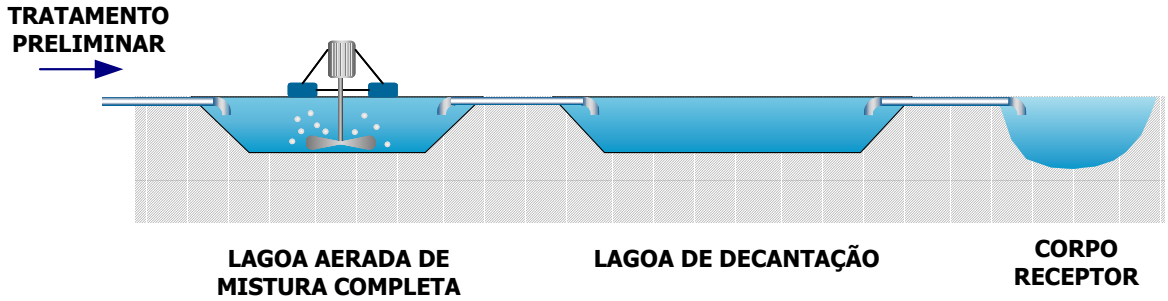


Figura 29 – Lagoa aerada de mistura completa – Lagoa de decantação

3.6.3.2 LODOS ATIVADOS

Nos processos aeróbios procura-se intensificar a proliferação de certos microrganismos, principalmente bactérias, que além da propriedade de oxidar aerobicamente a matéria orgânica, possuem uma característica de especial importância para este tipo de tratamento, a de formarem massas capazes de adsorver partículas em suspensão. Esta massa, denominada lodo, é altamente reativa, devido à grande quantidade de bactérias que possui, originando o nome Lodo Ativado.

O sistema de lodos ativados é constituído por um tanque de aeração e um decantador. No tanque de aeração ocorrem as reações bioquímicas de estabilização, sendo as bactérias responsáveis pelo consumo do material orgânico. O suprimento de oxigênio necessário às bactérias é oriundo da injeção de ar ou de oxigênio puro.

No decantador, o efluente tratado é separado do lodo. Uma parte do lodo ativado retorna ao processo e a outra é enviada para a destinação final.

Para a efetiva degradação da matéria orgânica é necessário haver:

- uma população de microrganismos ativos;
- contato adequado entre os microrganismos e os efluentes a serem degradados;
- disponibilidade de oxigênio;
- disponibilidade de nutrientes; e
- outras condições ambientais favoráveis, tais como temperatura, pH, tempo de contato, etc.

O oxigênio tem as seguintes finalidades no processo:

- satisfazer as necessidades do metabolismo dos organismos;
- através do ar injetado, manter uma agitação completa do tanque de aeração, de modo a não permitir qualquer sedimentação e manter os flocos em contato com os organismos presentes no meio;
- retirar do líquido vários produtos voláteis do metabolismo.

A finalidade do lodo no processo é:

- misturar-se com o esgoto afluente no tanque de aeração mantendo uma concentração constante e elevada de flocos;
- estabilizar a matéria orgânica presente pela ação dos microrganismos que constituem os flocos, principalmente as bactérias e
- inocular o meio e acelerar o trabalho de estabilização da matéria orgânica.

Tendo em conta esses objetivos, a recirculação do lodo é praticada de forma controlada e de acordo com os parâmetros estabelecidos no projeto e na fase operacional.

A vantagens da utilização deste sistema é a alta eficiência na remoção de matéria-orgânica e a pequena necessidade de área para a implantação. As suas principais desvantagens são:

- grande geração de lodo a ser descartado;
- alto valor de implantação e de manutenção.

Lodos ativados - contínuo

No processo de lodos ativados, o esgoto afluente e o lodo ativado são intimamente misturados, agitados e aerados (em unidades chamadas tanques de aeração), para logo após se separar os lodos ativados de esgoto tratado (por sedimentação, em decantadores). O lodo ativado separado retorna para o processo e uma parte é descartada para a destinação final, enquanto o esgoto já tratado passa para o vertedor do decantador no qual ocorreu a separação.

A concentração de biomassa no reator é bastante elevada, devido à recirculação dos sólidos (bactérias) sedimentados no fundo do decantador secundário. A biomassa permanece mais tempo no sistema do que o líquido, o que garante uma elevada eficiência na remoção da DBO. Há a necessidade da remoção de uma quantidade de lodo (bactérias) equivalente à que é produzida. O fornecimento de oxigênio é feito por aeradores mecânicos ou por ar difuso.

Uma variante deste sistema é o processo de lodos ativados com aeração prolongada, onde a biomassa permanece mais tempo no sistema (os tanques de aeração são maiores). Com isto, há menos DBO disponível para as bactérias, o que faz com que elas utilizem a matéria orgânica do próprio material celular para a sua manutenção. Em decorrência, o lodo excedente retirado (bactérias) já sai estabilizado.

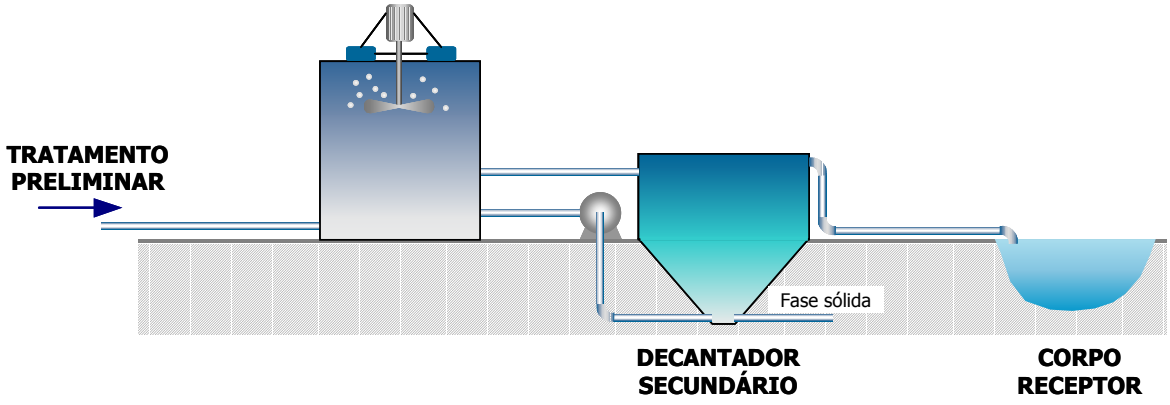


Figura 30 - Lodos Ativados – Fluxo contínuo

Lodos ativados - fluxo intermitente

A operação do sistema é intermitente. Assim, no mesmo tanque ocorrem, em fases diferentes, as etapas de reação (aeradores ligados) e sedimentação (aeradores desligados). Quando os aeradores estão desligados, os sólidos sedimentam, ocasião em que se retira o efluente (sobrenadante). Ao se religar os aeradores, os sólidos sedimentados retornam à massa líquida, o que dispensa as elevatórias de recirculação. Não há decantadores secundários. Pode ser na modalidade convencional ou aeração prolongada.

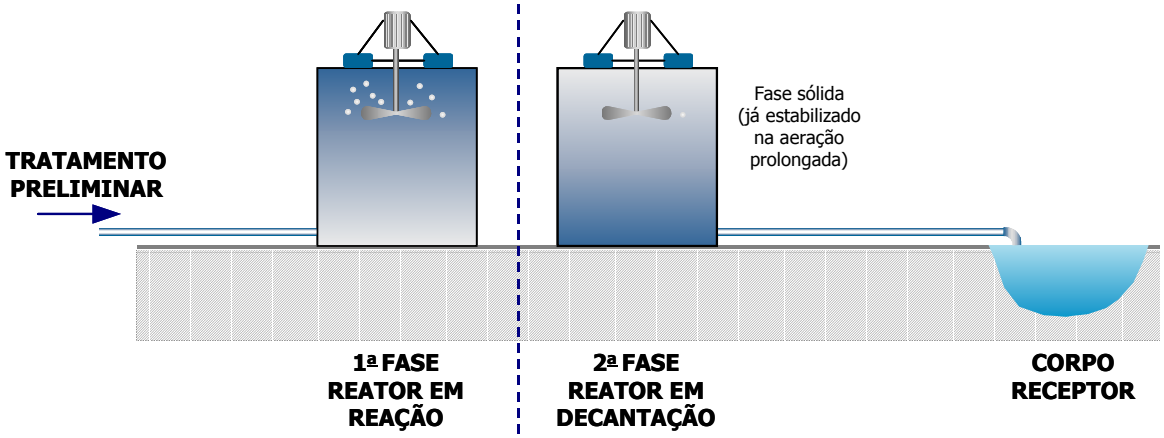


Figura 31 - Lodos Ativados - Fluxo intermitente

3.6.3.3 SISTEMAS AERÓBIOS COM BIOFILMES

Os sistemas de filtros biológicos consistem em um processo onde a biomassa, ao invés de crescer dispersa em um tanque ou lagoa, cresce aderida a um meio suporte.

Um filtro biológico compreende, basicamente, um leito de material grosseiro, tal como pedras, ripas ou material plástico, sobre o qual os efluentes são aplicados sob a forma de gotas ou jatos. Após a aplicação, os efluentes percolam em direção aos drenos de fundo. Esta percolação permite o crescimento bacteriano na superfície da pedra ou do material de enchimento, na forma de uma película fixa. O efluente passa sobre a população microbiana aderida, promovendo o contato entre os microrganismos e o material orgânico.

Os filtros biológicos são sistemas aeróbios, pois o ar circula nos espaços vazios entre as pedras, fornecendo o oxigênio para a respiração dos microrganismos.

A aplicação dos efluentes sobre o meio é freqüentemente feita através de distribuidores rotativos, movidos por sua própria carga hidrostática. O líquido escoa rapidamente pelo meio suporte, no entanto, a matéria orgânica é adsorvida pela película microbiana, ficando retida um tempo suficiente para a sua estabilização.

Os filtros são normalmente circulares, podendo ter vários metros de diâmetro. Contrariamente ao que indica o nome, a função primária do filtro não é a de filtrar, uma vez que o diâmetro das pedras utilizadas é da ordem de alguns centímetros, ou seja, permitindo um grande espaço de vazios, ineficientes para o ato de filtração. A função do meio é tão somente a de fornecer suporte para a formação da película microbiana. Existem também meios sintéticos de diversos materiais e formas, os quais apresentam a vantagem de serem mais leves do que as pedras, além de apresentarem uma área superficial de exposição bem superior. No entanto, os meios sintéticos são mais caros.

Na medida em que a biomassa cresce na superfície das pedras, o espaço vazio tende a diminuir, fazendo com que a velocidade de escoamento nos poros aumente. Ao atingir um determinado valor, esta velocidade causa uma tensão de cisalhamento, que desaloja parte do material aderido. Esta é uma forma natural de controle da população microbiana do meio. O lodo desalojado deve ser removido nos decantadores secundários, de forma a diminuir o nível de sólidos em suspensão no efluente final.

Filtro de baixa carga

A DBO é estabilizada aerobicamente por bactérias que crescem aderidas a um meio suporte (comumente pedras). O esgoto é aplicado na superfície do tanque através de distribuidores rotativos. O líquido percola pelo tanque, saindo pelo fundo, ao passo que a matéria orgânica fica retida pelas bactérias. Os espaços livres são vazios, o que permite a circulação de ar. No sistema de baixa carga, há pouca disponibilidade de DBO para as bactérias, o que faz com que as mesmas sofram uma auto digestão, saindo estabilizadas do sistema. As placas de bactérias que se despregam das pedras são removidas no decantador secundário. O sistema necessita de decantação. Essa menor carga de DBO por unidade de superfície do tanque está associada a maiores requisitos de área, se comparado ao sistema de alta carga, descrito no item seguinte.

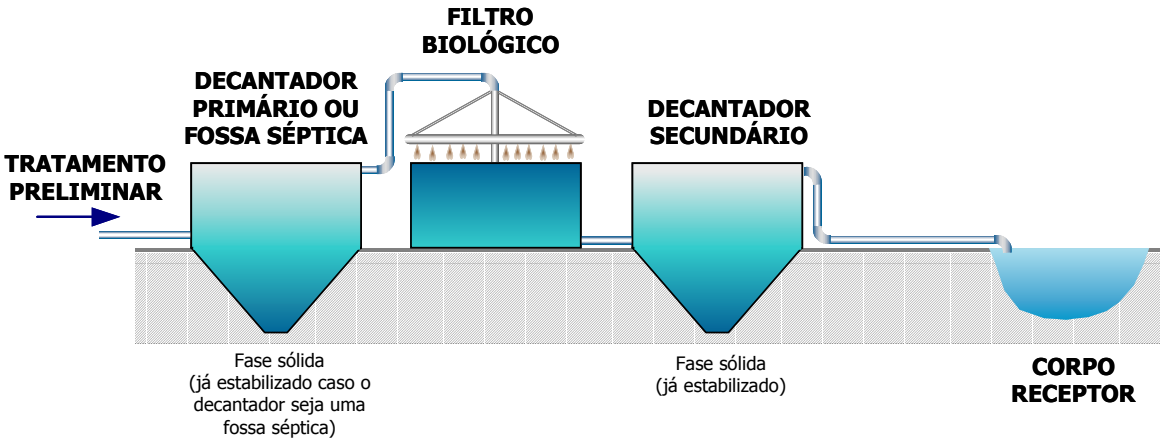


Figura 32 - Filtros de baixa carga

Filtros de alta carga

Similar ao sistema anterior, com a diferença de que a carga de DBO aplicada é maior. As bactérias (lodo excedente) necessitam de estabilização no tratamento do lodo. O efluente do decantador secundário é recirculado para o filtro, de forma a diluir o afluente e garantir uma carga hidráulica homogênea.

Nestes sistemas, por receberem uma maior carga de DBO por unidade de volume de leito, a necessidade de área é menor. Paralelamente, tem-se também uma ligeira redução na eficiência de remoção da matéria orgânica e a não estabilização do lodo no filtro. Esta eficiência é devidamente melhorada.

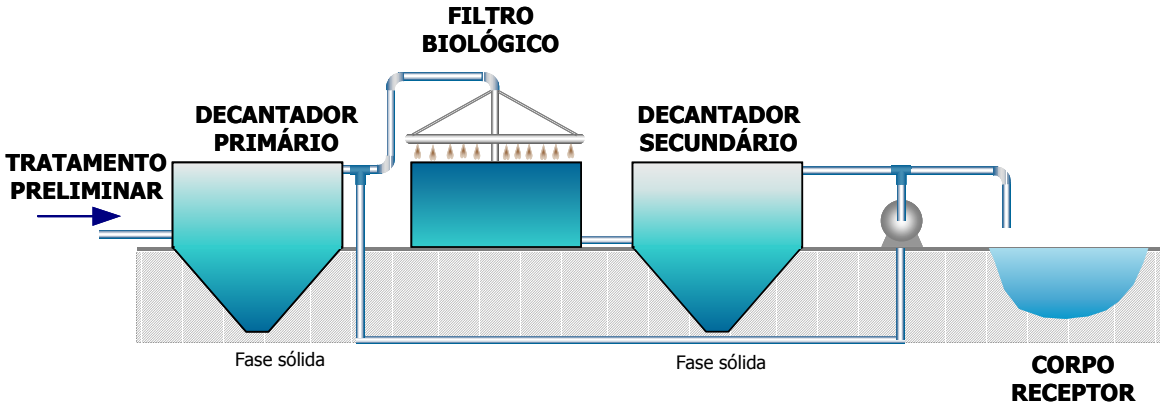


Figura 33 - Filtros de alta carga

Biodisco

Os biodiscos não são filtros biológicos, mas apresentam a similaridade de que a biomassa cresce aderida a um meio suporte. O processo consiste em uma série de discos ligeiramente espaçados, montados num eixo horizontal. Os discos giram vagarosamente e mantêm, em cada instante, cerca de metade da área superficial imersa no esgoto, e o restante exposto ao ar.

Quando a camada biológica atinge uma espessura excessiva, ela se desgarra dos discos. Esses organismos que se desgarram são mantidos em suspensão no meio líquido devido ao movimento dos discos, aumentando a eficiência do sistema.

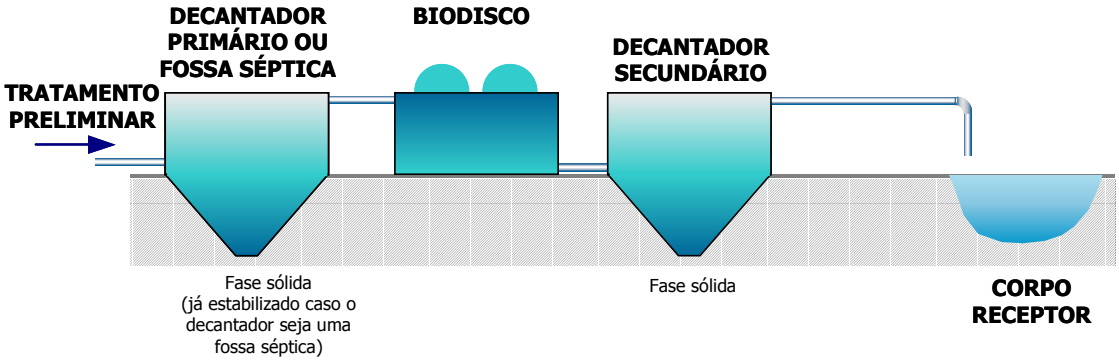


Figura 34 - Biodisco

3.6.3.4 SISTEMAS ANAERÓBIOS DE TRATAMENTO

A mineralização da matéria orgânica por um sistema microbiológico misto em condições de ausência de ar (ou fortemente redutoras) denomina-se geralmente digestão anaeróbia. Como todo processo microbiológico, sofre influências do meio em que se desenvolve (temperatura, umidade, pH, presença de compostos nutrientes ou tóxicos, relação entre os nutrientes, alcalinidade, etc.). Um processo anaeróbio metanogênico gera três produtos principais:

- Gás biológico combustível;
- Efluentes líquidos;
- Lodos residuais.

Em um sistema anaeróbio em que as substâncias a degradar são polímeros naturais, e, em ausência de compostos inorgânicos como nitrato, sulfato, íon férrico ou mangânico, a degradação se dá em cinco etapas: 1) Hidrólise e fermentação (bactérias fermentativas); 2) Acetogênese e desidrogenação (bactérias acetogênicas produtoras de H_2; 3) Acetogênese (bactérias acetogênicas ou homoacetogênicas consumidoras de H_2; 4) Metanogênese a partir de acetato (bactérias metanogênicas redutoras de CO_2 e 5) Metanogênese a partir de hidrogênio e anidrido carbônico (bactérias metanogências acetoclásticas).

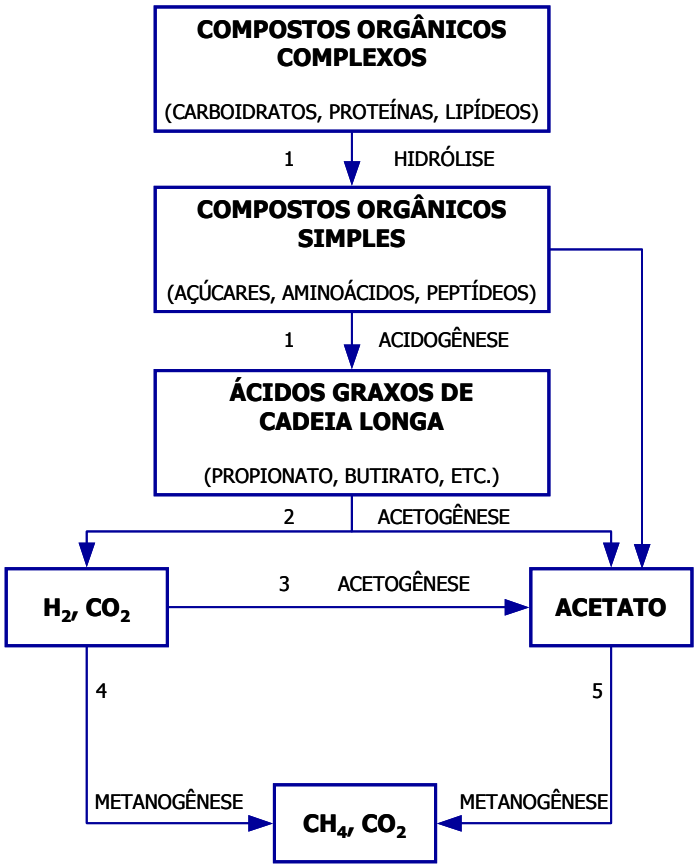


Figura 35 - Resumo da digestão anaeróbia

O interesse no tratamento anaeróbio de efluentes industriais para proteção ambiental e recuperação de recursos renováveis está crescendo mundialmente. O tratamento anaeróbio particularmente oferece muitos atrativos, principalmente para países em desenvolvimento. Simples, de baixo custo e efetivo para tratamento de efluentes e recuperação de energia,

pode contribuir significativamente para a melhoria das condições de vida em países em desenvolvimento. Segundo alguns autores, a grande descoberta do tratamento anaeróbio de efluentes, sem dúvida, pode ser atribuído ao desenvolvimento dos processos de tratamento de alta taxa. Além das vantagens comuns aos sistemas de baixa e média taxa, a importância adicional destes sistemas é:

- tratamento anaeróbio torna-se exeqüível a baixas temperaturas ambientes;
- os efluentes com carga orgânica muito baixa podem ser tratados eficientemente;
- podem ser utilizadas instalações compactas;
- os reatores são geralmente simples (e de baixo custo) de construção;
- os custos operacionais e de operação são geralmente baixos;
- o processo é aplicável em pequena e grande escala;
- apresentam grande resistência a choques de carga, bem como a variações das condições físico-químicas do sistema.

Os processos anaeróbios estão, atualmente, voltando a ser estudados devido à crise de energia e aos custos dos tratamentos convencionais. As vantagens desse processo são:

- produção de metano, excelente combustível;
- pequena produção de lodo (estável e facilmente desidratável)
- utiliza altas taxas de aplicação;
- pequena exigência de nutrientes;
- não utiliza energia para aeração.

Desvantagens:

- é um processo muito sensível a variações ambientais e poluentes;
- são necessários longos períodos de aclimatação;
- baixa eficiência na remoção de DBO.

Reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo – UASB

A DBO é estabilizada anaerobicamente por bactérias dispersas no reator, onde a concentração de biomassa no reator é bastante elevada, justificando a denominação de manta de lodo. Devido a esta elevada concentração, o volume requerido para os reatores anaeróbios de manta de lodo é bastante reduzido, em comparação com todos os outros sistemas de tratamento. O fluxo do líquido é ascendente e como resultado da atividade anaeróbia, são formados gases (principalmente metano e gás carbônico), os quais apresentam também uma tendência ascendente. De forma a reter a biomassa no sistema, impedindo que ela saia com o efluente, a parte superior dos reatores de manta de lodo apresenta uma estrutura que possibilita as funções de separação e acúmulo de gás e de separação e retorno dos sólidos (biomassa). O sistema dispensa decantação primária. A produção de lodo é baixa e o mesmo já sai estabilizado.

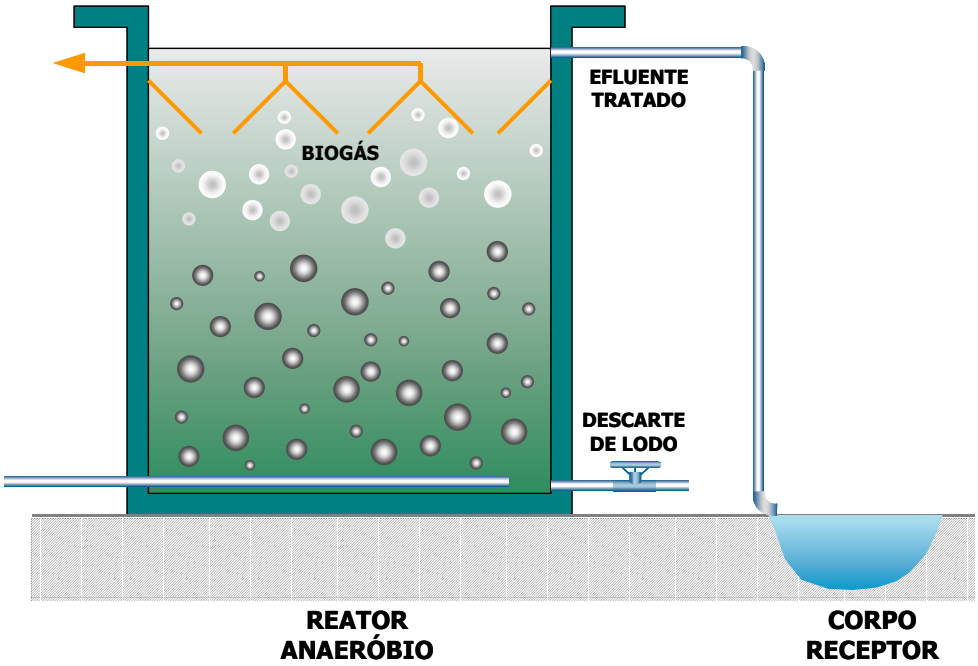


Figura 36 - Reator UASB

Filtro anaeróbio

A DBO é estabilizada anaerobicamente por bactérias aderidas a um meio suporte (usualmente pedras) no tanque. O filtro trabalha submerso, ou seja, os espaços vazios são preenchidos com líquido e o fluxo é ascendente. O fato da carga de DBO aplicada por unidade de volume ser bastante elevada, o que garante as condições anaeróbias, ocasiona uma redução no volume do tanque. O sistema requer decantação primária (freqüentemente fossas sépticas). A produção de lodo é baixa e o mesmo já sai estabilizado.

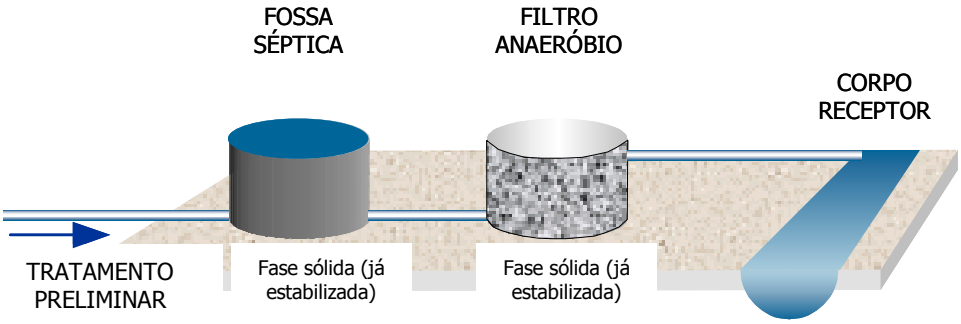


Figura 37 - Filtro anaeróbio

3.6.3.5 DISPOSIÇÃO NO SOLO

Os destinos mais comuns para a disposição final de efluentes líquidos tratados são os cursos d'água e o mar. A aplicação de efluentes no solo pode ser considerada uma forma de disposição final, de tratamento, a nível primário, secundário ou terciário, ou ambos. Os efluentes aplicados no solo podem suprir as necessidades das plantas, tanto em água quanto em nutrientes.

Um nutriente no solo tem, basicamente, três destinos:

- retenção na matriz do solo;
- retenção pelas plantas;
- aparecimento nas águas subterrâneas.

Os mecanismos que atuam na remoção de nutrientes são:

- físico: sedimentação, filtração, radiação, volatilização e desidratação;
- químico: oxi-redução, precipitação, adsorção, troca iônica e complexação;
- biológica: biodegradação

Infiltração Lenta

Os esgotos são aplicados ao solo, fornecendo água e nutrientes necessários para o crescimento das plantas. Parte do líquido é evaporada, parte percola no solo, e a maior parte é absorvida pelas plantas. As taxas de aplicação no terreno são bem baixas. O líquido pode ser aplicado segundo os métodos da aspersão, do alagamento e da crista e vala.

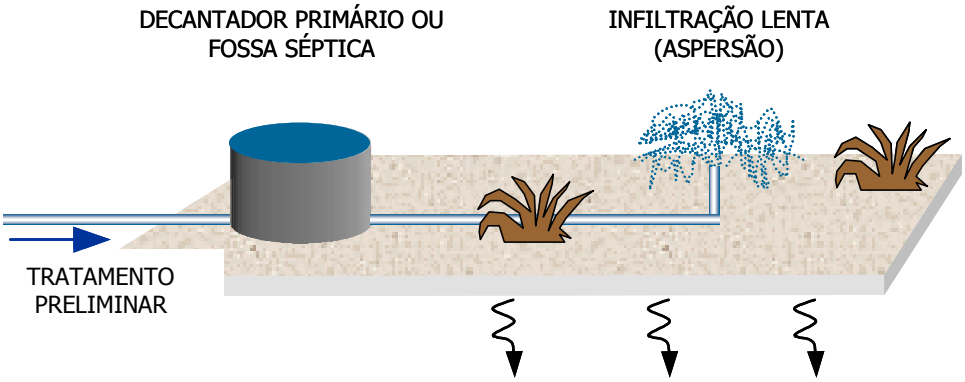


Figura 38 - Infiltração Lenta

Infiltração Rápida

Os esgotos são dispostos em bacias rasas. O líquido passa pelo fundo poroso e percola pelo solo. A perda por evaporação é menor, face às maiores taxas de aplicação. A aplicação é intermitente, proporcionando um período de descanso para o solo. Os tipos mais comuns são: percolação para a água subterrânea, recuperação por drenagem subsuperficial e recuperação por poços freáticos.

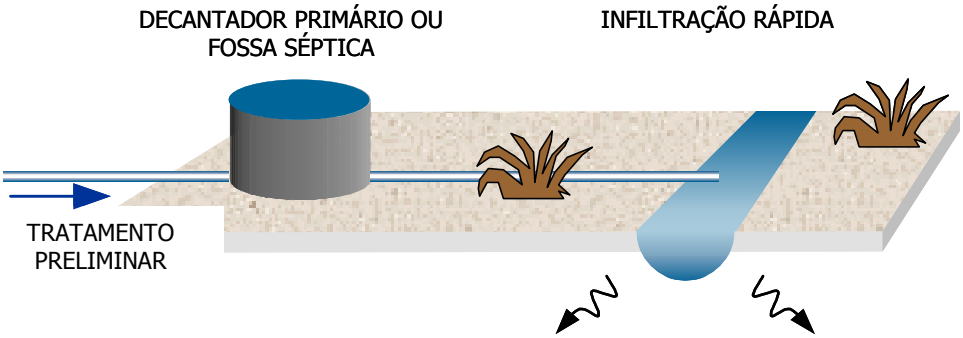


Figura 39 - Infiltração Rápida

Infiltração Sub-superficial

O esgoto pré-decantado é aplicado abaixo do nível do solo. Os locais de infiltração são preenchidos com um meio poroso, no qual ocorre o tratamento. Os tipos mais comuns são as valas de infiltração e os sumidouros.

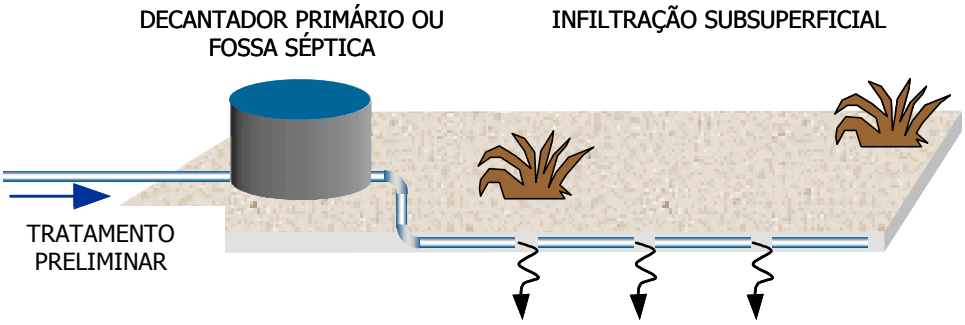


Figura 40 - Infiltração Subsuperficial

Escoamento Superficial

Os esgotos são distribuídos na parte superior de terrenos com uma certa declividade, através do qual escoam, até serem coletados por valas na parte inferior. A aplicação é intermitente. Os tipos de aplicação são: aspersores de alta pressão, aspersores de baixa pressão e tubulações ou canais de distribuição com aberturas intervaladas.

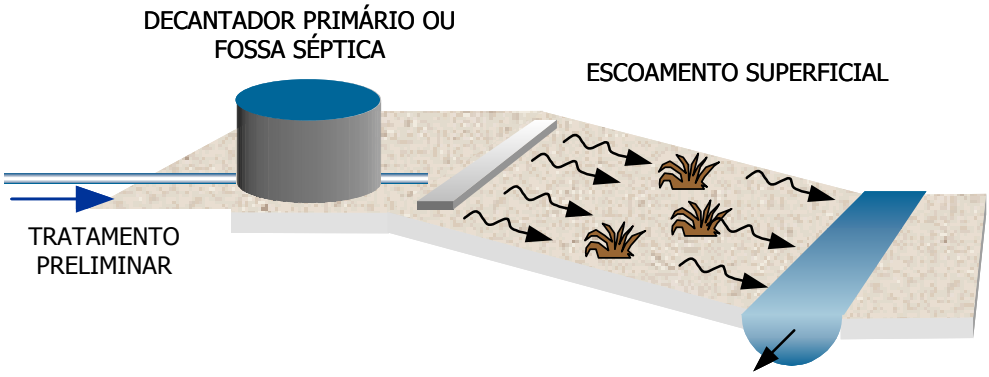


Figura 41 - Escoamento Superficial

Aplicação de lodo de esgotos ao solo

O tratamento de efluentes gera alguns subprodutos, na forma sólida, semi sólida ou líquida, que devem receber um tratamento específico antes da sua disposição final. Estes subprodutos do tratamento da fase líquida são sólidos grosseiros, areia, escuma e lodo. Destes, o lodo é o que apresenta a maior parcela e importância, devendo receber atenção particular em relação ao seu tratamento (chamado o tratamento da fase sólida) e à disposição final.

O lodo é uma mistura de matéria orgânica e inorgânica, como mostra a tabela abaixo:

Tabela 19 - Composição química e propriedades típicas do lodo.

Item	Unidade	Lodo Bruto		Lodo Primário Digerido	
		Faixa	Típico	Faixa	Típico
Sólidos Totais	%	2 - 8,0	5,0	6 - 12,0	10,0
Sólidos Voláteis	%			30 - 60,0	40,0
Nitrogênio	%	1,5 - 4,0	2,5	1,6 - 6,0	3,0
Potássio	%	0,8 - 2,0	2,6	1,5 - 4,0	2,5
pH		5,0 - 8,0	6,0	6,5 - 7,5	7,0
Alcalinidade	$CaCO_3$/L	500 -1.500	600	2.500-3.500	3.000

Fonte: adaptado de METCALF e EDDY, 1991.

Destaca-se que o lodo secundário tem natureza bastante distinta, em relação ao lodo primário. Os lodos secundários têm seus componentes, em sua maioria, gerados no reator biológico, sendo assim constituídos principalmente por microrganismos, produtos extracelulares e resíduos que não foram removidos no tratamento primário. A quantidade de lodo varia em função do tipo de despejo industrial e do sistema de tratamento utilizado.

As principais etapas do tratamento deste biossólido do esgoto são:

- adensamento;
- estabilização;
- condicionamento;
- desidratação;
- disposição final.

As formas mais usadas para a disposição do lodo são:

- aterro sanitário (a maioria da população não aceita a construção nas proximidades de suas residências);
- oceanos (retorna, polui e contamina o meio ambiente, além de ser proibido em muitos países);
- transformação em agregado leve (similar à argila expandida usada na construção civil);
- uso agrícola (a melhor alternativa, pois é quando o lodo apresenta características adequadas, isto é, quando está dentro de um padrão em relação aos nutrientes, poluentes e patógenos).

Estudos realizados constataram que os lodos de esgoto possuem todos os nutrientes exigidos pelas plantas e um alto teor de matéria orgânica, que atua como um condicionador do solo, melhorando sua estrutura. Assim, sua utilização agrícola faz com que parte do que se retira do solo retorne a ele.

Sob o ponto de vista econômico, a viabilidade do uso agrícola do lodo está relacionada à distribuição do produto final. Neste aspecto, as empresas geradoras de lodo devem ter uma estrutura centralizada de distribuição do lodo, a qual reduziria o custo de disposição final na agricultura.

Em estudos realizados no Paraná, pela Sanepar e Universidade Estadual de Londrina (UEL), em 1998, registram que, se a tarifa de esgoto fosse elevada em 1,8 centavos, de R$ 0,63 para R$ 0,648 por metro cúbico, as despesas com reciclagem agrícola do lodo seriam cobertas. Assim, os benefícios sociais dessa alternativa de reciclagem do lodo, provavelmente devem superar os gastos a ela relacionados.

A utilização do lodo de estações de tratamento de esgotos como condicionador de solos agrícolas é pratica já desenvolvida em diversos países do mundo como Estados Unidos,

Inglaterra, Alemanha, Bélgica e outros. A tabela a seguir mostra a utilização do biossólido em alguns deles:

Tabela 20 - Aplicação de biossólidos na agricultura em relação ao volume produzido

País	% do volume de biossólido produzido e utilizado na agricultura	Quantidade t/ano base seca
Bélgica	29	17.200
Dinamarca	54	92.000
França	58	502.000
Alemanha	27	724.000
Itália	33	269.000
Espanha	50	175.000
Reino Unido	44	488.000
EUA	55	3.757.965

O biossólido a ser distribuído poderá ser utilizado em qualquer cultura, exceto:

- plantas onde a parte colhida toque o solo, tais como melão, abóbora, pepino e hortaliças, a menos que a aplicação tenha sido feita a, pelo menos, 14 meses antes do plantio;
- nas de cultivo de alimentos cuja parte comestível fique abaixo da superfície do solo, tais como, batatas, cenouras, rabanetes, exceto se a aplicação do biossólido tiver sido feita antes de 38 meses do plantio.

O biossólido também não pode ser utilizado em áreas que apresentem declividade superior a 10%. Alem disso, as áreas de aplicação deverão observar as seguintes zonas de proteção:

- estar distante, no mínimo 140 metros de núcleos habitacionais e edificações de propriedade do dono da área;
- manter 50 metros a contar da margem de cursos d'água. Essa distância pode ser reduzida para 30 metros se houver mata ciliar adequada;
- estar distante 15 metros do limite de propriedades e de vias de domínio público.

O biossólido a ser entregue aos agricultores deve ter entre 20 a 30% de sólidos, ou seja, contendo ainda de 70 a 80% de água. Dependendo do implemento agrícola utilizado para a aplicação, pode ser necessário proceder uma pós-secagem do material. Essa pós-secagem pode ser feita em campo aberto, plano, espalhando-se camadas de biossólido de, no máximo, 10 cm de espessura e revolvendo-as com utilização de arados, pelo menos duas vezes ao dia. Esse processo deve ser desenvolvido em dias ensolarados, sem previsão de chuvas. Caso essas venham a ocorrer, o material deve ser imediatamente amontoado.

3.6.4 Tratamento terciário

O tratamento avançado de esgotos se refere a métodos e processos que removem do esgoto poluentes que o tratamento convencional não retém nem transforma. Esse termo pode ser empregado para designar qualquer sistema que se siga ao tratamento secundário, que modifique ou que substitua um passo do processo convencional. O termo tratamento terciário também é empregado.

A seleção de uma operação ou processo ou uma combinação de ambos depende:

- do uso a que se destina o efluente tratado;
- da natureza da água residual;
- da compatibilidade das operações e processos;
- dos meios disponíveis para o destino dos contaminantes finais;
- da possibilidade econômica destas combinações.

Em alguns casos, devido a condições externas, a viabilidade econômica pode ser um fator limitante no projeto.

Tabela 19 - Componentes típicos na água residual e seus efeitos

Componentes	Efeito	Concentração Crítica (mg/L
INORGÂNICOS		
Amônia	aumenta a demanda de cloro; tóxico para os peixes, pode se converter em nitratos e esgotar os recursos de oxigênio; como o P, pode acelerar o crescimento de plantas aquáticas indesejáveis.	Qualquer quantidade
Cálcio e Magnésio	aumenta a dureza dos sólidos dissolvidos.	250
Cloro	insere sabor salgado, interfere nos usos agrícolas e industriais.	75 – 200
Mercúrio	tóxico para os seres humanos e para a vida aquática.	0.00005
Nitrato	estimula o crescimento aquático e das algas.	0.3
Fosfato	estimula o crescimento aquático das algas, interfere no abrandamento do efluente.	0.015 0.2 – 0.4
Sulfato	ação "catárdica"	600 – 1000
ORGÂNICOS		
DDT	tóxico para os peixes e vida aquática geral.	0.001
BHC	Cancerígeno, causa problemas de odor e sabor na água.	0.02
Compostos Fenólicos	Idem	0.005-0.001
Agentes tensoativos	provocam espumas e interferem na coagulação	1 a 3

3.6.4.1 REMOÇÃO DE NITROGÊNIO

Do nitrogênio presente nos esgotos, 40% está na forma de amônia e 60% na forma orgânica e uma fração desprezível de nitrato. O conteúdo total é de 4 a 6 Kg/hab/ano. Até o tratamento secundário, se remove 40% de nitrogênio. As formas comuns de nitrogênio são: orgânico, amoniacal, nitratos, nitritos e nitrogênio gasoso.

A decomposição da matéria orgânica nitrogenada libera amônia para a solução. Sob condições aeróbias, as bactérias completam a reação oxidando a amônia para nitrito e depois para nitrato. As bactérias da nitrificação são autotróficas.

A denitrificação ocorre sob condições anaeróbias onde os nitratos são transformados em nitrogênio gasoso. Estes sistemas combinados reduzem de 80 a 95% do nitrogênio total. Os problemas de poluição relacionados com o nitrogênio são: diminuição do oxigênio dissolvido nos rios e lagos; eutrofização dos mesmos e efeito tóxico da amônia para os peixes.

– Nitrificação

Este processo envolve a oxidação da amônia em nitrato.

Os parâmetros importantes na cinética da nitrificação são: a temperatura, pH e oxigênio dissolvido. A taxa da reação se reduz com a redução da temperatura, sendo 8° C, a temperatura mínima. O pH ótimo é aproximadamente 8,4 e o teor de oxigênio dissolvido deve ser maior que 1 mg/L.

Os sistemas contínuos de aeração requerem um grande período de retenção do lodo, para evitar a perda excessiva da bactéria da nitrificação, ou seja, a taxa de crescimento dos microrganismos da nitrificação deve ser bastante rápida para repor as bactérias perdidas, através da disposição do excesso de lodo.

É possível a nitrificação juntamente com a remoção de matéria orgânica, ou seja, o efluente é nitrificado, dentro do próprio tanque de aeração do processo de lodos ativados, se o período de aeração for longo.

Na realidade, em climas frios é necessário o tratamento em dois estágios onde o primeiro somente remove a DBO e no segundo ocorre a nitrificação. Como a nitrificação biológica destrói a alcalinidade, a adição de cal pode ser necessária para aumentar o pH a um nível ótimo no tanque de nitrificação.

A nitrificação pode se dar por organismos cultivados em leito fixo ou em cultivo suspenso. O nitrogênio na forma de amônia, converte-se em nitrato em duas fases, através da ação das bactérias nitrificantes autotróficas, segundo as reações:

1ª Reação: $NH_4^+ + 3/2\ O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O$

2ª Reação: $NO_2^- + ½\ O_2 \rightarrow NO_3^-$

Reação Total: $NH_4^+ + 2O_2 \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + H_2O$

Além de obtenção de energia, parte do íon amônio é assimilada no tecido celular num processo conhecido como assimilação autotrófica.

Reação de síntese: $4CO_2 + HCO_3^- + NH_4^+ + H_2O \rightarrow C_5H_7NO_2 + 5O_2$

Se a nitrificação ocorrer num sistema de lodos ativados, são necessários alguns ajustes:

- deve-se adicionar oxigênio para o processo de nitrificação;
- deve-se empregar um tempo de detenção maior porque as bactérias de nitrificação são autotróficas, com taxa de crescimento muito mais lenta que as heterotróficas que oxidam o material orgânico;
- repor a alcalinidade.

No caso de utilizar um tanque de aeração, podem ocorrer problemas na decantação secundária devido ao entumescimento filamentoso, ou seja, bactérias que não sedimentam normalmente e se desenvolvem em ausência de nitrogênio.

- Denitrificação

Os nitratos são reduzidos para gás nitrogênio por uma variedade de bactérias facultativas num ambiente anaeróbio. Como na nitrificação os processos podem ser de cultivo fixo ou suspenso.

Os sistemas de nitrificação podem requerer uma adição de carbono para eliminar o nitrato, com um mecanismo semelhante ao da adição de oxigênio ao processo aeróbio convencional para eliminação do carbono orgânico. Qualquer excesso será notado como DBO no efluente final. Esta fonte de carbono é necessária para atuar como doador de hidrogênio e para suprir o carbono da síntese biológica. Várias substâncias podem ser usadas, como o metanol, o etanol e o açúcar.

O sistema de denitrificação consiste em um tanque com misturador submerso seguido de um decantador para separação e recirculação do lodo. O nível de agitação deve manter o floco biológico em suspensão, mas sob o controle, para evitar a aeração indesejada.

O alto custo das fontes de carbono orgânico está obrigando a utilização de processos combinados, onde a oxidação do carbono e a nitrificação - denitrificação são um processo técnico. A nitrificação - denitrificação num sistema de dois estágios, precedido por um tratamento secundário biológico, deve atingir reduções de 90% do nitrogênio inorgânico e 80 a 95% do nitrogênio total.

As vantagens da remoção biológica de nitrogênio são que o sistema de nitrificação pode ser construído para atender uma determinada remoção de amônia, adicionando-se a denitrificação no futuro, se necessário. Também o sistema é adaptável como adição, numa estação secundária inexistente.

A maioria das bactérias da denitrificação são heterotróficas facultativas, que se utilizam do metanol como fonte de carbono. As reações de obtenção de energia podem representar-se por:

1ª Fase: $6NO_3^- + 2CH_3OH \rightarrow 6NO_2^- + 2CO_2 + 4H_2O$

2ª Fase: $6NO_2^- + 3CH_3OH \rightarrow 3N_2 + 3CO_2 + 3H_2O + 6OH^-$

Reação Total de Energia: $6NO3^- + 5CH_3OH \rightarrow 5CO_2 + 3N_2 + 7H_2O + 6OH^-$

A reação de síntese pode ser esquematizada da seguinte forma:

$3NO_3 + 14CH_3OH + CO_2 + 3H^+ \rightarrow 3C_5H_7O_2N + H_2O$

3.6.4.2 REMOÇÃO DE FÓSFORO

A água residual doméstica e água de drenagem de zonas agrícolas são as principais fontes de fósforo. O fósforo é responsável pela estimulação ao crescimento de plantas aquáticas e da contribuição para a eutrofização em geral.

O fósforo da água residual pode apresentar-se nas formas de polifosfato, ortofosfato e fosfato orgânico. De 30 a 50% do fósforo encontrado no esgoto doméstico provém dos esgotos sanitários, e o restante é atribuído aos detergentes. A contribuição de fósforo total é de cerca de 1,5 Kg /pessoa/ano, resultando numa concentração média de 10 mg/L no esgoto doméstico.

O tratamento biológico remove o fósforo que é utilizado como nutriente das bactérias, mas geralmente a quantidade presente excede o valor que é assimilado pelas bactérias. A remoção está por volta dos 30%, o que acarreta depois do tratamento secundário, um residual de 7 mg de fósforo.

O fósforo é considerado o nutriente limitante no controle da eutrofização. O limite americano, máximo permitido é 1,0 mg/L. Os fosfatos e o nitrogênio orgânico são removidos da solução pela síntese das algas. Entretanto, a criação das algas, para remover nutrientes do esgoto, não provou ser efetiva. Problemas biológicos do balanço adequado da razão entre carbono, nitrogênio e fósforo, intensidade da luz solar, pH próprio e controle de temperatura, limitações físicas da grande área necessária para um período de retenção adequado a um custo elevado para remoção de algas, têm evitado a aplicação da fotossíntese como método prático para a remoção de nutrientes.

A precipitação química, empregando coagulantes de alumínio e ferro, além de cal é eficiente na remoção de fosfatos. Os íons de alumínio combinam-se com os íons de fosfato da seguinte forma:

$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14{,}3\ H_2O + 2PO_4^{---} \rightarrow 2AlPO_4 + 14{,}3H_2O + 3SO_4^{--}$

Para se alcançar 85% de remoção de fósforo, num esgoto que continha 10 mg/L de fósforo são necessários 160 mg/L de sulfato de alumínio. Para 95%, 220 mg/L. Para o ferro, são necessários 100 mg/L de $FeCl_3$ para remover 80% de fósforo do esgoto.

$5Ca^{+2} + 4OH^- + 3HPO_4^{--} \rightarrow Ca(OH)(PO_4)_3 + H_2O$

Dosagem de cal de 150 - 300 mg/L como CaO, removem 80 - 90% do fosfato, num esgoto doméstico.

3.6.4.3 TRATAMENTO UTILIZANDO CARVÃO ATIVADO

Este método é utilizado para a eliminação de compostos refratários da água residual. Para tal pode utilizar-se o carvão em grãos, disposto em leitos ou carvão em pó.

O carvão granulado é utilizado numa coluna, onde o esgoto é forçado a passar. O esgoto é introduzido na parte superior da coluna e sai na parte inferior. O carvão se mantém no seu lugar por meio de uma tela colocada no fundo da coluna. O carvão consumido é restituído de forma contínua.

Após a saturação, o carvão precisa ser regenerado, para que sua capacidade de adsorção seja restituída. O carvão granulado se regenera por oxidação da matéria orgânica e posterior eliminação da superfície do carvão num forno.

O carvão ativado também remove matéria orgânica através de adsorção e biodegradação. As moléculas em solução são capturadas na superfície porosa do carvão granulado, enquanto outros materiais são retidos através da precipitação e assimilação biológica. Teoricamente, a adsorção é o mecanismo principal pelo qual a atividade biológica regenera porções da coluna, reabrindo os pólos do carvão. O pH do efluente deve ser neutro, para entrar em contato com o carvão.

A utilização do carvão ativado em pó é um método alternativo, que pode ser adicionado ao efluente nos processos Biológicos ou separadamente em estações com tratamentos físico-químicos. Depois de adicionado ao efluente e ter decorrido um tempo para a reação, o carvão precisa ser removido. Esta reação pode ser feita por adição aos polieletrólitos e posterior filtração em leito de areia. A dificuldade da regeneração do carvão ativado em pó tem tornado restrita sua utilização.

3.6.4.4 CLARIFICAÇÃO QUÍMICA

A precipitação química no tratamento de águas residuárias exige a adição de produtos químicos, com a finalidade de alterar o estado físico dos sólidos dissolvidos e em suspensão e facilitar sua eliminação por sedimentação. Por meio da precipitação química é possível obter um efluente límpido, isento de material em suspensão ou em estado coloidal. Pode eliminar-se de 80 - 90% da matéria total suspensa, de 40 - 70% da DBO, de 30 - 60% da DQO e de 80 - 90% das bactérias.

A clarificação é feita em decantadores simples, sistemas de colchão de lodo e clarificadores dotados de equipamentos de floculação. Para ocorrer a coagulação é necessário a adição de cátions de alumínio ou ferro. Os principais são: sulfato de alumínio, aluminato de sódio, sulfato férrico e cloreto férrico. Se for necessário, pode se adicionar álcalis para recuperar a alcalinidade, como: cal hidratada, soda cáustica e carbonato de sódio.

Obs.: O ozônio também pode ser usado como coagulante, apesar de não o ser em especial, pois modifica a ação das cargas elétricas.

Algumas reações:

$Al_2(SO_4)_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow 3CaSO_4 + 2Al(OH)_3$

$Al_2(SO_4)_3 + 6NaOH \rightarrow 3Na_2SO_4 + 2Al(OH)_3$

$NaAlO_2 + Ca(HCO_3)_2 + H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + CaCO_3 + NaHCO_3$

O hidróxido de alumínio solúvel é um floco gelatinoso que sedimenta lentamente na água residual, arrastando consigo o material suspenso e produzindo outras alterações.

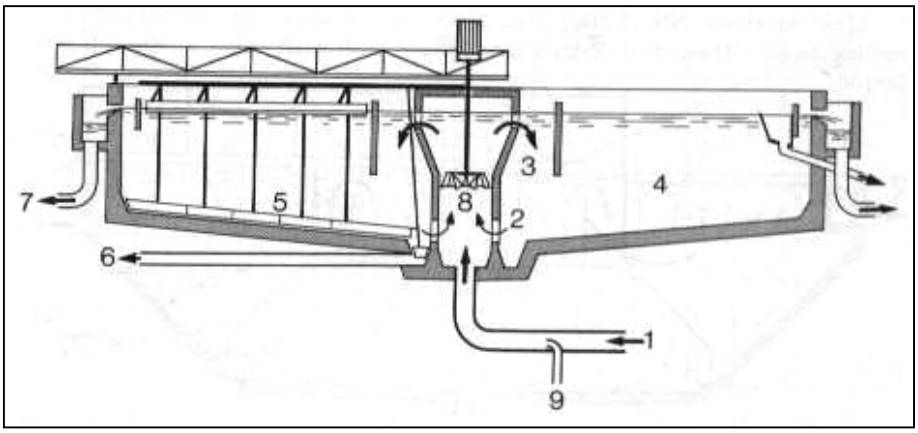
$Ca(OH)_2 + Ca\ (HCO_3)_2 \rightarrow 2CaCO_3 + 2H_2O$

Neste caso, quem atua como coagulante é o $CaCO_3$.

Podem ser adicionados, também, alguns coadjuvantes de floculação, que aumentam a eficiência dos coagulantes. Os polieletrólitos vêm se tornando os produtos mais usados, classificando-se em aniônicos, catiônicos e não iônicos. O peso molecular é muito alto, varia de 5000 a 10000. Os polímeros de cadeias longas são capazes de estabelecer ligações com as menores partículas existentes, conseqüentemente aumentando seu tamanho.

As dosagens de sulfato de alumínio variam de 150 a 500 ppm, chegando em casos extremos a 700 ppm. As dosagens de aluminato de sódio chegam 350 ppm e o cloreto de ferro pode chegar a 800 ppm.

Os produtos químicos são misturados, antes do clarificador em uma câmara de mistura, para iniciarem a coagulação. A dosagem de polieletrólito varia de 0,3 a 2,0 ppm. Em alguns casos quando se necessita de uma rápida decantação, pode ser adicionada uma solução de bentonita. A concentração de sólidos de lodo terciário está por volta de 1%, não devendo exceder muito este valor para não arrastar sólidos para o efluente final.



1 - Entrada
2 - Recirculação de lodo
3 - Floco pronto
4 - Zona de clarificação
5 - Raspadores
6 - Excesso de lodo
7 - Saída
8 - Turbina de floculação
9 - Polímero

Figura 42 - Clarificador

3.6.4.5 DESINFECÇÃO

A cloração tem sido a principal forma de desinfecção praticada nas estações de tratamento, tendo por objetivo principal a eliminação de organismos patogênicos. Além da desinfecção, a cloração pode ser praticada com vários objetivos:

- controle do odor;
- para reduzir a carga orgânica inicial numa estação de tratamento;
- para facilitar a remoção de escuma em decantadores;
- para aumentar a eficiência da decantação;
- para reduzir a carga orgânica de um efluente lançado *in natura* num corpo receptor, ou o número de organismos;
- para promover o extermínio ou o controle de organismos patogênicos;
- para reduzir o comprimento de emissários subáquaticos de esgoto;
- como elemento auxiliar ou corretivo nos processos de filtração biológica e de lodos ativados; e
- como elemento auxiliar ou de controle no tratamento e disposição de lodo.

São várias as condições que afetam a cloração. Entre as principais estão:

- a natureza dos organismos a serem destruídos;
- a natureza do desinfetante a ser usado (em termos do produto final após ser colocado na água);
- a concentração aplicada;
- a natureza do esgoto a ser tratado;
- tempo de contato do desinfetante com o esgoto;

Na cloração de esgotos os compostos mais comumente usados têm sido o cloro gasoso, o hipoclorito de cálcio e o hipoclorito de sódio.

Os hipocloritos têm sido geralmente utilizados em instalações de menor porte e o cloro gasoso nas estações maiores. Uma melhor desinfecção é obtida se utilizarmos uma pré-cloração com 20% e uma pós-cloração com os 80% restantes. Os compostos utilizados na cloração são preferencialmente: cloro gasoso, hipoclorito de sódio e cálcio. A qualidade de um efluente é definida por uma contagem média de coliformes fecais, < 200/100 mL.

Ainda podem ser usados como desinfetantes o bromo, iodo, oxigênio, detergentes sintéticos, álcoois, água oxigenada e diversos álcalis e ácidos. A literatura tem citado riscos e efeitos carcinogênicos de compostos organo-clorados e trihalometanos que são formados na água potável, resultado das reações do cloro com a matéria orgânica presente na água a ser tratada. A preocupação com a formação desses compostos tem levado ao estudo de outras formas de desinfecção ou redução do número de coliformes, como a radiação ultravioleta, a ozonização, ou o uso de lagoas de estabilização em série.

3.6.4.6 REMOÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS

O efluente que deixa os decantadores secundários pode conter ainda uma concentração elevada de sólidos em suspensão. Isto acarreta uma diminuição na eficiência do sistema em remover DBO e S.S. Torna-se necessária uma etapa terciária para a remoção destes sólidos, que pode se feita por micropeneiração, filtração ou ainda em lagoas de polimento. O micropeneiramento é um processo físico, que remove partículas com diâmetro acima de 20 a 50 um. O efluente entra num tambor rotativo, coberto com uma tela fina, na qual os sólidos se depositam e são posteriormente removidos por jatos d'água e capturados numa calha de onde são encaminhados, para fora da peneira e conduzidos ao sistema de lodos. A eliminação de sólidos suspensos normalmente está por volta dos 55%.

Os sólidos suspensos também podem ser removidos por filtração empregando leitos similares ao do tratamento de águas. Deve-se levar em conta a maior quantidade de sólidos suspensos no esgoto e a variação de vazão. Os mais empregados são os leitos duplos de areia e carvão, pois permitem a filtração ao longo de toda sua profundidade e também uma maior capacidade de retenção de sólidos. Após a colmatação do filtro é necessária a sua retrolavagem que pode ser feita com água e posteriormente com ar e água. Os filtros podem ser por gravidade ou sobre pressão, dependendo da carga hidráulica.

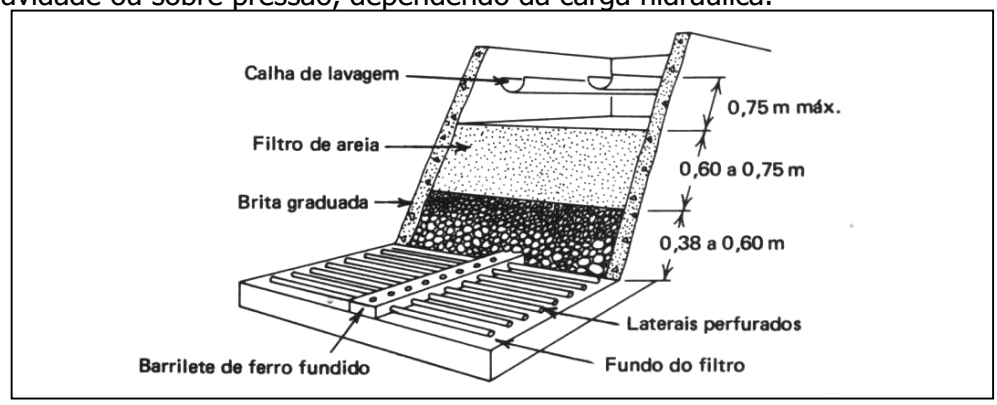


Figura 43 – Filtro de areia

Um período mínimo de filtração de 24 horas entre lavagens é desejável, sob condições normais de vazão e concentração de S.S. Quando a qualidade exigida do efluente for elevada, geralmente se torna necessário um tratamento químico, como a coagulação precedendo a filtração a fim de flocular os sólidos coloidais.

4 CONTROLE E TRATAMENTO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

4.1 Introdução

Genericamente a poluição do ar é qualquer substância (ou combinação de substâncias) presente na atmosfera que é danosa a saúde do homem ou formas de vida inferiores; ofensivas ou objetáveis ao homem interna ou externamente; ou que pela sua presença, direta ou indiretamente, afetará, adversamente, o bem estar do homem (Hommer). A contaminação da atmosfera é um fenômeno que se apresenta em escala microscópica, ainda que seus efeitos possam ser detectados a simples vista.

As unidades usuais de medida são: *mg/m*^{3}*,* μ*g/m*^{3}*, e ng/m*^{3}. Expressam-se também por meio de unidades relativas conhecidas pela sigla *ppm* (partes por milhão), que representa a concentração de um volume de composto em um milhão de volumes de diluente. Usam-se também *ppcm* (partes por cem milhões, 10^{-8}) e *ppb* (partes por bilhão, 10^{-9}).

Segundo a NBR 8969/85, ***Poluição do Ar*** é a presença de um ou mais poluentes atmosféricos e ***Poluente Atmosférico*** é toda e qualquer forma de matéria e/ou energia que, segundo suas características, concentração e tempo de permanência no ar, possa causar ou venha a causar danos à saúde, aos materiais, à fauna e a flora e seja prejudicial à segurança, ao uso e ao gozo da propriedade, à economia e ao bem – estar da comunidade. O mesmo que *contaminante atmosférico*. As causas da poluição atmosférica podem ser classificadas como: de origem natural (vulcões, queimadas, etc.); resultante das atividades humanas (indústrias, transporte, calefação, destruição da vegetação, etc.); em conseqüência dos fenômenos de combustão.

Tabela 21 – Emissões atmosféricas industriais no Rio Grande do Sul (em toneladas/dia)

Equipamento	CO	HC	NO	SO_2	Poeira
Triunfo	10.300	20.471	33.518	18.969	9.914
Porto Alegre	2.671	6.060	7.353	9.920	10.107
Canoas	408	2.922	2.880	13.634	3.710
Pelotas	215	1.619	5.331	3.273	7.711
Rio Grande	192	295	1.661	1.082	2.169
Sapucaia do Sul	4.820	1.308	1.098	3.416	11.189
Caxias do Sul	1.620	3.840	3.962	4.550	6.838
Novo Hamburgo	1.184	7.019	2.913	2.983	2.046
Guaíba	329	438	7.695	4.558	1.195

Fonte: Zero Hora, 1991.

A tabela a seguir descreve os efeitos nocivos ao ser humano e ao ambiente natural ocasionados pela emissão dos principais poluentes.

Tabela 22 – Emissões atmosféricas industriais no Rio Grande do Sul (em toneladas/dia)

Poluente	Efeitos sobre o ambiente	HC
Monóxido de Carbono (CO)	Reage com o oxigênio formando CO_2, podendo afetar o equilíbrio térmico da estratosfera.	Combina-se com a hemoglobina substituindo o oxigênio, provocando dificuldades respiratórias e asfixias.
Dióxido de Carbono (CO_2)	O aumento anormal deste gás pode elevar a temperatura da superfície terrestre e provocar alterações como, por ex. mudanças climáticas.	Em função de seus efeitos sobre o ambiente, o CO_2 pode, a longo prazo, tornar o Terra imprópria à vida humana pelo seu aquecimento.
Dióxido de Enxofre (SO_2)	O ar poluído afeta os animais e, principalmente, as plantas. A reação com vapor d´água, produz ácido (chuva ácida).	Ação irritante nos canais respiratórios, provocando tosse, agravando a asma e a bronquite crônica e atingindo outros órgãos.
Óxidos de Nitrogênio (Nox)	Contribui para a formação da chuva ácida	Agem sobre o sistema respiratório, causando irritações, e podendo ocasionar edema pulmonar.
Hidrocarbonetos (HC)	Os HC reagem quimicamente na atmosfera, formam oxidantes fotoquímicos (smog fotoquímico).	Causam irritações nos olhos e no sistema respiratório.
Material Particulado (Poeira)	Diminuição da visibilidade e das trocas gasosas nas plantas por deposição de partículas nas mesmas.	Interfere no sistema respiratório, podendo afetar os pulmões e o organismo como um todo.

Fonte: Zero Hora, 1991.

Os poluentes podem ser classificados de acordo com:

- A origem
  - primários: na forma em que são emitidos, ou seja, são lançados diretamente na atmosfera por algum processo biogênico ou antropogênico.
  - secundários: produzidos na atmosfera pela reação de outros compostos (gases permanentes, poluentes primários ou secundários) com ou sem a ação de radiação fotoquímica.
- A composição química
  - poluentes orgânicos
  - poluentes inorgânicos
- O estado da matéria
  - poluentes particulados
  - gases e vapores

4.1.1 Poluentes particulados

Tabela 23 – Tamanho de poeiras e névoas

Poeira ou névoa	Diâmetro médio da partícula (mícron)
Cabelo humano	50 – 200
Limite de visibilidade	10 – 40
Poeiras	
Atmosférica	0,5
Alumínio	2,2
Mineração de carvão – Ar de mina	0,9
Mineração de carvão – Perfuração	1,0
Mineração de carvão – Carregamento de carvão	0,8
Fumo de álcalis	1 – 5
Fumo de cloreto de amônio	0,05 – 0,1 – 1,0
Cimento	0,5 – 10 – 50
Carvão	5 – 10
Ferro-manganês ou sílica	0,1 – 1
Ar em fundições	1,2
Moinho de trigo	15
Fumaça de central térmica	0,1 – 3
Ferro (ferro gusa)	0,1 – 10
Óxido de ferro	0,5 – 2
Cal	1 – 50
Corte de mármore	1,5
Pigmentos	0,2 – 2
Jato de areia	1,4
Sílica	1 – 10
Talco	10
Fumaça de tabaco	0,2
Fumo de óxido de zinco	0,05
Zinco (jateado)	15
Zinco (condensado)	2
Mists (névoas)	
Fog atmosférico	2 – 15
Ácido sulfúrico	0,5 – 15

Fonte: MACINTYRE, 1990.

A principal origem das matérias sólidas são as combustões, tanto domésticas como industriais, assim como as atividades de construção civil. Algumas indústrias características liberam este material, tais como a de fertilizantes e a de cimento. A tabela a seguir permite uma avaliação quanto ao tamanho das partículas correspondentes a vários materiais e operações industriais.

Apresentam uma grande dispersão de tamanhos e uma constituição química variada segundo sua procedência. Atribuiu-se o nome genérico de pó àquelas partículas com diâmetro compreendido entre 1 e 1000 μm que se depositam por ação da gravidade, sendo

considerado matéria sedimentável. Se o diâmetro diminui para menos de 1 mícron, as partículas dispersas no ar constituem um aerosol especial conhecido por fumos. Este material não tende a sedimentar e é considerado matéria em suspensão.

4.1.2 Vapores e Gases

Vapores incluem gases e compostos que em geral tem um ponto de ebulição abaixo de 200 ºC. Os termos vapor e gás são, muitas vezes, usados intercambiavelmente. Em um sentido estrito, um vapor é uma substância que, apesar de presente na fase gasosa, geralmente existe como um líquido ou sólido á temperatura ambiente. Os principais poluentes gasosos e suas respectivas fontes são listadas a seguir:

Tabela 24 – Alguns poluentes gasosos típicos e suas fontes

Elemento chave	Poluente	Fonte poluidora
S	SO_2	Gases de caldeira
	SO_3	Fabricação de ácido sulfúrico
	H_2S	Processamento de gás natural
		Tratamento de esgotos
		Indústria de polpa e papel
	R – SH (mercaptans)	Indústrias petroquímicas, polpa e papel
N	NO NO_2	Fabricação de ácido nítrico
		Oxidação em alta temperatura
		Processos de nitrogenação
	NH_3	Fabricação de amônia
	Outros compostos de N, piridinas, aminas	Esgotos; clarificação de gorduras, processos com solventes
Halógenos	HF	Fertilizante fosfático; alumínio
	SiF	Cerâmica, fertilizantes
	HCl	Fabricação de HCl; combustão de PVC; processos de cloração orgânica
	Cl_2	Fabricação de cloro
C	*Inorgânico*	
	CO	Processos de combustão incompleta
	CO_2	Processos de combustão (em geral, não considerado como poluente)
	Orgânico	
	Hidrocarbonetos – parafinas, olefinas e aromáticos	Operação com solventes; gasolina; operações petroquímicas; solventes
	Aldeídos, cetonas, álcoois, fenóis e óxidos	Processos de oxidação parcial; operações de capeamento; processos petroquímicos; plásticos; óxido de etileno
	Solventes clorados	Lavagem a seco: desengraxamento

Fonte: MACINTYRE, 1990.

4.2 Controle de Emissões Atmosféricas

O controle da poluição do ar visa, por um lado, evitar que as substâncias nocivas, animadas ou não, consigam alcançar o ar (prevenção). Falhando a primeira barreira, procura-se evitar que as substâncias nocivas atinjam o homem e lhe provoquem danos (proteção). Excepcionalmente, e apenas no microambiente, consegue-se remover substâncias nocivas (tratamento). Por outro lado, visa esse controle não somente assegurar à população um conjunto de conhecimentos que lhe permita proteger-se contra elementos nocivos existentes, como também a proteger o ar, através de dispositivos tais como: ciclones, exaustores e filtros de ar.

No estudo dos problemas da poluição do ar são consideradas quatro etapas: a produção, a emissão, o transporte e a recepção de poluentes. Em cada etapa, para a redução dos riscos de poluição, podemos aplicar uma série de medidas, que podem ser classificadas em medidas diretas e indiretas.

4.2.1 Medidas indiretas de controle

Ações que visam a eliminação, redução, segregação ou afastamento dos poluentes. São medidas indiretas de controle da poluição:

- Planejamento urbano e medidas correlatas;
- Diluição através de chaminés altas;
- Medidas para impedir a geração de poluentes;
- Medidas para reduzir a geração de poluentes.

4.2.1.1 PLANEJAMENTO URBANO

- Melhor distribuição espacial das fontes emissoras: aumento da distância fonte - receptor;
- Diminuição da concentração de atividades poluidoras;
- Melhoria do sistema viário e controle da circulação desnecessária de veículos;
- Localização das fontes à jusante dos ventos predominantes;

4.2.1.2 DILUIÇÃO ATRAVÉS DE CHAMINÉS ALTAS

- Visa a redução da concentração do poluente ao nível do solo;
- Não reduz a emissão;
- Sua eficácia depende: da distribuição espacial das fontes; das condições meteorológicas e topográficas da região;
- Só é recomendável como medida adicional para a melhoria das condições de dispersão.

4.2.1.3 MEDIDAS PARA IMPEDIR A GERAÇÃO DO POLUENTE

- Substituição de: combustíveis; matérias-primas; reagentes.
- Mudança de equipamentos de processo.

Como exemplos, temos: a substituição do chumbo tetra-etila por álcool anidro na gasolina; o emprego de combustíveis com baixos teores de enxofre.

4.2.1.4 MEDIDAS PARA REDUZIR A GERAÇÃO DO POLUENTE

- Operação de equipamentos dentro da sua capacidade nominal;
- Operação e manutenção adequadas de equipamentos produtivos;
- Armazenamento adequado de materiais pulverulentos;
- Utilização de processos, equipamentos e operações de menor potencial poluidor;
- Utilização de matérias-primas e reagentes de menor potencial poluidor;
- Utilização de combustíveis de menor potencial poluidor.

4.2.2 Medidas diretas de controle

Ações que visam reduzir a quantidade de poluentes descarregada na atmosfera através da instalação de equipamentos de controle (filtros de ar, coletores de poeiras, lavadores de gases, torres de absorção, condensadores, depuradores, precipitadores hidrodinâmicos e incineradores).

4.2.2.1 CONTROLE DE MATERIAL PARTICULADO

Os equipamentos de controle de matéria particulada e névoa líquida podem ser classificados de acordo com o princípio físico ou mecânico segundo o qual o objetivo é alcançado. Assim temos:

- filtragem através de um meio poroso;
- ação de forças de inércia: coletores inerciais. Utiliza-se para modificar a linha de progressão da corrente gasosa de forma que o desvio que as partículas sofrem difira marcadamente da corrente gasosa conseguindo-se uma separação completa.
- ação da gravidade: são os coletores gravitacionais, onde a partículas sólidas e líquidas de tamanho elevado (superior a 50 μm) podem sedimentar de forma efetiva, diminuindo-se a velocidade da corrente gasosa.);
- ação das forças centrífugas: coletores centrífugos, conhecidos como ciclones. Se a modificação da linha de progressão da corrente gasosa é de forma circular, as partículas se separam devido à ação desta força.
- umedecimento ou lavagem pela água, que realiza uma ação de impactação, interceptação, dissolução, difusão e condensação. São os lavadores, as câmaras ou torres de borrifo, ou aspersão, os precipitadores dinâmicos úmidos, os lavadores Venturi: de água, de soluções, de espuma e de outros tipos. Os lavadores ou absorvedores por via úmida são designados genericamente, pelos norte-americanos, por "scrubbers";
- Ionização e atração eletrostática. São os precipitadores eletrostáticos, onde a separação se efetua mediante a carga elétrica do contaminante e sua passagem posterior através de um campo elétrico que o desvia e obriga a sedimentar.

4.2.2.2 CONTROLE DE GASES E VAPORES

Os gases e vapores podem ser controlados por:

- *Absorção* por um líquido no qual o gás seja solúvel. Baseia-se neste fenômeno físico as torres de enchimento, as torres de prato, as torres de borrifo, os absorvedores tipo Venturi, etc;
- *Adsorção*, que vem a ser a capacidade que certas substâncias que certas substâncias de alta porosidade possuem de reter determinados poluentes pela ação de forças de atração moleculares superficiais. As mais empregadas dentre estas substâncias, denominadas adsorvedoras, são o carvão ativado, a alumina ativada e a sílica-gel;
- *Incineração* de resíduos gasosos, desde que os gases resultantes não sejam, por sua vez, também poluidores. Os equipamentos, neste caso, chama-se queimadores de chama direta, os flares e os pós-queimadores catalíticos;
- *Condensação de vapores,* graças ao resfriamento dos mesmos, realizando em condensadores.

4.2.2.3 ESCOLHA DO EQUIPAMENTO A SER UTILIZADO

São inúmeros os fatores a serem considerados na escolha do equipamento mais adequado, quer sejam de ordem técnica, econômica ou ambiental. Às vezes apenas os aspectos legais definem qual será usado, mas não é comum que isto ocorra. Os fatores condicionantes que determinam a solução final são o jurídico e o sanitário. O aspecto econômico desempenha um papel secundário, o que torna pouco rentável para o industrial.

1 – CUSTOS

Os custos distribuem-se em custos de inversão e custos de operação. Os primeiros relacionam-se com a compra e instalação do sistema.

A participação destes itens no custo de inversão é:

a) Equipamento principal - 35%;

b) Equipamento auxiliar – 15%;

c) Instalação – 10%;

d) Projeto e engenharia - 10%;

e) Indiretos (transporte, impostos, etc.) – 15%.

Deve-se prever um custo adicional de 15 – 20% para a posta em marcha, amortização e imprevistos. Os custos de operação são os oriundos do funcionamento normal do sistema e dependem de inúmeros fatores, sendo os mais importantes:

a) Custos fixos (20%): impostos, seguros; depreciação; investigação e desenvolvimento (patentes e royalties).

b) Custos diretos de produção (54%): materiais; manutenção e reparos; energia.

c) Serviços gerais da planta (16%);

d) Serviços administrativos (6%);

e) Imprevistos (4%).

2 – CONCENTRAÇÃO E TAMANHO DAS PARTÍCULAS DO CONTAMINANTE

Os contaminantes em sistemas de exaustão abrangem uma faixa muito extensa de concentrações e dimensões de partículas.

3 – GRAU DE PURIFICAÇÃO EXIGIDA

Para muitos tipos de agentes poluidores, existem recomendações e regulamentos que fixam os teores de concentração e grau de purificação, dependentes naturalmente da natureza e propriedades do contaminante e do risco de dano que o mesmo possa oferecer à saúde e ao meio ambiente. No caso de centros cirúrgicos, salas de operação, unidades de tratamento intensivo, salas de curativos, etc. é necessário, além da filtragem, que o ar seja esterilizado com radiação ultravioleta, uma vez que normalmente os vírus e certas bactérias não são retidos nos filtros comuns.

Um processo de escolha adequado deveria partir da definição da eficiência mínima necessária, determinando-se a quantidade máxima permissível pela legislação e a quantidade que seria emitida (ou que está sendo) sem controle. O critério de eficiência normalizado mais utilizado em ventilação industrial, é o conceito de *eficiência gravimétrica* (ηc), definido por:

$$\eta_c = \frac{\text{massa de contaminante coletado}}{\text{massa dee contaminante que entra no coletor}}$$

A eficiência gravimétrica pode ser convertida para se expressa em termos de concentração:

$$\eta_c = \frac{Q \times Ce - Q \times Cs}{Q \times Ce} = \frac{Ce - Cs}{Ce}$$

onde: Q = vazão de ar

Ce = concentração do poluente que entra no coletor

Cs = concentração do poluente que sai do coletor]

Apesar de aparentemente ser fácil obter este valor, na prática não é bem assim, pois a eficiência é variável: com o tempo de operação, com os cuidados de manutenção, com o tamanho das partículas, com as condições do gás transportador, da umidade e etc.

4 – CARACTERÍSTICAS DO AR OU GÁS TRANSPORTADOR DO POLUENTE

Exercem um papel importante na seleção do tipo de purificador a adotar. Correntes gasosas ou de vapores acima de 80ºC impedem o emprego de coletores de tecido de algodão. A ocorrência de vapor ou a condensação de vapor d´água podem empastar ou obliterar a passagem do ar ou das partículas em coletores de pano ou tipo centrífugo. Afetam a resistibilidade elétrica das partículas e, portanto, sua precipitação eletrostática. A composição química da mistura gasosa poderá ser fator determinante da corrosão de coletores metálicos de tipo seco, e o produto químico pode tornar-se extremamente agressivo quando misturado com a água eventualmente condensada em coletores de tipo seco.

Podemos mencionar ainda, como propriedades do gás carreador as seguintes:

- Viscosidade: influi na potência requerida do equipamento mecânico e no rendimento da operação de coleta;
- Combustividade: caso o gás carreador seja inflamável ou explosivo, aconselha-se o emprego de lavadores e depuradores e não os precipitadores eletrostáticos;
- Agressividade química: os gases e vapores do gás carreador não devem reagir com o material que constitui os filtros, dutos e equipamentos.

5 – CARACTERÍSTICAS DOS CONTAMINANTES

- Concentração: uma elevada concentração ou carga de pó conduz às vezes ao entupimento de filtros e ciclones. Pode-se ter que realizar a retenção em estágios sucessivos, começando-se pela retenção das poeiras mais grossas. Numa carpintaria, por exemplo, deve ser recolher primeiramente os cavacos e só depois a serragem e o pó fino da madeira;
- Solubilidade: o rendimento de um lavador ou depurador de gases é maior quando o gás se dissolve facilmente na água.
- Combustividade: quando se pretende que o poluente seja incinerado, deve-se atender para eventuais riscos de explosão;
- Agressividade química: do mesmo modo que para o caso do gás carreador, o poluente não deverá reagir com os materiais dos filtros, coletores, ventiladores, dutos, etc.
- Agressividade biológica: a necessidade de completa assepsia em certos recintos hospitalares e nos casos já citados exige os chamados *filtros absolutos*, acompanhados do aparelho de lâmpadas bactericidas de radiação ultravioleta.

As dificuldades na escolha aparecem porque os fatores são interdependentes e, normalmente, contraditórios, ou seja, o mais eficiente é o mais caro, o mais barato ocupa uma área muito grande e/ou tem uma perda de carga excessiva, etc. Geralmente os processos de escolha nas empresas de pequeno e médio porte não são criteriosos, pois os equipamentos são escolhidos baseado apenas no menor preço.

Esta escolha pode não ser a mais adequada, mas isto só é descoberto depois e daí o investimento já está feito. Uma atitude moderna seria a empresa se perguntar, antes de comprar qualquer equipamento, se de fato a melhor alternativa é colocar algo no final do processo, e se não é possível trabalhar no processo de fabricação, para eliminar o problema na origem.

O esquema mostrado a seguir pode ser utilizado como estratégia de escolha de um equipamento de depuração do ar.

PADRÕES DE EMISSÃO

↓

DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA NECESSÁRIA

↓

DEFINIÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE EQUIPAMENTOS DE CONTROLE POSSÍVEIS

Filtro Manga	Lavador	Precipitador eletrostático	Ciclone	Absorvedor	Pós queimador

Características do gás portador
Volume
Temperatura
Umidade
Corrosividade
Odor
Explosividade
Viscosidade
Ponto de orvalho
Densidade

P R O C E S S O

Características do contaminante
Ponto de ignição
Distribuição de tamanhos
Abrasividade
Higroscopicidade
Propriedades elétricas
Concentração
Densidade
Propriedades físico-químicas

↓

Tratamento de efluentes
Possibilidades de espaço
Recuperação do produto
Disponibilidade de energia

CONDIÇÕES DA FÁBRICA

Disponibilidade de água
Recuperação de calor
Tipo de operação
Ar comprimido

↓

Estudos de engenharia
Equipamento
Equipamento auxiliar
Terreno
Edificações
Instalação
Posta em marcha
Energia

CUSTOS DE CONTROLE

Tratamento de água
Materiais diversos
Resíduos sólidos
Mão de obra
Montagem
Condicionamento dos gases
Impostos, seguros

↓

SISTEMA COLETOR ESCOLHIDO

Tabela 25 – Características dos equipamentos utilizados na depuração do ar

Equipamento	Poluente	Partículas (mícron)	Temperatura limite (ºC)	Rendimento (%)	Energia Elétrica	Água	Vapor	Combustível	Resíduo		Poluente
									Sólido	Líquido	
Coletores mecânicos [1]											
Câmaras de sedimentação		> 50	370	< 50	x				x		Poeira seca
Ciclones		5 – 25	370	50 a 90	x				x		Poeira seca
Precipitador dinâmico		> 10	370		x				x		Poeira seca
Impactador inercial		> 1	370	> 80	x				x		Poeira seca
Filtro de manga [2]	Aerossóis	< 1	260	> 99	x				x		Poeira seca
Depuradores hidráulicos											
Torres de pulverização		25	4 a 370	< 80	x	x				x	Líquido
Hidrociclone		5	4 a 370	< 80	x	x				x	Líquido
Choque		5	4 a 370	< 80	x	x				x	Líquido
Venturi		< 1	4 a 370	≤ 99	x	x				x	Líquido
Precipitador eletrostático		< 1	540	95 a 99	x				x		Poeira seca ou úmida
Lavador a gás	Gasosos		4 a 40	> 90	x	x				x	Líquido
Absorvedor a gás			4 a 40	> 97	x		x			x	Sólido ou líquido
Incineração direta			vapores 1.100 combustível 760	> 98	x			x			
Incineração catalítica			vapores 1.100 combustível 760	< 98	x			x			

[1] Bom como pré-depurador. Investimento pequeno.

[2] Mangas de pano sensíveis a umidade e a temperatura. Necessário tratamento dos resíduos.

Tabela 26 – Técnicas de controle de emissões aéreas

Tipos de técnicas	Vapores Orgânicos	Vapores Inorgânicos	Material Particulado	SOx e NOx
Incineração	x			
Adsorção	x			
Condensação	x			
Absorção	x	x		
Filtros Manga			X	x
Precipitadores Eletrostáticos			X	x
Coletores Úmidos		x	x	x
Modificações na Combustão				x
Redução Química				x

Tabela 27 – Indicações dos equipamentos conforme as aplicações industriais

Aplicações ⇨ / Produtos ⇩	Minas – Mineração	Ferro, aço – trabalhos em metal	Fundições	Indústria geral	Cimento e não-metálicos	Indústria Química	Papel e celulose	Indústria madeireira	Alimentação	Indústria têxtil	Usina de força – mineração	Centrais de aquecimento - caldeiras
Separação de pó												
Coletores dinâmicos												
Multiciclone	x	x	x	x	x	x	x				x	x
Ciclone de alta eficiência	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Bateria de ciclones	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Ciclones universais				x	x	x	x	x		x		
Ciclones para sinterização	x	x	x	x	x	x						
Separadores a úmido												
Lavadores												
Scrubbers	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	
Scrubber de alta eficiência	x	x		x	x							
SO_2 - *Scrubber*		x	x			x					x	x
Venturi	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Coletores de mangas												
Automáticos e manuais	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Reversão de fluxo de ar	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Com injeção de ar comprimido	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ventiladores axiais												
Para minas	x											
Axiais	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Vane axiais	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

Fonte: MACINTYRE, 1990

4.3 Remoção de Material Particulado

4.3.1 Introdução

As partículas em suspensão são responsáveis por um elevado número de fenômenos. Do ponto de vista da meteorologia, comportam-se como núcleos de condensação, favorecendo a formação de nuvens, modificando o microclima de algumas regiões. Do ponto de vista sanitário, são responsáveis pela formação de neblinas ácidas que representam um grave perigo para as pessoas afetadas por enfermidades bronquíticas crônicas. Exerce uma influência perniciosa sobre a vegetação, pois se depositam nas folhas, dificultando o desenvolvimento normal de muitas atividades biológicas (fotossíntese e respiração).

O problema de eliminação de partículas sólidas compreende dois aspectos fundamentais:

- captação dos gases carregados de partículas;
- retenção do pó.

Possuem importância equivalente na resolução do problema. A captação adquire uma importância especial no caso de fontes de emissões descontínuas, pois, a variação da concentração de partículas é, geralmente, muito grande, afetando a seleção e o projeto dos separadores. Logo, pode-se definir a captação como a ação de recolher o pó nas proximidades da fonte de emissão.

Uma instalação correta de captação é composta das seguintes partes:

- dispositivo de captação;
- tubulação;
- aspirador com potência necessária para a captação;
- sistema de evacuação dos gases residuais.

Um dos fatores a ser respeitado para se obter uma captação eficiente é colocar o dispositivo de aspiração o mais próximo possível da fonte emissora e o outro é envolver a zona de geração de pó o mais completamente possível.

Quanto aos equipamentos utilizados para remoção de material particulado, estes podem ser divididos em :

a) separadores mecânicos: são aqueles cujo princípio de funcionamento baseia-se na aplicação dos princípios fundamentais da mecânica-física. Existem três tipos:

- por gravidade (câmaras de sedimentação);
- os inerciais (defletores);
- os centrífugos (ciclones).

b) separadores por via úmida: são aqueles que utilizam um líquido, geralmente água pura ou soluções adequadas, que permitem recolher as partículas em suspensão ou em forma de lodo. Estes aparatos permitem também a retenção de diversos tipos de gases em função de seu projeto específico. Incluem-se neste grupo os *scrubbers* e os lavadores tipo Venturi, entre outros.

c) separadores de capas porosas: são aparatos de controle de poluição que são usados para separar partículas sólidas de uma corrente de gás. A corrente de gás, carregada de pó, passa através de um tecido trançado ou feltrado; o tecido usado para o filtro varia de algodão ao vidro. São mais conhecidos como filtros.

d) separadores eletrostáticos (filtros eletrostáticos): a precipitação eletrostática é um processo físico, segundo o qual uma partícula contida num fluxo gasoso é carregada eletricamente e, sob a influência de um corpo elétrico, é separada da corrente gasosa.

Tabela 28 – Seleção de Equipamentos para Remoção de Material Particulado

Equipamento	Faixa de diâmetro da partícula, μm	Perda de carga, pol de col. d'água	Eficiência esperada	Temp máx, °C	Preocupação com o ponto de orvalho	Efeito da densidade da partícula
Câmara de sedimentação	>150	<1	50% das partículas acima de 50μm e aprox. 95% acima de 300μm	500	pouca	Eficiência aumenta com a densidade
Ciclone	>10	-3	80% das partículas acima de 50μm e aprox. 95% acima de 50μm	500	grande, crítica	Eficiência aumenta com a densidade
Torre Spray	>3	2-7	50% das partículas acima de 3μm e aprox. 98% acima de 5μm	200 - 500	não influencia	Efeito pequeno sobre a eficiência
Lavador Venturi	>0,3 -1,0	15-30	90-99% das partículas acima de 5μm	200 – 250	não influencia	Efeito pequeno sobre a eficiência
Filtro Manga	0,5 - 1,0	1-10	95-99% das partículas acima de 5μm	200 - 250	enorme, muito crítica	Sem efeito sobre a eficiência
Precipitador eletrostático	>0,001	0,25 - 0,5	de 80% á mais de 99%	500	Crítica	Efeito pequeno sobre a eficiência

Tabela 29 - Classificação relativa entre equipamentos de remoção de material particulado

Tipo	Eficiência máxima para poeiras típicas	Custo do Capital	Custo de Operação	Δ P médio
Câmara de sedimentação	60	1	1	1
Ciclone	85	2	2	3
Lavador a jato	88	4	4	5
Precipitador eletrostático	99	10	1	1
Filtro manga	99	8	5	2
Lavador Venturi	99	5	10	10
Filtro manga (jato reverso)	99	9	9	2

Para tratar 60.000 ft^3/min de gás, com poeira, a 20ºC. 1 - menor; 10 – maior

4.3.2 Câmaras de sedimentação

Os coletores de câmara gravitacional ou de sedimentação são os mais simples e de fácil operação. Consistem, essencialmente, em uma câmara, em geral metálica, de dimensões grandes em relação à do duto que nela introduz o ar poluído, a fim de reduzir a velocidade

de escoamento, permitindo a deposição de partículas relativamente grandes (100 a 200 micra), em conseqüência do peso das mesmas. Funciona muito bem como um pré-limpador do ar poluído. Pelo fato de necessitarem de um tempo para que ocorra a sedimentação das partículas, a remoção de material particulado de pequenas e médias dimensões, acarretaria em dimensões muito grandes para a câmara, de modo, que se prefere usar a câmara gravitacional com um primeiro estágio de um coletor de filtragem, quando existirem partículas numa ampla escala de dimensões.

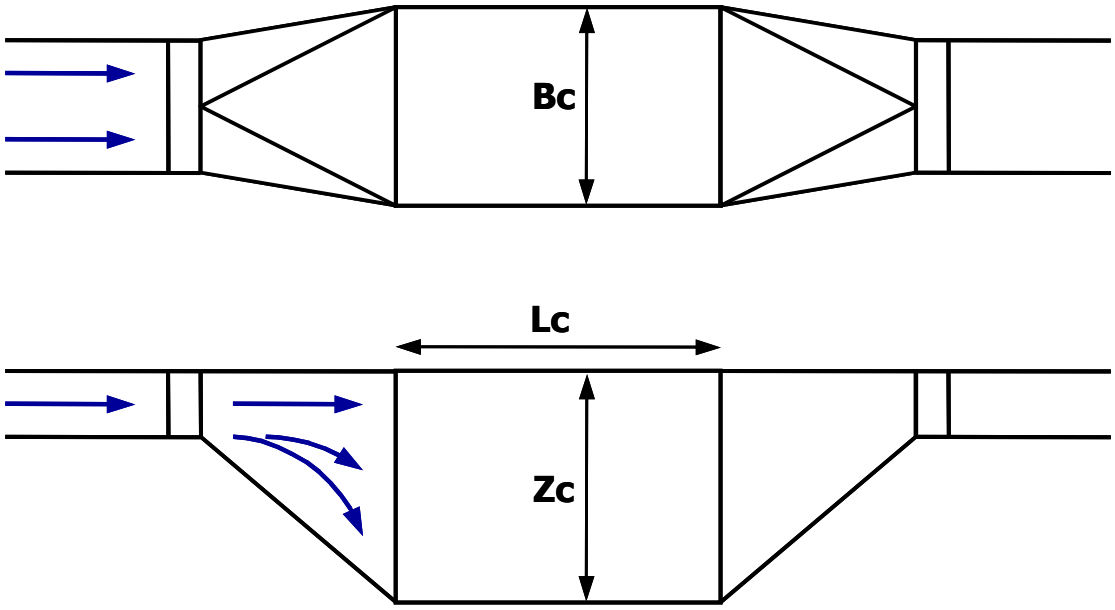


Figura 44 – Câmara de sedimentação – tipo horizontal

O critério de dimensionamento a ser utilizado é o da eficiência de 100% para a coleta de um determinado tamanho de partícula. Assim, utilizando-se os conceitos de velocidade terminal e do tempo de residência, t, pode-se escrever:

$$Lc = Va \times t$$

$$Zc = Vt \times t$$

Resultando em:

$$\frac{Lc}{Va} = \frac{Zc}{Vt}$$

Onde:

Va = velocidade média do ar na seção transversal da câmara, normalmente variando entre 1,5 a 3,0 m/s.

Vt = velocidade terminal da partícula

Deve-se salientar também que alguns parâmetros devem ser arbitrados no dimensionamento. Por exemplo, se o comprimento Lc da câmara é arbitrado, a altura Z fica definida pela equação acima e a outra dimensão Bc, fica determinada pela equação da continuidade.

Alguns cuidados importantes devem ser tomados, como:

- rearraste (velocidade < 3 m/s - velocidade crítica);
- para partículas muito grandes, calcular o tempo de aceleração até velocidade terminal (e a distância percorrida);
- evitar turbulências;
- facilidade de limpeza.

Apresentam vantagens, como:

- construção simples;
- baixo custo inicial;
- manutenção reduzida;
- queda de pressão mínima;
- qualquer temperatura e pressão;
- material é coletado seco;
- tolera abrasivos.

Se o gás escoasse em regime laminar ou viscoso, seria possível depositar partículas pequenas. Porém uma câmara que realizasse esta condição teria dimensões muito grandes e seria, portanto, antieconômica. Na prática, o escoamento nos coletores gravitacionais se realiza em regime turbulento, devido à existência de componentes verticais no movimento, o que explica a dificuldade das partículas pequenas em se depositarem. Consegue-se uma mais efetiva deposição de partículas médias e pequenas com o emprego de câmaras gravitacionais múltiplas, nas quais o escoamento se aproxima do regime laminar. O esquema a seguir mostra a remoção de material particulado numa câmara de sedimentação múltipla.

Remoção em cada câmara de sedimentação

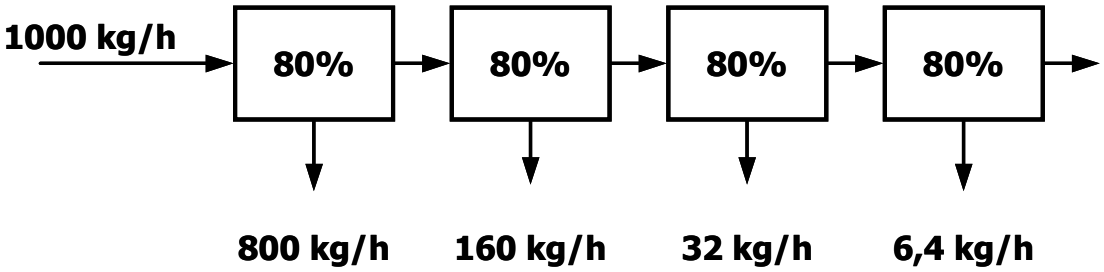


Tabela 30 - Custo de cada câmara

CUSTO	kg/h COLETADO	CUSTO/kg COLETADO	AUMENTO
50.000	800,0	62,5	-
50.000	160,0	312,5	5x
50.000	32,0	1.562,5	25x
50.000	6,4	7.812,5	125x

São utilizados como pré-coletores em indústrias alimentícias (cascas e películas), na coleta de cinzas de carvão e em operações de refino de metais. Para reduzir o percurso das partículas, coloca-se uma série de superfícies em forma de estantes, de forma a aumentar a eficiência de remoção, embora dificultem a limpeza. Apresentam baixo rendimento e grandes necessidades de espaço, podendo ser utilizadas como equipamentos de limpeza prévia em série.

4.3.3 Coletores inerciais

Devido à inércia, uma partícula tende a conservar sua trajetória retilínea, e esta trajetória só terá sido alterada pela aplicação de uma força ou oposição direta por um obstáculo (que realiza o papel de uma força em oposição ao deslocamento da partícula). Com base nisto constroem-se câmaras em que se faz desviar o sentido do fluxo e onde as partículas mais pesadas, pela sua maior inércia, seguem em linha reta, caindo em um dispositivo de captação. Funcionam satisfatoriamente para partículas de no mínimo 50 a 200 micra,

conforme o tipo e tamanho do coletor. O rendimento das câmaras inerciais é aproximadamente o mesmo que o das câmaras gravitacionais. São utilizadas, em geral, para coletar as partículas de maior tamanho e elevado peso específico, funcionando como pré-coletores, de modo a reduzir a carga de coleto no coletor principal. Apresentam vantagens, como:

- Requerem pouca potência dos ventiladores;
- Podem ser utilizadas com gases em temperaturas elevadas;
- São de fácil construção e
- Possuem baixo custo.

Existem equipamentos que funcionam somando os efeitos da inércia e do impacto. A figura ao lado mostra o esquema de um separador de grade que ilustra tal situação. Empregam-se estes sistemas na captação de partículas de diâmetro superior a 20 μm, pois são usados como separadores prévios.

As principais *vantagens* destes equipamentos são:

- facilidade de construção;
- pequena perda de carga;
- baixo custo de operação e manutenção;

E as *desvantagens* são:

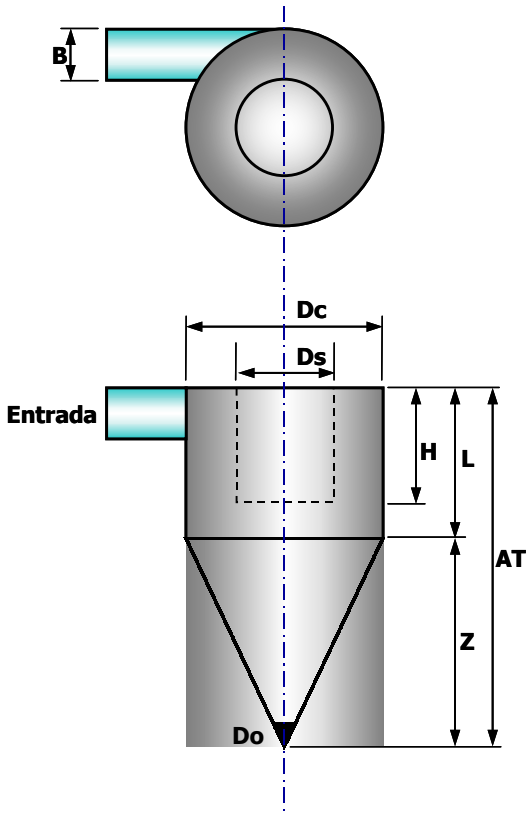
- limitações de pressão e temperatura de operação;
- tendência das partículas a acumular-se nos obstáculos;
- dificuldades de limpeza;
- fenômenos de abrasão oriundos da velocidade de choque das partículas com os obstáculos.

4.3.4 Ciclones

São coletores centrífugos, onde se estabelece um movimento rotatório para o gás, de modo que a força centrífuga aplicada às partículas, sendo maior que as forças de coesão molecular e da gravidade, faz com que as mesmas sejam lançadas de encontro às paredes, retirando-as da massa gasosa em escoamento.

Os ciclones são classificados de acordo com a entrada dos gases, isto é, tangencialmente ou axialmente. Nos ciclones axiais o gás penetra no meio do equipamento, enquanto que nos tangenciais, o gás a ser tratado entra por uma abertura localizada na parte superior do ciclone. Destes dois tipos de ciclones o mais utilizado é o tipo tangencial, onde o gás penetra tangencialmente à periferia da parte superior de um cilindro ou cone, de modo a criar um fluxo helicoidal descendente que, ao atingir a parte inferior de um cone, retorne como um fluxo helicoidal ascendente central até a boca de saída na parte superior do cilindro. As forças centrífugas decorrentes deste movimento helicoidal projetam as partículas sólidas de encontro às paredes, de onde caem até o cone inferior que as coletas e de onde são removidas.

No ciclone, as partículas gasosas realizam, como foi dito, um movimento seguindo uma trajetória helicoidal, mas, ao atingirem o trecho inferior do cone, iniciam um movimento helicoidal ascendente, chegam ao cilindro por onde iniciaram o escoamento e saem pela boca superior do ciclone. Estabelecem-se, assim, dois turbilhões no interior do ciclone: um periférico externo descendente e um central ascendente. A figura a seguir mostra um esquema típico de um ciclone tangencial.



Onde:
L - altura do cilindro;
Z - altura do cone;
AT - altura total;
Dc - diâmetro do ciclone;
Ds- diâmetro da saída de gás;
Do - diâmetro da saída de pó;
H - altura do corpo.

Figura 45 - Esquema de um ciclone tangencial típico

Teoricamente se demonstra e praticamente se comprova que:

- para partículas de pequeno tamanho, os ciclones de cilindro e cone de grande comprimento em relação ao diâmetro são mais eficazes;
- para partículas de diâmetro superior a 60 micra, como é o caso do pó de esmeril e politriz, serragem de madeira e fibras têxteis, recomenda-se os ciclones com diâmetros 3,5 a 5 vezes o diâmetro do duto de entrada do ar.

Vantagens:

- simples, fáceis de construir e com custo inicial baixo;
- aceitam pressões e temperaturas elevadas;
- não tem partes móveis, manutenção baixa;
- aceitam concentrações altas.

Desvantagens:

- eficiência baixa para partículas inferiores a 5 micra;
- queda de pressão relativamente alta;
- têm problemas de erosão (necessitam de proteção no local do 1º impacto: cimento, borracha, etc).

Os ciclones podem ser dispostos em série ou em paralelo. Quando temos um grande número de pequenos ciclones em paralelo, chamamos de multiciclones, que devidamente dimensionados podem atingir eficiências de remoção da ordem de 80%. Consequentemente em muitas aplicações eles são usados como equipamentos primários de retenção. São usados em geral, para a coleta de material particulado ou fibroso.

4.3.5 Filtros

São aparatos de controle de poluição que são usados para separar partículas sólidas de uma corrente de gás. A corrente de gás, carregada de pó, passa através de um tecido trançado ou feltrado; o tecido usado para o filtro varia de algodão ao vidro. Os filtros de tecido (usualmente chamados de filtro manga) são os mais utilizados, existindo ainda os filtros em painéis compactados ou mantas e os de carvão ativado.

O tipo de tecido usado depende das condições operacionais tais como temperatura, queda de pressão, degradação química ou física, métodos de limpeza e, naturalmente, custo e tempo de vida do tecido. Os sacos de filtro são normalmente tubulares ou em forma de envelope e são capazes de remover mais de 99% das partículas até 0,3 μm, assim como quantidades substanciais de partículas tão pequenas quanto 0,1 μm. Os sacos de filtro variam 1,8 a 12 m em comprimento e 0,1 a 0,4 m em diâmetro. A eficiência de um filtro de capa porosa depende, fundamentalmente, do raio da partícula. Para um diâmetro dado, a eficiência cresce quando o tamanho do poro do material diminui.

Geralmente esta capa porosa está formada por um conjunto de superfícies convenientemente perfiladas e recobertas, em alguns casos, de um líquido aderido e, geralmente, precisam de uma limpeza periódica. O ar normalmente penetra pela parte interna, quando a boca do saco fica embaixo e sai, deixando as impurezas no lado de dentro.

Os filtros de manga em geral são dispostos em baterias ou conjuntos, de modo a se conseguir a área de filtragem necessária. A instalação nessas condições em um compartimento ou edificação constitui um *bag-house*. Existem *bag-houses* com capacidade muito grande, como um para 2,1 milhões de cfm.

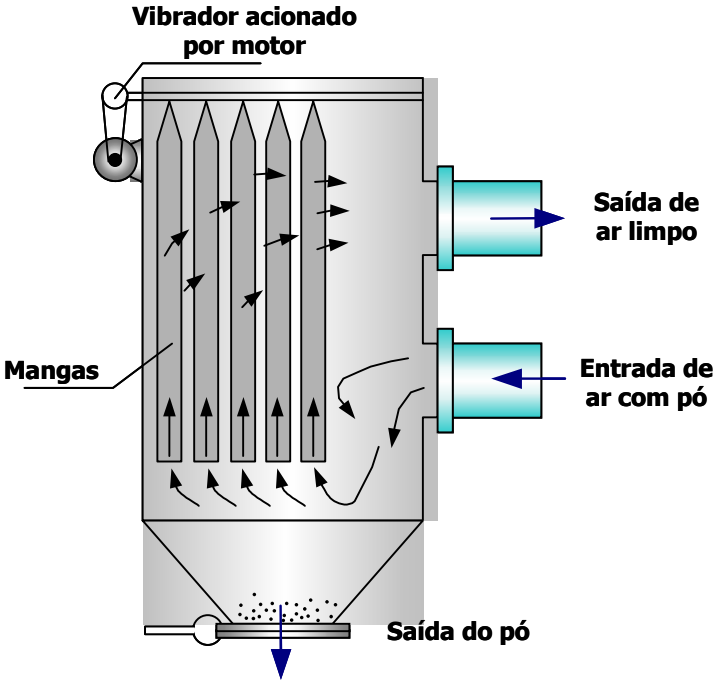


Figura 46 – Esquema de um filtro-manga

Os fenômenos que interferem na operação são:

- *efeito de peneiramento*, que está relacionado ao tamanho das partículas e ao tamanho do poro do meio filtrante;
- *efeito de impacto*, que tem relação com mudanças de direção no interior dos canais da capa porosa. Pode ocorrer também quando a partícula passa a uma distância das paredes menor que o seu raio;
- *efeito de difusão*, que se baseia no movimento browniano das pequenas partículas, as quais são jogadas contra as paredes dos canais, sofrendo coagulação.

Vantagens:

- pode ser alcançada eficiência alta
- a eficiência e a queda de pressão não são afetadas por variações na concentração
- ar filtrado pode ser recirculado

- material é coletado seco para uso posterior
- não existem problemas de poluição de água
- corrosão, normalmente, não é problema
- permite construção modular.

Desvantagens:

- as presenças de ácidos e/ou altas temperaturas diminuem muito a vida útil
- as mangas para altas temperaturas são muito caras
- alguns pós podem acidentalmente queimar as mangas - Explosão
- manutenção e troca das mangas aumenta custos de operação

A seguir são mostradas as principais características dos tecidos mais utilizados.

Tabela 31 – Propriedades dos tecidos

Tecido	Temperatura aceitável (ºF)		Resistência a ácidos	Permeabilidade (cfm/ft^2)
	Longo Período	Curto Período		
Algodão	180	225	pobre	10-20
Lã	200	250	muito boa	20-60
Nylon	200	250	razoável	15-30
Orlon	240	275	boa	20-45
Dacron	275	325	boa*	10-60
Polipropileno	200	250	excelente	7-30
Nomex **	425	500	boa	25-54
Fibra de vidro***	550	600	boa	10-70
Teflon **	450	500	muito boa	15-65

* dissolve em ácido sulfúrico
** muito caro
*** atacado por flúor

A) Algodão: È uma fibra de celulose não termoplástica. É um tecido de baixa temperatura com uma temperatura de operação recomendada de 180 ºF. A resistência aos ácidos é bem pobre e é atacada por ácidos diluídos e quentes. Apresenta uma excelente resistência aos álcalis. É uma fibra relativamente inelástica. A resistência à abrasão é considerada média e este tecido está disponível na forma trançada.

B) Dacron: O dacron é uma fibra de poliéster. É superior a maioria dos outros sintéticos sob condições de calor seco. Porém, sob condições de calor úmido é sujeito a degradação hidrolítica. A temperatura de operação recomendada é 275 ºF para longas exposições, suportando 300 ºF quando a temperatura oscila esporadicamente. Possui boa resistência a maioria dos ácidos orgânicos e minerais exceto para altas concentrações de ácidos nítrico, sulfúrico e carbônico. Quando expostos a álcalis fracos, tem boa resistência, mas exibe somente resistência moderada a álcalis fortes a baixas temperaturas. Quando exposto a maioria dos agentes oxidantes, o Dacron apresenta boa resistência química. Finalmente, é bastante resistente a maioria dos solventes orgânicos, assim como a abrasão e não sustenta combustão. Uma das formas em que está disponível é a trançada.

C) Fibra de Vidro: É uma fibra manufaturada na qual a substância formadora de fibra é vidro. A temperatura de operação recomendada é de 500 ºF com oscilações até 600 ºF. O vidro é resistente à ácidos de potência normal sob condições comuns. É atacado pelos ácidos fluorídrico, sulfúrico concentrado e fosfórico quente. A resistência global a álcalis é pobre. Fluoretos e óxidos de enxofre são particularmente danosos ao vidro. Este material está disponível como um filamento, filamento e texturizado ou filamento e formas trançadas.

D) Nylon: É uma fibra manufaturada na qual a substância formadora da fibra é qualquer poliamida sintética de cadeia longa. Até 205 ºF tem boa resistência ao calor seco e até 225 ºF ao calor úmido. A maioria dos ácidos minerais causa degradação e decomposição parcial. Tem boa resistência aos álcalis sob quase todas as condições. Possui uma destacada resistência a abrasão e é superior a todas as outras fibras. Suporta combustão e é dimensionalmente estável, sendo disponível na forma trançada.

E) Lã: É uma fibra animal comumente referida como material protêico. A máxima temperatura de operação é 200 ºF. É atacada por ácido sulfúrico quente e decompõe-se completamente. É geralmente resistente a outros ácidos minerais, apesar que o ácido nítrico tende a causar dano por oxidação. Sensível a substâncias alcalinas, possui resistência média a abrasão. Quando exposta a uma chama, a lã queimará, porém não sustenta a combustão. É disponível na forma trançada.

Estes filtros são usados na captação de poeiras de moagem, mistura e pesagem de grãos de cereais; moagem de pedra, argila e minerais; trituração de cimento; limpeza por abrasão; pesagem e peneiramento de produtos químicos em grãos; trabalhos em madeira, curtumes, fertilizantes, papel, etc.

Quando a concentração de partículas é muito elevada, usa-se, antes do filtro, um separador do tipo inercial para retenção das partículas maiores.

Para a limpeza do filtro, são empregadas as seguintes soluções:

- agitação ou raspagem das magnas manual ou mecanicamente, após a interrupção da passagem do ar;
- limpeza das mangas ou sacos pela introdução de ar comprimido, em sentido contrário. É os sistema de *fluxo reverso*

A velocidade do ar em contracorrente oscila entre 4,5 e 2 m/s em função das características do problema. É muito importante respeitar os períodos de trabalho e limpeza pois a negligência nesta última operação diminui sensivelmente a vida do equipamento.

Dados empíricos sobre a eficiência de limpeza:

85% removido em 5s

+3% mais 30s

+1% mais 2 min

Objetivos e cuidados na limpeza das mangas:

- Remover rapidamente as quantidades desejadas de material depositado na manga
- Deixar um depósito residual para permitir uma alta eficiência logo após a limpeza
- Evitar danos ao tecido ou gasto excessivo de energia durante a limpeza
- Evitar dispersão excessiva da poeira separada de maneira tal que não precise ser refiltrada
- As temperaturas de operação devem ser inferiores a 250 ºC, pois podem ocorrer problemas de abrasão e incêndio dos sacos.

4.3.6 Precipitadores eletrostáticos

Nestes coletores o ar se ioniza ao ser submetido a uma alta diferença de potencial estabelecida entre um fio ionizador (carregado negativamente) e uma placa coletora (carregada positivamente). Devido a elevada tensão, imensa quantidade de elétrons saem do fio e bombardeiam as moléculas de gás próximas ao mesmo. A potência deste bombardeio forma íons gasosos positivos e negativos. Os íons se deslocam para os eletrodos de carga oposta aos do fio devido ao intenso campo elétrico formado. Os íons positivos voltam para o fio negativo e recuperam seus elétrons perdidos; os íons gasosos negativos se dirigem para o eletrodo ligado à terra, o que faz com que a passagem do gás fique inundada de íons negativos.

A medida que as partículas de poeira conduzidas pelo gás atravessam as passagens, elas se chocam com os íons gasosos negativos e assim se carregam negativamente. Como os íons gasosos são imensamente mais numerosos e muitíssimo menores que as partículas, por menores que elas sejam, haverá suficientes cargas elétricas para solucionar quase todos os problemas de purificação de ar com poeiras. As partículas de poeiras carregadas negativamente se dirigem rapidamente às placas de potência igual à da terra, e ali se prendem, retidas por intensas forças eletrostáticas. Para que isto aconteça com eficiência, em escala industrial, os contaminantes devem apresentar propriedades elétricas adequadas.

As partículas de poeira formam sobre os eletrodos uma camada que vai aumentando de espessura e que vai cada vez mais oferecendo resistência à passagem da carga para o eletrodo terra. Esta resistência da poeira à passagem da corrente denomina-se de "resistividade da poeira".

A figura abaixo mostra como um precipitador eletrostático remove particulados dos gases ao passarem por ele.

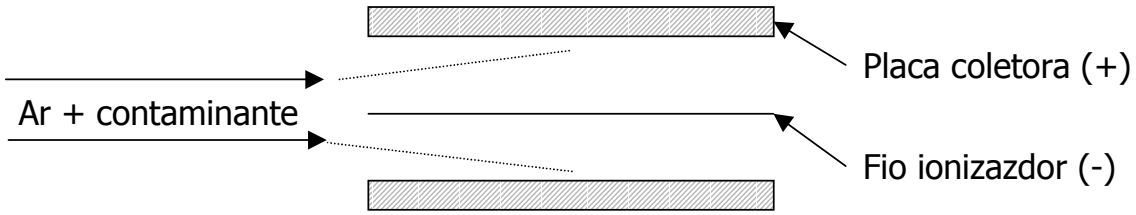


Figura 47 – Princípio de funcionamento de um precipitador elestrostático

Os precipitadores eletrostáticos são comumente classificados em função da diferença de potencial aplicada para a ionização do ar:

- *Precipitadores de baixa tensão*: utilizam tensões variando entre 10 e 30 kV, e são empregados em aplicações comerciais e até mesmo residenciais.
- *Precipitadores de alta tensão*: operam com tensões acima de 30 kV, indicados para usos industriais.

Os precipitadores eletrostáticos são apropriados para a retenção de particulados muito finos, com diâmetros inferiores a 100 μm, apresentando eficiência acima de 90%.

Com relação a forma construtiva, cabe observar que o espaçamento entre as placas coletoras é da ordem de 20 a 30 cm, fazendo com que os precipitadores ocupem grande espaço físico. A velocidade do ar entre as placas varia entre 1,5 a 3,0 m/s, apresentando como consequência, pequenas magnitudes de perda de carga. Em aplicações normais, valores da ordem de 98 a 147 Pa podem ser esperados, o que representa, portanto, cerca de um décimo daqueles encontrados para os filtros de mangas.

Os precipitadores eletrostáticos apresentam as seguintes vantagens:

- produzem pequena perda de carga;
- facilidade de limpeza por meio de vibração das placas coletoras pela ação de marteletes mecânicos;
- possibilidade de adaptações de células adicionais;
- vida útil bastante longa e
- são apropriadas para operarem em processos quentes.

Desvantagens:

- custo inicial elevado;
- só serve para material particulado, embora este possa ser muito fino e
- ocupa espaço muito grande.

Apesar do princípio de operação ser bastante simples, os precipitadores eletrostáticos são equipamentos de construção bastante complexa, exigindo, como é de esperar, o conhecimento tecnológico por parte dos fabricantes.

4.3.7 Lavadores

Também chamados coletores úmidos, destinam-se à captação de pó ou de gases poluentes, mesmo em temperaturas elevadas. Existem no mundo, atualmente, 15 categorias de lavadores, sendo 20 a 30 modelos para cada tipo.

Quando se trata da captação de pó, a lama ou lodo que se formam são removidos com facilidade, podendo em certos casos, o pó ser reaproveitado, após secagem ou filtragem do mesmo em filtro-prensa. Tratando-se de gases solúveis, após a dissolução na água submete-se cada gás a um tratamento químico próprio, a fim de ser obtido um sal ou composto insolúvel, o qual é filtrado para remoção e destinação final da pasta ou lama formada.

Os lavadores do tipo torre com enchimento (*scrubber*) têm o seguinte funcionamento: o ar atravessa, de baixo para cima, uma camada de enchimento, que em certos casos lembra uma colméia e é fabricada, em geral, de polipropileno, poliestireno, fibra de vidro ou aço inoxidável, a qual recebe o borrifo de água de aspersores colocados acima do enchimento.

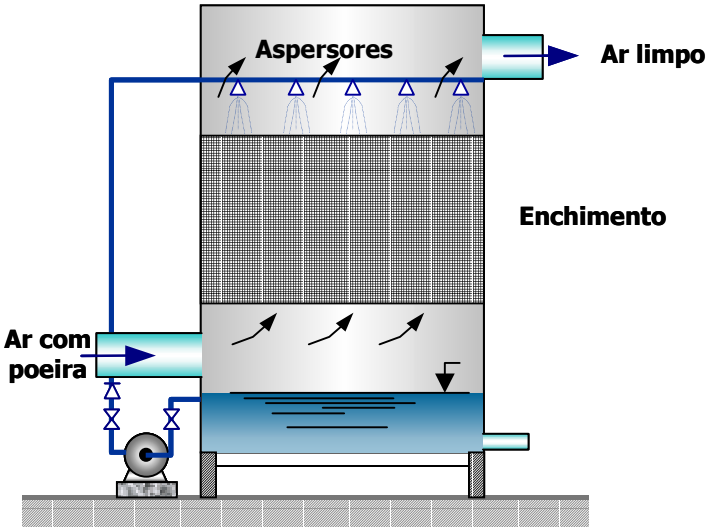


Figura 48 – Lavador com torre de enchimento

4.4 Remoção de Gases e Vapores

4.4.1 Introdução

São de difícil remoção, aplica-se a gases inorgânicos e orgânicos. Os inorgânicos mais comuns são: CO, SO_2, H_2S, NO_2, NH_3, F_4Si, CL^-, HCl. Os orgânicos são principalmente os hidrocarbonetos. São oriundos de processos de combustão, evaporação, químicos, naturais e etc.

O controle dos gases é basicamente igual ao das partículas, onde devemos: modificar ou trocar processos, coletar (absorção ou adsorção), alterar quimicamente, melhorar a dispersão. A modificação de processo pode ser um maior cuidado com a produção, eliminando pontos de fuga, com o uso de solventes menos tóxicos (tinta base água), troca de insumos e etc.

4.4.2 Combustão

A maioria dos vapores orgânicos pode ser queimada. Combustão é uma oxidação rápida. Produtos teóricos: CO_2 e H_2O. Se não houver recuperação de calor, o alto custo de energia pode inviabilizar.

No processo, a temperatura atingida e o tempo de residência são fundamentais. Deve haver controle do teor de oxigênio (má combustão, fuligem, CO, hidrocarbonetos não queimados). A temperatura de ignição depende de agentes externos. Após, a velocidade de reação aumenta exponencialmente com a temperatura.

4.4.2.1 COMBUSTÃO CATALÍTICA

Apresenta grande vantagem econômica pois não necessita de catalisadores caros. Os veículos já saem equipados da fábrica. É uma reação de superfície. Com platina, o H_2 pode ser queimado com temperatura ambiente.

Tabela 32 - Alguns exemplos de oxidação catalítica:

Contaminantes gasosos	Temperatura requerida para oxidação catalítica
Aldeídos, Antracenos	310 –370 °C
Fenol	310 – 430 ºC
CH_4, CO, HCHO	345ºC

Os catalisadores não admitem poeiras e metais pesados. A reação exotérmica pode ser usada para preaquecer os gases sujos. Com freqüência, os custos da câmara de combustão para a incineração catalítica são menores pois as temperaturas são menores e não precisam aço inox ou refratários. O recuperador de calor também pode ser mais barato. A manutenção é maior pois o leito fica sujo e precisa ser reativado. Cuidado com o PVC e outros compostos clorados. A incineração pode produzir produtos perigosos.

4.4.3 Adsorção

Começa a ser cada vez mais usado. Carvão ativado é um exemplo claro. O processo tem três fases: coleta, retenção e separação. A adsorção ocorre na superfície, enquanto a absorção penetra no interior da outra fase. A adsorção é um fenômeno espontâneo, tende ao equilíbrio.

Não existem forças de adsorção específicas; as principais são: as forças intermoleculares e as forças químicas (troca de elétrons). A adsorção pode ser física ou química, não existe um limite muito claro. É muito mais difícil separar moléculas adsorvidas quimicamente. Para acelerar o processo de adsorção, é necessário aumentar a superfície do sólido. A maneira mais eficiente é criar grande número de micro-capilares. No equilíbrio, o número de moléculas que ficam retidas é igual ao número de moléculas que estão saindo. O número de moléculas que são adsorvidas depende fundamentalmente da temperatura e da pressão.

O uso de adsorvedores ou leitos de adsorção para controle de poluentes é um processo dinâmico. O gás sujo é passado por um leito contendo o material adsorvente e o poluente vai ficando retido. O processo de adsorção no leito é gradual e a área ativa vai avançando até ocorrer o *breaktrough*. Quando então a concentração de saída cresce rapidamente.

Finalmente quando todo o leito está saturado, a concentração de saída se iguala à da entrada.

São parâmetros importantes:

- Concentração de entrada (poluente)
- Vazão de gases sujos
- Espessura do leito
- Tipo de adsorvente
- Porosidade (determina queda de pressão)
- Temperaturas
- Concentração de outros contaminantes que não devem ser removidos (umidade).

As moléculas retidas podem ser polares e não polares. Os materiais variam: sílica, gel e alumina são boas para água e carvão ativado é bom para vapores orgânicos. Com raras exceções, são usados outros materiais: vapores de mercúrio reagem com iodo impregnado em carvão ativado.

Os parâmetros que interessam, em relação ao material, são; as relações superfície - volume e superfície - peso, e a distribuição do tamanho dos poros. A espessura do leito também é importante, pois quanto maior, maior será a capacidade global de adsorção. A espessura do leito geralmente fica limitada pela perda de pressão e velocidade.

O efeito da temperatura é muito importante, pois quanto menor a temperatura maior a adsorção. O calor de adsorção aumenta a temperatura do leito, diminuindo a sua capacidade de adsorção. A presença de outros contaminantes é prejudicial, pois são concorrentes e ocupam a superfície disponível. Os dois mais importantes são o CO_2 e a umidade.

4.4.4 Controle de odores

Tabela 33 – Compostos que comumente causam problemas de odor

Composto	Limite de Percepção (ppb)
Clorofenol	0,18
Sulfeto de Etila	0,25
Sulfeto de Hidrogênio (ovo podre)	0,40
Dimetil Sulfeto (alho)	1,0
Etil Mercaptana	1,0
Metil Mercaptana (couve podre)	1,1
Escatol (fezes)	1,2
Nitrobenzeno (amêndoa)	4,7
Fosfina (peixe podre)	21
Fenol	47
Estireno	47
Acetaldeido	210
Acroleina	210
Dissulfeto de Carbono	210
Metil Metacrilato	210
Cloro	310
Dióxido de Enxofre	470
Cloreto de Alila	470
Metil Isobutil Cetona (cânfora)	470
Formaldeido (formol)	1.000
Fosgênio	1.000
Percloroetileno	4.680
Ácido Clorídrico	10.000
Metil Etil Cetona	10.000
Metanol	100.000

5 O LICENCIAMENTO AMBIENTAL

O licenciamento ambiental é um dos instrumentos exigidos para a implantação de atividades. Trata-se de um instrumento prévio de controle ambiental para o exercício legal de atividades modificadoras do meio ambiente.

A Constituição Federal, ao estabelecer as competências das esferas de governo, dedicou em seus artigos 23 e 30, especial atenção às questões ambientais.

No artigo 23, são estabelecidas como competências comuns da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, em especial, nos incisos:

VI – proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas;

XI – registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais em seus territórios.

No artigo 30, inciso I, está definido que cabe aos Municípios, legislar no interesse local, de caráter exclusivo. Essa divisão de competência visava evitar a existência de conflitos na aplicação de uma norma ambiental, pois cada ente da federação tem, em princípio, seu campo de atuação definido. Contudo, poderia haver normas que se contrapunham, configurando conflito de competências e então, com certeza, uma delas seria inconstitucional. Contudo, em qualquer momento deveria prevalecer a garantia do direito do meio ambiente ecologicamente equilibrado.

A lei 6.938/81 estabelece em seu artigo 9º, os instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente e no artigo 10º, trazem definições sobre licenciamento:

ART.9 - São Instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente:

I - o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental;

II - o zoneamento ambiental;

III - a avaliação de impactos ambientais;

IV - o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras;

V - os incentivos à produção e instalação de equipamentos e a criação ou absorção de tecnologia, voltados para a melhoria da qualidade ambiental;

VI - a criação de espaços territoriais especialmente protegidos pelo Poder Público federal, estadual e municipal, tais como Áreas de Proteção Ambiental, de Relevante Interesse Ecológico e Reservas Extrativistas;

Inciso VI com redação determinada pela Lei n.º 7.804, de 18/07/89.

VII - o sistema nacional de informações sobre o meio ambiente;

VIII - o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;

IX - as penalidades disciplinares ou compensatórias ao não cumprimento das medidas necessárias à preservação ou correção da degradação ambiental;

X - a instituição do Relatório de Qualidade do Meio Ambiente, a ser divulgado anualmente pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA;

Inciso X acrescentado pela Lei n.º 7.804, de 18/07/89.

XI - a garantia da prestação de informações relativas ao Meio Ambiente, obrigando-se o Poder Público a produzi-las, quando inexistentes;

Inciso XI acrescentado pela Lei n.º 7.804, de 18/07/89.

XII - o Cadastro Técnico Federal de atividades potencialmente poluidoras e/ou utilizadoras dos recursos ambientais.

Inciso XII acrescentado pela Lei n.º 7.804, de 18/07/89.

ART.10 - A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, considerados efetiva ou potencialmente poluidores, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento de órgão estadual competente, integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, em caráter supletivo, sem prejuízo de outras licenças exigíveis.

Artigo com redação determinada pela Lei n.º 7.804, de 18/07/89.

§ 1 - Os pedidos de licenciamento, sua renovação e a respectiva concessão serão publicados no jornal oficial do Estado, bem como em um periódico regional ou local de grande circulação.

§ 2 - Nos casos e prazos previstos em resolução do CONAMA, o licenciamento de que trata este artigo dependerá de homologação do IBAMA.

§ 3 - O órgão estadual do meio ambiente e o IBAMA, este em caráter supletivo, poderão, se necessário e sem prejuízo das penalidades pecuniárias cabíveis, determinar a redução das atividades geradoras de poluição, para manter as emissões gasosas, os efluentes líquidos e os resíduos sólidos dentro das condições e limites estipulados no licenciamento concedido.

§ 4 - Compete ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA o licenciamento previsto no caput deste artigo, no caso de atividades e obras com significativo impacto ambiental, de âmbito nacional ou regional.

§ 4 com redação determinada pela Lei n.º 7.804, de 18/07/89.

A Resolução CONAMA 237/97 de 19 de dezembro de 1997 estabelece as atividades produtivas sujeitas ao licenciamento e dá outras providências. Outras resoluções do CONAMA estabelecem procedimentos específicos para outros empreendimentos, como: assentamentos rurais, irrigação, empreendimentos elétricos, etc. Com o intuito de facilitar a leitura dos artigos, muitos deles de leitura obrigatória, constantes na Resolução, apresenta-se a lista seguinte:

a) O 1.º que traz definições de termos aplicados na resolução;
b) O 2.º que define quem está sujeito ao licenciamento ambiental;
c) O 3.º que trata de EIA/RIMA e Audiência Pública;
d) Os artigos 4º, 5º, 6º e 7º, que tratam da esfera (federal, estadual ou municipal) onde se dará o licenciamento;
e) O 8º apresenta os tipos de licenças e define cada uma delas;
f) O artigo 10 apresenta os procedimentos e etapas do licenciamento.
g) O artigo 11 trata da responsabilidade pela execução dos estudos necessários.
h) Os artigos de 12 a 19 estabelecem procedimentos para os órgãos licenciadores;
i) O artigo 20 define critérios mínimos para que os entes federados possam exercer suas competências licenciatórias.
j) O Anexo I apresenta a Lista de Atividades ou Empreendimentos Sujeitos ao Licenciamento Ambiental

RESOLUÇÃO N.º 237, DE 19 DE DEZEMBRO DE 1997
Publicada no Diário Oficial da União de 22 de dezembro de 1997

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, no uso das atribuições e competências que lhe são conferidas pela Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentadas pelo Decreto n.º 99.274, de 06 de junho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e

Considerando a necessidade de revisão dos procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental, de forma a efetivar a utilização do sistema de licenciamento, como instrumento de gestão ambiental instituído pela Política Nacional do Meio Ambiente:

Considerando a necessidade de se incorporar, ao sistema de licenciamento ambiental os instrumentos de gestão ambiental visando o desenvolvimento sustentável e a melhoria contínua;

Considerando as diretrizes estabelecidas na Resolução CONAMA nº 011/94, que determina a necessidade de revisão no sistema de licenciamento ambiental:

Considerando a necessidade de regulamentação de aspectos do licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional de Meio Ambiente que ainda não foram definidos:

Considerando a necessidade de ser estabelecido critério para exercício da competência para o licenciamento a que se refere o artigo 10 da Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981;

Considerando a necessidade de se integrar a atuação dos órgãos competentes do Sistema Nacional de Meio Ambiente - SISNAMA na execução da Política Nacional do Meio Ambiente; em conformidade com as respectivas competências resolve:

Art. 1º - Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - Licenciamento Ambiental: 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: 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 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: 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: é todo e qualquer impacto ambiental que afete diretamente (área de influência direta do projeto), no todo ou em parte, o território de dois ou mais Estados.

Art. 2º - A localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de

causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis.

§ 1º - Estão sujeitos ao licenciamento ambiental, os empreendimentos e as atividades relacionadas no Anexo 1; parte integrante desta Resolução.

§2º - Caberá ao órgão ambiental competente definir os critérios de exigibilidade, o detalhamento e a complementação do Anexo 1, levando em consideração as especificidades, os riscos ambientais, o porte e outras características do empreendimento ou atividade.

Art. 3º - A licença ambiental para empreendimentos e atividades consideradas efetiva ou potencialmente causadoras de significativa degradação do meio, dependerá de prévio estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto sobre o meio ambiente (EIA/RIMA), ao qual dar-se-á publicidade, garantida a realização de audiências públicas, quando couber, de acordo com a regulamentação.

Parágrafo único: O órgão ambiental competente, verificando que a atividade ou empreendimento não é potencialmente causador de significativa degradação do meio ambiente, definirá os estudos ambientais pertinentes ao respectivo processo de licenciamento.

Art. 4º - Compete ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, órgão executor do SISNAMA, o licenciamento ambiental, a que se refere o artigo 1º da Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981 de empreendimentos e atividades com significativo impacto ambiental de âmbito nacional ou regional, a saber:

I - localizadas ou desenvolvidas conjuntamente no Brasil e em país limítrofe; no mar territorial; na plataforma continental; na zona econômica exclusiva; em terras indígenas ou em unidades de conservação do domínio da União.

II - localizadas ou desenvolvidas em dois ou mais Estados:

III - cujos impactos ambientais diretos ultrapassem os limites territoriais do País ou de um ou mais Estados;

IV - destinados a pesquisar, lavrar, produzir, beneficiar, transportar, armazenar e dispor material radioativo, em qualquer estágio, ou que utilizem energia nuclear em qualquer de suas formas e aplicações, mediante parecer da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN:

V- bases ou empreendimentos militares, quando couber, observada a legislação específica.

§ 1º - O IBAMA fará o licenciamento de que trata este artigo após considerar o exame técnico produzido pelos órgãos ambientais dos Estados e Municípios em que se localizar a atividade ou empreendimento, bem como, quando couber, o parecer dos demais órgãos competentes da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, envolvidos no procedimento de licenciamento.

§ 2º - O IBAMA, ressalvada sua competência supletiva, poderá delegar aos Estados o licenciamento de atividade com significativo impacto ambiental de âmbito regional, uniformizando, quando possível, as exigências.

Art. 5º - Compete ao órgão ambiental estadual ou do Distrito Federal o licenciamento ambiental dos empreendimentos e atividades:

I - localizados ou desenvolvidos em mais de um Município ou em unidades de conservação de domínio Estadual ou do Distrito Federal;

II - localizados ou desenvolvidos nas florestas e demais formas de vegetação natural de preservação permanente relacionadas no artigo 2º da Lei n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965, e em todas as que assim forem consideradas por normas federais, estaduais ou municipais;

III - cujos impactos ambientais diretos ultrapassem os limites legais de um ou mais Municípios;

IV - delegados pela União aos Estados ou ao Distrito Federal, por instrumento legal ou convênio.

Parágrafo único: O órgão ambiental estadual ou do Distrito Federal fará o licenciamento de que trata este artigo após considerar o exame técnico procedido pelos órgãos ambientais dos Municípios em que se localizar a atividade ou empreendimento, bem como, quando couber, o parecer dos demais órgãos competentes da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, envolvidos no procedimento de licenciamento.

Art. 6º - Compete ao órgão ambiental municipal, ouvidos os órgãos competentes da União, dos Estados e do Distrito Federal, quando couber, o licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades de impacto ambiental local e daquelas que lhe forem delegadas pelo Estado por instrumento legal ou convênio.

Art. 7º - Os empreendimentos e atividades serão licenciados em um único nível de competência, conforme estabelecido nos artigos anteriores.

Art. 8º - O Poder Público, no exercício de sua competência de controle, expedirá as seguintes licenças:

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.

Parágrafo único - As licenças ambientais poderão ser expedidas isolada ou sucessivamente, de acordo com a natureza, características e fase do empreendimento ou atividade.

Art. 9º - O CONAMA definirá, quando necessário, licenças ambientais específicas, observadas a natureza, características e peculiaridades da atividade ou empreendimento e, ainda, a compatibilização do processo de licenciamento com as etapas de planejamento, implantação e operação.

Art. 10 - O procedimento de licenciamento ambiental obedecerá às seguintes etapas:

I - Definição pelo órgão ambiental competente, com a participação do empreendedor, dos documentos, projetos e estudos ambientais necessários ao início do processo de licenciamento correspondente à licença a ser requerida;

II - Requerimento da licença ambiental, pelo empreendedor, dos documentos, projetos e estudos ambientais pertinentes, dando-se a devida publicidade;

III - Análise pelo órgão ambiental competente, integrante do SISNAMA, dos documentos, projetos e estudos ambientais apresentados e a realização de vistorias técnicas, quando necessárias;

IV - Solicitação de esclarecimentos e complementações, pelo órgão ambiental competente, integrante do SISNAMA, uma única vez, em decorrência de análise dos documentos, projetos e estudos ambientais apresentados, quando couber, podendo haver a reiteração da mesma solicitação, caso os esclarecimentos e complementações não tenham sido satisfatórios;

V - Audiência pública, quando couber, de acordo com a regulamentação pertinente;

VI - Solicitação de esclarecimentos e complementações, pelo órgão ambiental competente, decorrente de audiências públicas, quando couber, podendo haver reiteração da solicitação quando os esclarecimentos e complementações não tenham sido satisfatórios;

VII - Emissão de parecer técnico conclusivo e, quando couber, parecer jurídico;

VIII - Deferimento ou indeferimento do pedido de licença, dando-se a devida publicidade.

§ 1º - No procedimento de licenciamento ambiental deverá constar, obrigatoriamente, a certidão da Prefeitura Municipal, declarando que o local e o tipo de empreendimento ou atividade estão em conformidade com a legislação aplicável ao uso e ocupação do solo e quando for o caso, a autorização para supressão de vegetação e a outorga para o uso da água, emitida pelos órgãos competentes.

§ 2º - No caso de empreendimentos e atividades sujeitos ao estudo de impacto ambiental - EIA, se verificada a necessidade de nova complementação em decorrência de esclarecimentos já prestados, conforme incisos IV e VI, o órgão ambiental competente, mediante decisão motivada e com a participação do empreendedor, poderá formular novo pedido de complementação.

Art. 11 - Os estudos necessários ao processo de licenciamento deverão ser realizados por profissionais legalmente habilitados, às expensas do empreendedor.

Parágrafo único - O empreendedor e os profissionais que subscrevem os estudos previstos no caput deste artigo serão responsáveis pelas informações apresentadas, sujeitando-se às sanções administrativas, civis e penais.

Art. 12 - O órgão ambiental competente definirá, se necessário, procedimentos específicos para as licenças ambientais, observadas a natureza, características e peculiaridades da atividade ou empreendimento e, ainda a compatibilização do processo de licenciamento com as etapas de planejamento, implantação e operação.

§ 1º - Poderão ser estabelecidos procedimentos simplificados para as atividades e empreendimentos de pequeno potencial de impacto ambiental, que deverão ser aprovados pelos respectivos Conselhos de Meio Ambiente.

§ 2º - Poderá ser admitido um único processo de licenciamento ambiental para pequenos empreendimentos e atividades similares e vizinhos ou para aqueles integrantes de planos de desenvolvimento aprovados, previamente, pelo órgão governamental competente, desde que definida a responsabilidade legal pelo conjunto de empreendimentos ou atividades.

§ 3º - Deverão ser estabelecidos critérios para agilizar e simplificar os procedimentos de licenciamento ambiental das atividades e empreendimentos que implementem planos e programas voluntários de gestão ambiental, visando a melhoria contínua e o aprimoramento do desempenho ambiental.

Art. 13 - O custo de análise para a obtenção da licença ambiental deverá ser estabelecido por dispositivo legal, visando o ressarcimento, pelo empreendedor, das despesas realizadas pelo órgão ambiental competente.

Parágrafo único: Facultar-se-á ao empreendedor acesso à planilha de custos realizados pelo órgão ambiental para a análise da licença.

Art. 14 - O órgão ambiental competente poderá estabelecer prazos de análise diferenciados para cada modalidade de licença (LP, LI e LO), em função das peculiaridades da atividade ou empreendimento, bem como, para a formulação de exigências complementares, desde que observado o prazo máximo de 6 (seis) meses a contar do ato de protocolar o requerimento até seu deferimento ou indeferimento, ressalvados os casos em que houver EIA/RIMA e/ou audiência pública, quando o prazo será de até 12 (doze) meses.

§1º - A contagem do prazo previsto no caput deste artigo será suspensa durante a elaboração dos estudos ambientais complementares ou preparação de esclarecimentos pelo empreendedor.

§2º - Os prazos estipulados no caput poderão ser alterados, desde que justificados e com a concordância do empreendedor e do órgão ambiental competente.

Art. 15 - O empreendedor deverá atender à solicitação de esclarecimentos e complementações, formuladas pelo órgão ambiental competente, dentro do prazo máximo de 4 (quatro) meses, a contar do recebimento da respectiva notificação.

Parágrafo Único - O prazo estipulado no caput poderá ser prorrogado, desde que justificado e com a concordância do empreendedor e do órgão ambiental competente.

Art. 16 - O não cumprimento dos prazos estipulados nos artigos 14 e 15, respectivamente, sujeitará o licenciamento à ação do órgão que detenha competência para atuar supletivamente e o empreendedor ao arquivamento de seu pedido de licença.

Art. 17 - O arquivamento do processo de licenciamento não impedirá a apresentação de novo requerimento de licença, que deverá obedecer aos procedimentos estabelecidos no artigo 10, mediante novo pagamento de custo de análise.

Art. 18 - O órgão ambiental competente estabelecerá os prazos de validade de cada tipo de licença, especificando-os no respectivo documento, levando 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

§1º - A Licença Prévia (LP) e a Licença de Instalação (LI) poderão ter os prazos de validade prorrogados, desde que não ultrapassem os prazos máximos estabelecidos nos incisos I e II.

§2º - O órgão ambiental competente poderá estabelecer prazos de validade específicos para a Licença de Operação (LO) de empreendimentos ou atividades que, por sua natureza e peculiaridades, estejam sujeitos a encerramento ou modificação em prazos inferiores.

§3º - Na renovação da Licença de Operação (LO) de uma atividade ou empreendimento, o órgão ambiental competente poderá, mediante decisão motivada, aumentar ou diminuir o seu prazo de validade, após avaliação do desempenho ambiental da atividade ou empreendimento no período de vigência anterior, respeitados os limites estabelecidos no inciso Ill.

§4º - A renovação da Licença de Operação (LO) de uma atividade ou empreendimento deverá ser requerida com antecedência mínima de 120 (cento e vinte) dias da expiração de prazo de validade fixado na respectiva licença, ficando este automaticamente prorrogado até a manifestação definitiva do órgão ambiental competente.

Art. 19 - O órgão ambiental competente, mediante decisão motivada, poderá modificar os condicionantes e as medidas de controle e adequação, suspender ou cancelar uma Licença expedida, quando ocorrer:

I - Violação ou inadequação de quaisquer condicionantes ou normas legais;

II - Omissão ou falsa descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição da licença;

III -Superveniência de graves riscos ambientais e de saúde.

Art. 20 - Os entes federados, para exercerem suas competências licenciatórias, deverão ter implementado os Conselhos de Meio Ambiente, com caráter deliberativo e participação social e, ainda, possuir em seus quadros ou a sua disposição, profissionais legalmente habilitados.

Art. 21 - Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação, aplicando seus efeitos aos processos de licenciamento em tramitação nos órgãos ambientais competentes, revogadas as disposições em contrário, em especial os artigos 3º e 7º da Resolução CONAMA n.º 001, de 23 de janeiro de 1986.

GUSTAVO KRAUSE GONÇALVES SOBRINHO
Presidente do Conselho

RAIMUNDO DEUS DARÁ FILHO
Secretário-Executivo

ANEXO I

ATIVIDADES OU EMPREENDIMENTOS SUJEITOS AO LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Extração e tratamento de minerais

- pesquisa mineral com guia de utilização;
- lavra a céu aberto, inclusive de aluvião, com ou sem beneficiamento;
- lavra garimpeira;
- perfuração de poços e produção de petróleo e gás natural.

Indústria de produtos minerais não metálicos

- beneficiamento de minerais não metálicos, não associados à extração;
- fabricação e elaboração de produtos minerais não metálicos, não associados à extração;
- fabricação e elaboração de produtos minerais não metálicos como: produção de material cerâmico, cimento, gesso, amianto e vidro, entre outros.

Indústria metalúrgica

- fabricação de aço e de produtos siderúrgicos;
- produção de fundidos de ferro e aço/forjados/arames/relaminados com ou sem tratamento de superfície inclusive galvanoplastia;
- metalurgia dos metais não-ferrosos, em formas primárias e secundárias, inclusive ouro;
- produção de laminados/ligas/artefatos de metais não-ferrosos com ou sem tratamento de superfície, inclusive galvanoplastia;
- relaminação de metais não-ferrosos, inclusive ligas;
- produção de soldas e anodos;
- metalurgia de metais preciosos;
- metalurgia do pó, inclusive peças moldadas;
- fabricação de estruturas metálicas com ou sem tratamento de superfície inclusive galvanoplastia;
- fabricação de artefatos de ferro/aço e de metais não-ferrosos com ou sem tratamento de superfície, inclusive galvanoplastia;
- têmpera e cementação de aço, recozimento de arames, tratamento de superfície.

Indústria Mecânica

- fabricação de máquinas, aparelhos, peças, utensílios e acessórios com e sem tratamento térmico e/ou de superfície.

Indústria de material elétrico, eletrônico e comunicações

- fabricação de pilhas, baterias e outros acumuladores;
- fabricação de material elétrico, eletrônico e equipamentos para telecomunicação e informática;
- fabricação de aparelhos elétricos e eletrodomésticos.

Indústria de material de transporte

- fabricação e montagem de veículos rodoviários e ferroviários, peças e acessórios;
- fabricação e montagem de aeronaves;
- fabricação e reparo de embarcações e estruturas flutuantes.

Indústria de madeira

- serraria e desdobramento de madeira;
- preservação de madeira;
- fabricação de estruturas de madeira e de móveis.

Indústria de papel e celulose

- fabricação de celulose e pasta mecânica;
- fabricação de papel e papelão;
- fabricação de artefatos de papel, papelão, cartolina, cartão e fibra prensada.

Indústria de borracha

- beneficiamento de borracha natural;
- fabricação de câmara de ar e fabricação e recondicionamento de pneumáticos;
- fabricação de laminados e fios de borracha;
- fabricação de espuma de borracha e de artefatos de espuma de borracha, inclusive látex.

Indústria de couros e peles

- secagem e salga de couros e peles;
- curtimento e outras preparações de couros e peles;
- fabricação de artefatos diversos de couros e peles;
- fabricação de cola animal.

Indústria Química

- 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 do petróleo;
- produção de óleos/gorduras/ceras 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/explosivo/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.

Indústria de produtos de matéria plástica

- fabricação de laminados plásticos;
- fabricação de artefatos de material plástico.

Indústria têxtil, de vestuário, calçado e artefatos de tecidos

- beneficiamento de fibras têxteis, vegetais, de origem animal e sintéticos;
- fabricação e acabamento de fios e tecidos;
- tingimento, estamparia e outros acabamentos em peças do vestuário e artigos diversos de tecidos;
- fabricação de calçados e componentes para calçados.

Indústria de produtos alimentares e bebidas

- beneficiamento, moagem, torrefação e fabricação de produtos alimentares;
- matadouros, abatedouros, frigoríficos, charqueadas e derivados de origem animal;
- fabricação de conservas;
- preparação de pescados e fabricação de conservas de pescados;
- preparação, beneficiamento e industrialização de leite e derivados;
- fabricação e refinação de açúcar;
- refino/preparação de óleo e gorduras vegetais;
- produção de manteiga, cacau, gorduras de origem animal para alimentação;
- fabricação de fermentos e leveduras;
- fabricação de rações balanceadas e de alimentos preparados para animais;
- fabricação de vinhos e vinagre;
- fabricação de cervejas, chopes e maltes;
- fabricação de bebidas não alcoólicas, bem como engarrafamento e gaseificação de águas minerais;
- fabricação de bebidas alcoólicas.

Indústria de fumo

- fabricação de cigarros/charutos/cigarrilhas e outras atividades de beneficiamento do fumo.

Indústrias diversas

- usinas de produção de concreto;
- usinas de asfalto;
- serviços de galvanoplastia.

Obras civis

- rodovias, ferrovias, hidrovias, metropolitanos;
- barragens e diques;
- canais para drenagem;
- retificação de curso de água;
- abertura de barras, embocaduras e canais;
- transposição de bacias hidrográficas;
- outras obras de arte.

Serviços de utilidade

- produção de energia termoelétrica;
- transmissão de energia elétrica;

- estações de tratamento de água;
- interceptores, emissários, estação elevatória e tratamento de esgoto sanitário;
- tratamento e destinação de resíduos industriais (líquidos e sólidos);
- tratamento/disposição de resíduos especiais tais como: de agroquímicos e suas embalagens usadas e de serviço de saúde, entre outros;
- tratamento e destinação de resíduos sólidos urbanos, inclusive aqueles provenientes de fossas;
- recuperação de áreas contaminadas ou degradadas.

Transporte, terminais e depósitos

- transporte de cargas perigosas;
- transporte por dutos;
- marinas, portos e aeroportos;
- terminais de minério, petróleo e derivados e produtos químicos;
- depósitos de produtos químicos e produtos perigosos.

Turismo

- complexos turísticos e de lazer, inclusive parques temáticos e autódromos.

Atividades diversas

- projeto agrícola;
- criação de animais;
- projetos de assentamentos e de colonização.

Uso de recursos naturais

- silvicultura;
- exploração econômica da madeira ou lenha e subprodutos florestais;
- atividade de manejo de fauna exótica e criadouro de fauna silvestre;
- utilização do patrimônio genético natural;
- manejo de recursos aquáticos vivos;
- introdução de espécies exóticas e/ou geneticamente modificadas;
- uso da diversidade biológica pela biotecnologia.

6 PRODUÇÃO MAIS LIMPA

O Desenvolvimento Sustentado é um conceito que hoje encontra-se incorporado tanto na gestão empresarial como na sociedade como um todo. É a resposta sensata à insensata agressão feita ao planeta pela intensificação dos processos produtivos, principalmente após a Segunda Guerra Mundial. Na reestruturação de nações, na criação de blocos regionais, na organização de mercados, as palavras de ordem são globalização, competitividade e produtividade.

Para que este grande movimento de início de milênio se cumpra de forma duradoura, ele deve ser eco-eficiente. A eco-eficiência está baseada em três pilares: econômico, ambiental e social. Uma empresa ou um processo, para ser válido dentro dos conceitos atuais, deve ser economicamente rentável, ambientalmente compatível e socialmente justo. Cumprindo estes três pilares, estará sendo ecoeficiente e criando as condições básicas para a sua permanência no mercado.

A adoção de processos de Produção mais Limpa e de Tecnologias Limpas é um instrumento eficiente e eficaz para cumprir as necessidades ambientais do desenvolvimento sustentado. É a metodologia oferecida pelo CNTL para que os setores produtivos possam reduzir o uso de água, energia e matérias-primas, otimizar seus processos para evitar desperdícios, e reduzir a poluição através da minimização de seus resíduos. Este processo de racionalização leva a uma economia significativa.

Devido a uma intensa avaliação do processo de produção, a metodologia da Produção mais Limpa induz a um processo de inovação dentro da empresa. Poluição no chão de fábrica compromete a segurança do trabalho e gera risco para a saúde dos trabalhadores. A Produção mais Limpa reduz esses riscos, auxiliando a melhorar a imagem da empresa para seus funcionários, diferentes clientes, comunidade e autoridades ambientais.

6.1 Centros Nacionais de Produção mais Limpa

O programa dos Centros Nacionais de Produção mais Limpa (NCPC) é uma iniciativa conjunta entre a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Centro de Atividades do Programa de Meio Ambiente em Paris (UNEP/IEPAC). A UNIDO é a agência executiva e a UNEP fornece guias estratégicos de meio ambiente e suporte profissional.

O programa NCPC iniciou em 1994, com o lançamento de oito centros localizados no mundo: Brasil, China, República Checa, Índia, México, Eslováquia, República Unida da Tanzânia e Zimbabwe. Outras atividades já foram iniciadas para a fundação de quatro novos centros: na Costa Rica, El Salvador, Hungria e Vietnã. O Centro da Tunísia, fundado pela USAID em 1992, juntou-se recentemente ao programa. Projetos de Produção mais Limpa, dos quais se espera a criação de NCPCs, também já iniciaram na Croácia, Guatemala, Nicarágua e Usbequistão.

O programa é financiado através de diversas fontes de recursos. O Governo da Holanda financia os centros da China, Índia, México, Tanzânia e Zimbabwe; o Governo da Áustria financia os centros da República Checa, Hungria, Nicarágua e Eslováquia; o Governo da Suíça financia os centros da Costa Rica, El Salvador e Vietnã, além de financiar as atividades na Guatemala, a qual espera-se que inaugure seu NCPC ainda em 1999; a UNEP também financia substancialmente programas na fase I. O centro do Brasil é patrocinado pelo próprio Brasil, através do SENAI, e o centro da Tunísia, que iniciou suas atividades com a assistência da USAID, é patrocinado pela Noruega. Outros projetos de Produção mais Limpa são financiados pela República Checa (Croácia), Japão (Usbequistão) e Suécia (Vietnã).

Figura 49 – Mapa de localização dos primeiros Centros no mundo

6.2 Centro Nacional de Tecnologias Limpas – CNTL / SENAI-RS

Em julho de 1995, o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI (Porto Alegre - RS) foi escolhido, pela UNIDO e pela UNEP, para ser a instituição hospedeira do Centro Brasileiro.

O Centro Nacional de Tecnologias Limpas - CNTL/SENAI-RS visa estabelecer uma rede formada por instituições e profissionais, a fim de facilitar a transferência de informação e tecnologia às empresas, permitindo a incorporação de Técnicas de Produção mais Limpa em seus sistemas de gerenciamento ambiental. A formação desta rede é facilitada pela localização do CNTL/SENAI-RS, dentro do sistema FIERGS, permitindo a ligação direta com as Federações das Indústrias dos Estados, através da Confederação Nacional de Indústrias - CNI. Esta situação oferece uma vantagem para a disseminação de informação sobre Produção mais Limpa, bem como a capacidade de pesquisa aplicada, desenvolvimento e otimização de processos oferecida pelos diferentes Centros Tecnológicos do SENAI em todo país.

6.2.1 O que é produção mais limpa

Produção mais Limpa significa a aplicação de uma estratégia econômica, ambiental e técnica, integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos gerados, com benefícios ambientais e econômicos para os processos produtivos.

- A Produção mais Limpa considera a variável ambiental em todos os níveis da organização, como, por exemplo, a compra de matérias-primas, a engenharia de produto, o design, o pós-venda, e relaciona as questões ambientais com ganhos econômicos para a empresa.
- Caracteriza-se por ações que são implementadas dentro da empresa, com o objetivo de tornar o processo mais eficiente no emprego de seus insumos, gerando mais produtos e menos resíduos.
- Através da implantação de um programa de Produção mais Limpa, a atividade produtiva identifica as tecnologias limpas mais adequadas para o seu processo produtivo.

Enquanto a gestão convencional de resíduos questiona:

- O que se pode fazer com os resíduos, efluentes e as emissões existentes?
- Quais as formas de livrar-me dele?

A produção mais limpa, proteção ambiental integrada à produção, pergunta:

- De onde vem os resíduos, os efluentes e as emissões?
- Por que ele é gerado?

Portanto, a diferença essencial está no fato de que a produção mais limpa não trata simplesmente do sintoma mas tenta atingir as raízes do problema.

Tabela 34 – Diferenças entre produção mais limpa e tecnologias de fim de tubo

Tecnologia de fim de tubo	Produção mais limpa
Como se pode tratar os resíduos e as emissões existentes?	De onde vem os resíduos e as emissões?
pretende reação	pretende ação
leva a custos adicionais	ajuda a reduzir custos
Os resíduos, efluentes e as emissões são limitados através de filtros e unidades de tratamento - soluções de fim de tubo - tecnologia de reparo - armazenagem de resíduos	Prevenção da geração de resíduos, efluentes e emissões na fonte o que evita processos e materiais potencialmente tóxicos
A proteção ambiental foi introduzida depois que os produtos e processos foram desenvolvidos	A proteção ambiental é uma parte integrante do *design* do produto e da engenharia de processo
Os problemas ambientais são resolvidos a partir de um ponto de vista tecnológico	Resolve-se os problemas ambientais em todos os níveis e envolvendo a todos
Proteção ambiental é um assunto para especialistas competentes, que são trazidos de fora e aumentam o consumo de material e energia	Proteção ambiental é tarefa de todos, pois é uma inovação desenvolvida dentro da empresa e com isto reduz o consumo de material e energia
Complexidade dos processos e os riscos são aumentados	Os riscos reduzidos e a transparência é aumentada
Proteção ambiental focada no cumprimento de prescrições legais É o resultado de um paradigma de produção que data de um tempo em que os problemas ambientais ainda não eram conhecidos	É uma abordagem que cria técnicas e tecnologias de produção para o desenvolvimento sustentável

A figura a seguir, apresenta as diferentes abordagens, que passam de uma visão de fim tubo até uma visão de prevenção a geração com eliminação de resíduos, efluentes e emissões. A prevenção a poluição deve ser a busca constante, pois somente desta forma existirá a solução total do problema.

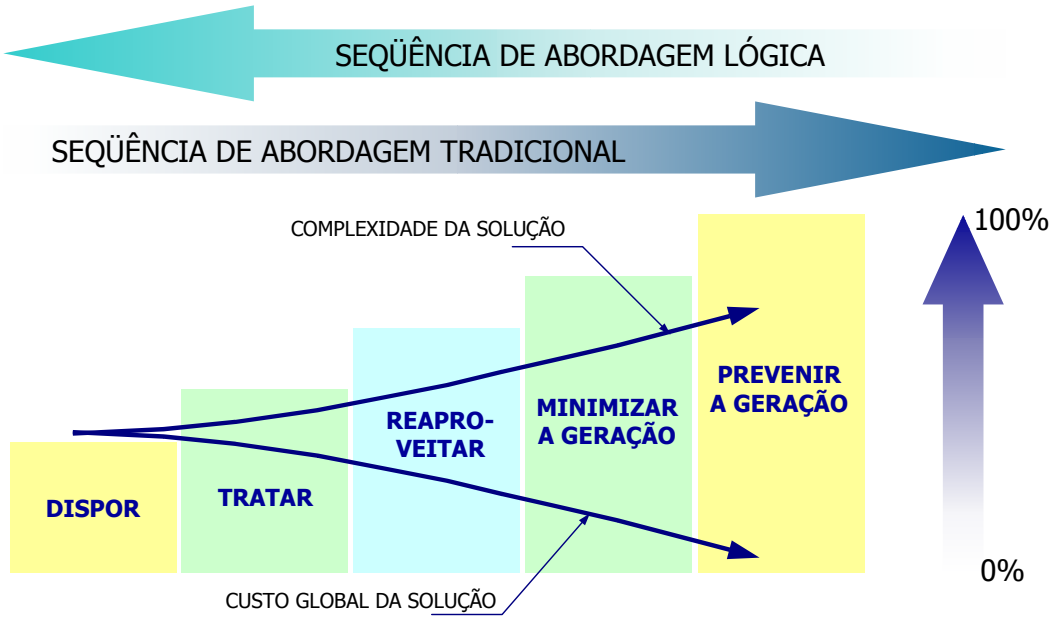


Figura 50 – Abordagens de Produção mais Limpa

6.2.2 Níveis de aplicação

As possíveis modificações decorrentes da implantação de um programa de PmaisL, podem se dar em vários níveis de aplicações de estratégias de acordo com a figura abaixo.

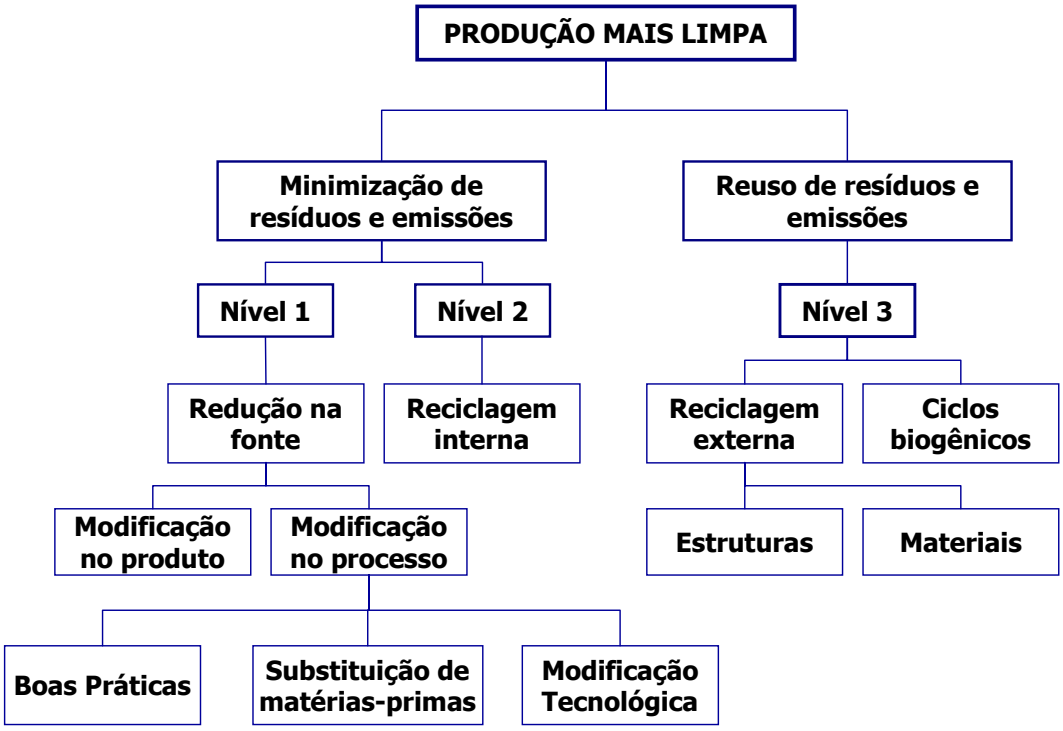


Figura 51 – Níveis de aplicação da produção mais limpa

- Nível 1: evitar a geração de resíduos, efluentes e emissões.
- Nível 2: resíduos que não podem ser evitados, devem, preferencialmente, ser reintegrados ao processo de produção da empresa.
- Nível 3: medidas de reciclagem fora da empresa.

6.2.3 Implantação de programa de produção mais limpa

A pré-sensibilização de uma atividade produtiva para a implantação de um programa de produção mais limpa pode ocorrer de acordo com alguns dos seguintes fatores:

- proatividade no reconhecimento da prevenção como etapa anterior a ações de fim-de-tubo;
- pressões do órgão ambiental para o cumprimento dos padrões ambientais;
- custos na aquisição e manutenção de equipamentos em fim-de-tubo;
- Produção mais Limpa como instrumento da busca da melhoria contínua nos sistemas de gestão ambiental;
- identificação e sensibilização através de exemplos setoriais similares;
- outros.

Após a fase de sensibilização, a atividade produtiva pode implantar um programa de Produção mais Limpa através de uma metodologia própria ou buscar instituições que possam apoiá-la na implantação. A atividade produtiva isolada ou setorial que manifestar seu interesse junto a este Centro na implantação de um programa de Produção mais Limpa passará pelas seguintes fases:

- avaliação da atividade, através de uma visita técnica, que tem o objetivo de identificar as possibilidades da implantação de um Programa e sua duração;
- formação de um grupo de trabalho que será capacitado e desenvolverá o trabalho da empresa realizando os balanços de materiais e de energia;
- obtenção de dados que serão avaliados com o objetivo de identificar oportunidades de técnicas de Produção mais Limpa que possam minimizar a geração de efluentes, resíduos e emissões neste processo produtivo;
- realização de visitas e de reuniões periódicas com os representantes dos grupos de trabalho, para esclarecimento de dúvidas e discussão das oportunidades de Produção mais Limpa;
- elaboração do estudo de viabilidade econômica das oportunidades identificadas e priorizadas pela empresa, isto é, avaliação dos benefícios técnicos, econômicos e ambientais que podem ser obtidos, quando da efetiva implantação das oportunidades de Produção mais Limpa neste processo produtivo;
- organização das informações obtidas durante a implantação do Programa de Produção mais Limpa, com o objetivo de obter um relatório que servirá de documento comprovando as ações realizadas por esta atividade produtiva na minimização de seu impacto ambiental.

Segundo a UNEP, um programa de produção mais limpa caracteriza-se por 5 fases e 20 passos, que resumidamente podem ser descritos:

A metodologia completa de implantação de um programa de Produção mais Limpa é descrita abaixo:

6.2.3.1 1ª etapa: Planejamento e Organização

- Obter a participação e o compromisso da alta gerência;
- Informar à gerência e aos empregados dos objetivos da avaliação da PmaisL;
- Formação da equipe do projeto;
- Gerar os recursos financeiros e humanos necessários para a implementação de PmaisL;
- Identificar e estabelecer contato com as fontes de informação;
- Estabelecer os objetivos de PmaisL;
- Superar as barreiras.

Passo 1: Obter comprometimento e envolvimento da gerência

A gerência da empresa apoiará a implementação de PmaisL quando estiver convencida de seus benefícios. Sem o comprometimento da gerência não haverá verdadeira ação e não haverá resultados.

Passo 2: Estabelecer a equipe do programa (ecotime)

Deverá haver a organização da equipe que conduzirá o programa de PmaisL, tentando incluir os representantes de todos os setores da empresa, a fim de obter o engajamento necessário de toda a empresa. Deverá ser selecionado um líder para o projeto.

Passo 3: Estabelecer metas e limites do programa

Procurar estabelecer metas amplas e realizáveis num primeiro momento, sendo aperfeiçoadas à medida que a equipe do projeto for conquistando uma visão maior das possibilidades para PmaisL.

Passo 4: Identificar barreiras e buscar soluções

O ecotime deverá identificar as barreiras que podem impedir ou retardar a execução de PmaisL e arriscar o sucesso da implementação do programa, devendo ter consciência das mesmas e encontrar soluções para superá-las.

6.2.3.2 2ª ETAPA: DIAGNÓSTICO E PRÉ-AVALIAÇÃO

- Obter o desenvolvimento do fluxograma do processo;
- Obter o estabelecimento do foco para a fase de avaliação;
- Suprimento de dados para se efetuar a comparação do "antes-e-depois";
- Identificar oportunidades de PmaisL.

Passo 5: Desenvolver o fluxograma do processo

Desenvolver um fluxograma do processo, descrevendo toda a instalação, mostrando o fluxo de entrada e saída das matérias-primas e insumos e o que é gerado no processo. A equipe do projeto deve familiarizar-se com os processos de fabricação, incluindo as instalações de armazenagem, utilitários, instalações para tratamento e disposição de resíduos.

Passo 6: Avaliar as entradas e saídas

Determinar, com base no senso comum, se as quantidades de entradas resultam em uma quantidade razoável de saídas. Ao analisar quanto de entradas são convertidas em produto e em resíduo e quanto de insumos é necessário durante a produção, pode-se determinar se o processo é ou não eficiente.

Passo 7: Selecionar o foco da avaliação da PmaisL

Com base nos resultados obtidos nos passos 5 e 6, é possível determinar-se o foco para a avaliação da PmaisL. Em princípio, todos os processos e unidades de operação podem ser candidatos ao foco. Contudo, a seleção é feita normalmente por razões financeiras, de legislação, ambientais e de recursos humanos disponíveis.

6.2.3.3 3ª ETAPA: AVALIAÇÃO

- Originar e checar os balanços materiais;
- Obter uma compreensão detalhada das fontes e causas da geração de resíduos e emissões;
- Gerar um conjunto abrangente de oportunidades de PmaisL, listadas em ordem de prioridade.

Passo 8: Originar um balanço material

Considerar o uso de matérias-primas, insumos, água e energia que entram no processo e que são liberados pelo mesmo. Um balanço material permite a identificação e a quantificação das perdas ou emissões anteriormente desconhecidas. O fluxograma de processo forma a base para o cálculo do balanço de material. O balanço de material traz a compreensão sobre a fonte e a causa de resíduos e emissões, a qual é necessária para a geração das oportunidades de PmaisL.

Passo 9: Conduzir uma avaliação das causas

Este passo serve para realçar as fontes e as causas dos resíduos e emissões e as perdas de energia e água. O balanço de material deve propiciar a compreensão de onde, por que e quantos resíduos e emissões são gerados e quanto de energia e água é perdido. Esta compreensão serve como foco para a identificação das oportunidades de PmaisL.

Algumas causas podem estar relacionadas com:

- a matéria-prima: abaixo do padrão de especificação, qualidade inadequada, deficiências no suprimento, armazenagem inadequada;

- a tecnologia: falhas operacionais e de manutenção, capacidade do equipamento mal combinada, seleção de material não favorável, planejamento do leiaute inadequado, tecnologia obsoleta, alto custo de melhor tecnologia, tamanho da planta insuficiente;
- as práticas operacionais: pessoal não-qualificado, operação ritualística, falta de treinamento, segredo industrial, desmotivação dos colaboradores, falta de comprometimento da alta gerência, falta de reconhecimento;
- o desenho do produto: especificações de qualidade altas, *design* do produto impraticável, embalagem, produto composto de materiais perigosos;
- a manipulação do resíduo gerado: não há separação de resíduos, desconsideração do reuso ou reciclagem de resíduos e manuseio inadequado.

Passo 10: Gerar oportunidades de PmaisL

Uma vez conhecidas as fontes e as causas dos resíduos e emissões, a PmaisL entra na fase criativa. Com base no fluxograma do processo e o balanço de material, será escolhida a unidade de operação, material, resíduos e emissões a ser submetida mais urgentemente a mudanças de PmaisL.

Neste momento, as oportunidades podem ser direcionadas para:

- Mudança em matérias-primas: redução ou eliminação de materiais perigosos (purificação ou substituição do material).
- Mudança tecnológica: modificações do processo e/ou do equipamento, podendo variar desde mudanças menores até substituição de processos que envolvem grandes custos. Estas podem incluir: mudanças no processo de produção, modificação do equipamento, *layout* ou tubulação, uso de automação, alteração nas condições do processo, tais como taxas de fluxo, temperaturas, pressões, etc.
- Boas práticas operacionais (*housekeeping* ou soluções caseiras*):* implicam em medidas de procedimentos, administrativos ou operacionais, que reduzem resíduos e emissões, normalmente implementadas a um pequeno custo e que não exigem mudanças tecnológicas significativas. Estas podem incluir práticas de gerenciamento e de pessoal, melhoria no manuseio de material, treinamento de empregados, prevenção de perdas, separação de resíduos, práticas de contabilização de custos, programação da produção, etc.
- Mudanças no produto: incluem mudanças nos padrões de qualidade, na composição do produto, na durabilidade e até mesmo substituição de um produto.
- Reuso e reciclagem: envolvem o retorno de um material residual ou para o processo que o originou, como um substituto para um material de entrada, ou como material de entrada para outro processo.

Passo 11: Selecionar oportunidades

Após ter sido gerado um número de oportunidades, elas devem ser selecionadas e priorizadas de acordo com um senso comum, analisando-se as questões econômicas, técnicas e ambientais, a fim de serem submetidas ao estudo de viabilidade. Esta priorização deve ter como foco a disponibilidade, a praticabilidade, o efeito ambiental gerado e a viabilidade econômica das oportunidades.

4ª etapa: Estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental

- Subsidiar de dados econômicos e analisar a viabilidade das oportunidades de PmaisL.
- Seleção das oportunidades viáveis;
- Documentar os resultados esperados para cada opção.

Passo 12: Avaliação preliminar

Determinar o nível de detalhes no qual cada oportunidade deve ser avaliada e fazer uma relação das informações ainda necessárias para esta avaliação. Todas as oportunidades selecionadas devem, em princípio, ser avaliadas em sua viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Contudo, para algumas oportunidades pode não ser necessária uma avaliação tão abrangente. A avaliação preliminar determina que oportunidades necessitam de qual nível de avaliação técnica, econômica e ambiental. Podem ocorrer desde oportunidades simples, com soluções caseiras, até mudanças significativas de tecnologia.

Passo 13: Avaliação técnica

Todos os investimentos maiores requerem uma avaliação técnica, devendo ser investigada a natureza da opção, a natureza da mudança, o efeito sobre a produção, o efeito sobre o número de empregados, treinamentos requeridos, licenças exigidas, aumento do espaço físico, controles de laboratório, exigências em relação à manutenção, etc.

Passo 14: Avaliação econômica

A viabilidade econômica é freqüentemente o parâmetro-chave que determina se uma opção será implementada ou não. A lucratividade de um projeto é medida usando-se fluxos de caixa estimados (entradas menos saídas de caixa) para cada ano do projeto.

O programa utiliza três métodos padrão para a medição da lucratividade de um projeto (Ross, Westerfield e Jaffe, 1995):

- Período de retorno (*payback):* tempo que se leva para recuperar o desembolso de caixa inicial para o projeto (recuperação do investimento efetuado com a opção de PmaisL).
- Taxa interna de retorno (TIR): é uma demonstração da rentabilidade do projeto, sendo que quanto maior for a TIR mais vantagens apresenta o projeto em termos atuais. Para análise entre alternativas de um mesmo projeto e entre projetos sem grandes diferenças de investimento, a TIR é geralmente aceita como o melhor instrumento na determinação do mérito de projetos.
- Valor presente líquido (VPL): calcula o valor atual do fluxo de caixa incremental em perspectiva, pelo uso de uma Taxa Mínima de Atratividade, ou seja, a partir de uma taxa de juros que seja considerada como satisfatória, em função dos ingressos e dos desembolsos futuros. Sempre que o VPL, estimado a uma taxa de juros (Taxa Mínima de Atratividade), for superior a zero, o projeto apresenta um mérito positivo. Na comparação entre dois projetos ou duas alternativas de um mesmo projeto, o melhor, em princípio, é aquele com maior VPL.

Estes índices são extraídos do fluxo de caixa incremental (fluxo de caixa que contempla a diferença entre os fluxos de caixa inicial – custos reais de operação do sistema existente sem a opção - e o fluxo de caixa esperado – custos operacionais estimados associados à opção de PmaisL).

Passo 15: Avaliação ambiental

Determinar os impactos positivos e negativos da opção para o meio ambiente. Um dos objetivos da PmaisL é a melhoria do desempenho ambiental de uma empresa, sendo imperativa uma avaliação ambiental. Pode atingir três níveis: avaliação simples baseada na redução da toxicidade e quantidade de resíduos e emissões; avaliação profunda do efeito da composição de novas entradas e saídas ou avaliação do ciclo de vida do produto.

Passo 16: Selecionar as oportunidades a serem implementadas

Este passo caracteriza-se pela documentação dos resultados do estudo de viabilidade e criação de uma lista de oportunidades de PmaisL que devem ser implementadas. As oportunidades que não forem implementadas ficam armazenadas e podem ser recuperadas posteriormente.

5ª etapa: Implementação

- Implementar as oportunidades viáveis de PmaisL;
- Monitoramento e avaliação das oportunidades implementadas;
- Planejamento das atividades que asseguram a melhoria contínua com PmaisL.

Passo 17: Preparar o plano de implementação de PmaisL

Deve ser descrito um plano que contenha: a duração do projeto, os recursos humanos e financeiros necessários, os vínculos nas soluções multidepartamentais, o cronograma para implementação e como se processará a continuidade do programa de PmaisL.

Passo 18: Implementar as oportunidades de PmaisL

Envolvem estágios de implementação como de qualquer outro projeto realizado na empresa, que segue normalmente uma fase de planejamento e a execução propriamente dita.

Passo 19: Monitorar e avaliar

O desempenho das oportunidades de PmaisL implementadas devem ser monitorados, a fim de comparar os resultados "verdadeiros" aos resultados "esperados". A eficiência da opção de PmaisL pode ser medida em função das mudanças em resíduos e emissões, das mudanças em consumo de recursos e na mudança da lucratividade.

Passo 20: Manter as atividades e o Programa de PmaisL

A PmaisL deve ter o caráter de continuidade, de melhoria contínua. O programa deve sustentar estas atitudes, gerando experiências de aprendizagem que possibilitem aos empregados e à gerência capacidade de identificar, planejar e desenvolver projetos de PmaisL.

6.3 Energia e Produção mais Limpa

O CNTL atua no sentido da eficiência energética, buscando a otimização do uso destes recursos. Esses recursos energéticos são constituídos por combustíveis utilizados nas caldeiras, o vapor usado como fluido térmico, o compressor de ar comprimido utilizado como acionador de dispositivos pneumáticos, energia elétrica, forma de propulsão de motores elétricos, iluminação e tratamento térmico.

O enfoque de fontes renováveis na geração de energia seguido pelo uso de biomassa, energia solar ou eólica constituem-se em importantes alternativas de substituição às fontes fósseis para oportunidades de geração de energia. A redução no consumo de recursos energéticos contribui fortemente na redução do custo de um processo produtivo, revertendo em retorno financeiro para a empresa.

6.4 Sistema de Gerenciamento Ambiental e Produção mais Limpa

A atuação do CNTL em Sistemas de Gerenciamento Ambiental iniciou-se em 1997, quando foi contratado por uma empresa do setor metal-mecânico para a implementação de um Programa de Produção mais Limpa que culminasse em uma certificação de Sistema de Gerenciamento Ambiental.

A harmonia observada durante a implementação dos dois programas e os resultados alcançados, incentivou o CNTL a investir também em Gestão Ambiental.

Hoje, entendendo que um programa é a complementação ou ferramenta do outro, o CNTL buscou no mercado, profissionais especializados na área de Sistema de Gerenciamento Ambiental para poder oferecer às empresas a prestação de serviços tanto de treinamento quanto de assessoria.

São oferecidos os seguintes serviços:

- Diagnóstico ambiental com base nos requisitos normativos da ISO-14001;
- Identificação das necessidades de treinamento;

- Auditorias Internas e
- Consultoria para implementação de Sistema de Gerenciamento Ambiental e certificação na ISO-14001.

São oferecidos os seguintes treinamentos:

- Introdução às questões ambientais;
- Interpretação e Aplicação das Normas de Gestão Ambiental;
- Documentação do Sistema de Gerenciamento Ambiental;
- Identificação, Exame e Avaliação dos Aspectos e Impactos Ambientais;
- Legislação Ambiental aplicada à ISO-14001;
- Divulgação do Sistema de Gerenciamento Ambiental e Treinamento nos requisitos da ISO-14001;
- Gerenciamento de Resíduos.

6.5 Produtos do Centro Nacional de Tecnologias Limpas

6.5.1 Disseminação da informação

Os Centros Nacionais de Produção mais Limpa constituem um elo chave na cadeia de disseminação da informação, pois facilita a distintos países, no idioma da localidade, o acesso a toda informação disponível no mundo sobre Produção mais Limpa.

Os Centros Nacionais de Produção mais Limpa oferecem acesso imediato a documentação técnica, base de dados e outras fontes de informação; prestam serviços de assessoramento a companhias e outras organizações sobre medidas adequadas para implantar práticas de Produção mais Limpa nos setores produtivos, e também divulgam informações através de seminários, boletins técnicos, folhetos, além da cooperação com os meios de informação nacional, associações de indústrias, institutos de capacitação e universidades.

6.5.2 Implantação de programas de produção mais limpa

A implantação desses programas tem o objetivo de avaliar o processo produtivo identificando sua real eficiência quanto ao emprego de matérias-primas, água e energia. Todas as fases da implantação do programa são realizadas com o total envolvimento da empresa a fim de garantir a introdução e assimilação do conceito de produção mais limpa no seu processo de gerenciamento. Esta avaliação está baseada na realização de um balanço de massa e energia para sua posterior avaliação e identificação de técnicas de produção mais limpa que possam ser implantadas no processo. A implantação de uma nova técnica no processo produtivo é realizada após a fase de priorização desta oportunidade pela empresa e seu respectivo estudo de viabilidade econômica, técnica e ambiental. Neste momento é proposto um plano de monitoramento para comprovar os benefícios teóricos estimados. As informações geradas durante a implantação deste programa são reunidas em um relatório que evidenciará a minimização do impacto ambiental alcançado pela empresa, suas metas futuras através de reavaliações periódicas dos indicadores ambientais e de processo gerados, bem como todos os benefícios econômicos alcançados durante o programa.

6.5.3 Capacitação de profissionais

Através dos cursos práticos de capacitação de profissionais, organizados dentro das próprias empresas, o CNTL divulga instrumentos e métodos para melhorar, de forma contínua, o processo de produção.

O objetivo é formar consultores e instituições nacionais para proporcionar o apoio e o respaldo para empresas comprometidas em implantar Produção mais Limpa, além de fomentar o efeito multiplicador, à medida que o novo conceito começa a interessar novas companhias. O CNTL também organiza programas de capacitação e cursos práticos sobre

Produção Mais Limpa para entidades governamentais, universidades, organizações comerciais e instituições financeiras.

6.5.4 Atuação em políticas ambientais

A atuação política do CNTL se dá em diferentes níveis e com diferentes interlocutores, buscando sempre: firmar o conceito de desenvolvimento sustentável através do conceito de Produção mais Limpa; apoiar os setores produtivos na adoção deste conceito em seus processos; buscar o estabelecimento de linhas de crédito adequadas à sua implantação; auxiliar na transferência de Tecnologias Limpas; influir na adequação das legislações ambientais de forma a torná-las compatíveis com a realidade atual e expandir a competitividade da indústria brasileira, tornando-a apta a responder aos desafios da nova organização do mercado mundial, com base no desenvolvimento sustentável.

7 BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001 - Sistema de Gestão Ambiental - Especificações com Guia para Uso.** Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001 - Sistema de Gestão Ambiental - Especificação e Diretrizes para Uso.** Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14004 - Sistema de Gestão Ambiental - Guia para Princípios, Sistemas e Técnicas de Suporte.** Rio de Janeiro, 1996.

AZEVEDO NETTO, J. M. & ALVAREZ, G. A. **Manual de Hidráulica.** 7ª Ed. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 1982.

BARROS, R. T. et al. **Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios.** Vol. 2 – Saneamento. Belo Horizonte: FEAM, 1995.

BRAILE, P. M. & CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias.** São Paulo, CETESB, 1993.

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária.** São Paulo: CETESB, 1978.

BRASIL. **Lei Federal nº 6.938/81.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 02 de setembro de 1981.

CETESB. **Resíduos Sólidos Industriais**. São Paulo: CETESB, 1992.

CLEZAR, C. A. & NOGUEIRA, C. R. **Ventilação industrial**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1999.

CRITES, R. & TCHOBANOGLOUS, G. **Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones.** Colombia: McGraw-Hill/Interamericana de España S.A., 2000.

FALKENBERG, L. **Curso de Legislação Ambiental para Empresas.** Porto Alegre: CNTL - Centro Nacional de Tecnologias Limpas, 1997.

HAMMER, M. J. **Sistemas de Abastecimento de Águas e Esgotos.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

HANDELL, A. C. & LETTINGA, G. **Tratamento Anaeróbio de Esgotos**. Paraíba: Universidade Federal da Paraíba, 1994.

JARDIM, N. Z. et al. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado.** São Paulo: IPT/CEMPRE, 1995.

JORDÃO, E. P. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

LIMA, L. M. **Lixo: Tratamento e Biorremediação.** São Paulo: Ed. Hemus, 1995.

LOMBORG, B. **O Ambientalista Cético: Revelando a Real Situação do Mundo.** Rio de Janeiro: Campus, 2002.

MCINTYRE, A. J. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição.** Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1990.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse.** 3. ed. Singapore: McGraw-Hill International Editions, 1991.

MOTA, S. **Preservação e Conservação de Recursos Hídricos.** Rio de Janeiro: ABES, 1995.

NETO, P. P. C. **Resíduos Sólidos Industriais.** São Paulo: CETESB / ASCETESB, 1985.

NUNES, J. A. **Tratamento Físico-químico de Águas Residuárias Industriais.** Aracaju: J. Andrade, 1996.

ONUDI-ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL & PNUMA-PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. **Manual de Auditoría y Reducción de Emisiones y Resíduos Industriales.** Paris, 1994.

PORTO, M. F. M. M. **Educação Ambiental: Conceitos Básicos e Instrumentos de Ação.** (Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios, Vol. 3). Belo Horizonte: FEAM, 1996.

RIBEIRO, M. A. et al. **Município e Meio Ambiente.** (Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os MunicípioS, Vol. 1). Belo Horizonte: FEAM, 1995.

RIO GRANDE DO SUL. **Portaria SSMA nº 05/89.** Aprova a norma técnica SSMA nº 01/89, que dispõe sobre critérios e padrões de efluentes líquidos a serem observados por todas as fontes poluidoras que lancem seus efluentes nos corpos d´água interiores do estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul, 29 de março de 1989.

SPERLING, M. **Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** 2. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

SPERLING, M. V. **Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

SPERLING, M. V. **Lagoas de Estabilização.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Gestión Integral de Resíduos Sólidos.** México: McGraw-Hill/Interamericana de España, 1998.

VILHENA, A.; D'ALMEIDA, M. L. O. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado.** 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Preliminary Treatment for Wastewater Facilities**. USA: WEF, 1994.