

Controle Ambiental de Resíduos

5

Tesdo 6

Jorge Alberto Soares Tenório

Engenheiro Metalurgista, Escola Politécnica da USP

Denise Croce Romano Espinosa

Engenheira Metalurgista, Escola Politécnica da USP

Este capítulo visa desenvolver o conceito de resíduo sólido, suas conseqüências e as principais formas de tratamento do problema. Assim, serão apresentadas inicialmente a conceituação de resíduo, suas origens e formas de classificação. Em seguida serão mostradas as principais formas de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, de forma a desenvolver não só um conhecimento técnico, mas também um espírito crítico sobre o problema. Entende-se que a abrangência do tema é bastante ampla, envolvendo enfoques diferentes, dependendo da diversidade de formação dos indivíduos. Por exemplo, a simples palavra *reciclagem* pode ser enfocada de diversas formas, mesmo do ponto de vista técnico, ou seja, para um economista o conceito não é exatamente o mesmo que para um engenheiro, e da mesma forma é diferente para um educador ou para um médico. Assim, antes de mais nada, é preciso procurar entender todos os aspectos relacionados e saber que sempre pode haver mais do que uma interpretação certa para um mesmo caso.

RESÍDUOS SÓLIDOS: CONCEITUAÇÃO

Os conceitos de cadeia alimentar e dos ciclos de elementos, como o carbono, são estudados no ensino fundamental e médio e servem como base para uma reflexão inicial do problema.

Em linhas gerais, na cadeia alimentar o ciclo de vida está fechado, ou seja, a transmissão de matéria e de energia passa de um nível para outro de forma harmônica e teoricamente sem perdas.¹

Aparentemente, o homem seria o único agente gerador de resíduos, causados pelos padrões de consumo da sociedade atual. Ora, essa formulação é bastante *simplista*, mas serve como ponto de partida para uma pequena reflexão.

Na verdade, o conceito de cadeia alimentar não é tão fechado nem tão perfeitamente sustentável assim; o que efetivamente acontece é que mesmo em espécies mais simples ocorrem perdas e geração de resíduos, e esses não seriam contabilizados e, portanto, o sistema não é tão perfeito quanto se imaginaria no início. Verifica-se efetivamente que esses eventuais desequilíbrios são sempre muito pequenos, uma vez que as populações na maioria dos casos são pequenas. Muitas vezes, fenômenos naturais localizados são suficientes para desfazer a harmonia local, causando mudanças nos ciclos e nas cadeias alimentares. Porém, em muitos casos o sistema tem mecanismos para, a médio e longo prazo, estabilizar o eventual desequilíbrio local.

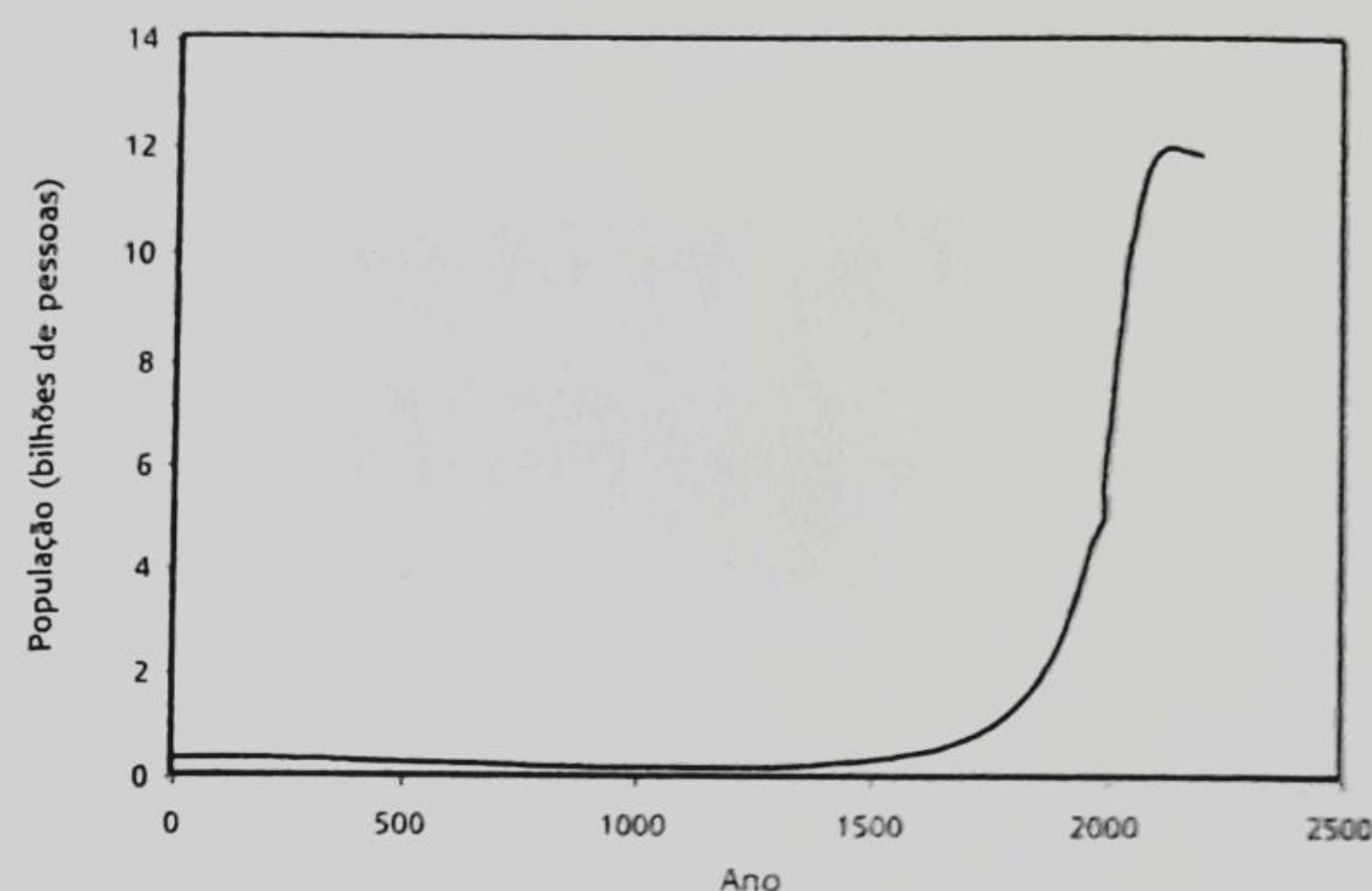
Desse modo, o ser humano não é o único agente causador de desequilíbrio localizado. Contudo, o homem tem uma capacidade que o torna único dentro desse quadro, uma vez que é capaz de transformar em larga escala os materiais e tornar estáveis substâncias e produtos. Portanto, o homem coloca no meio produtos em formas que o meio naturalmente não conhece e não tem capacidade de absorção nem mesmo a longo prazo.

Ainda assim, o homem não seria capaz de gerar uma instabilidade tão grande a ponto de comprometer sua existência, mas a capacidade do homem de efetivamente transformar a matéria-prima natural por meio de processos de larga escala não deve ser desprezada.

O agravamento só fica claro quando se une a essa capacidade o fenômeno do crescimento populacional observado nas últimas gerações. A Figura 5.1 mostra esse crescimento ao longo dos séculos, deixando claro o fenômeno de explosão demográfica, que, por conseguinte, aumenta as demandas com relação ao suprimento de matérias-primas, alimento e energia.

¹ Figueiredo P. A sociedade do lixo: os resíduos, a questão energética e a crise ambiental. Rio de Janeiro: Uerj, 1995.

Figura 5.1 – Evolução do crescimento da população mundial.



Fonte: Nebel BJ, Wright RT. Environmental science: the way the world works. New Jersey: Prentice-Hall; 1993.

Adicione-se, ainda, o fato de o crescimento da população ter ficado concentrado principalmente nas cidades. Portanto, os problemas associados ao crescimento da população ficam restritos a pequenas regiões.

Os progressos da humanidade aumentaram a qualidade e a duração da vida. A contrapartida é um padrão de consumo que demanda matérias-primas, o que de certa forma pode comprometer a qualidade de vida das gerações futuras. Esse compromisso com as gerações futuras é o princípio do que se denomina *crescimento sustentável*. Assim, espera-se que esta geração e as futuras usem a capacidade que o homem possui de transformar as matérias, porém de forma sustentável.

Os conceitos de resíduo e lixo são bastante próximos e muitas vezes entende-se que ambos sejam sinônimos. Em um dicionário da língua portuguesa encontram-se:

- Resíduo: 1. Remanescente. 2. Aquilo que resta de qualquer substância; resto. 3. O resíduo que sofreu alteração de qualquer agente exterior, por processos químicos, físicos etc.

- *Lixo*: 1. Aquilo que se varre da casa, do jardim, da rua e se joga fora; entulho. 2. Tudo o que não presta e se joga fora. 3. Sujidade, sujeira, imundície. 4. Coisa ou coisas inúteis, velhas, sem valor.²

A semelhança está clara e, portanto, é quase impossível distingui-los segundo esses conceitos. Todavia, do ponto de vista ambiental, existem três classes diferentes de poluição: a poluição atmosférica, a contaminação das águas e os resíduos sólidos. Assim, a palavra *resíduos*, junto com a palavra *sólidos*, possui um significado técnico específico definido por norma técnica.

Segundo a NBR 10004/1987, define-se resíduo sólido como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade, de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Consideram-se também resíduos sólidos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpo d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Destaca-se que a norma classifica resíduos no estado líquido como *resíduos sólidos*, o que é bem compreensível quando se pensa na divisão da poluição em três categorias.

O conceito de resíduo tem sempre embutido o aspecto de serventia e de valor econômico para o seu possuidor. Assim, para uma determinada pessoa a embalagem passa a perder seu valor a partir do momento que seu conteúdo foi totalmente consumido, passando a ser um resíduo ou um problema para seu possuidor. Por outro lado, esse *problema* ou *resíduo* pode ter valor para um terceiro. Calderoni discute extensivamente essa relação entre possuidor, resíduo e valor agregado.³

² Ferreira ABH. Novo dicionário da língua portuguesa. Rio de Janeiro: Nova Fron-

RESÍDUOS SÓLIDOS: CLASSIFICAÇÃO

A simples leitura da NBR 10004 mostra que os resíduos sólidos normalmente são classificados. Existem várias formas de classificação, entretanto, a forma mais convencional leva em consideração a origem. Segundo esse método, os resíduos são classificados como: industriais, urbanos, de serviços de saúde, de portos, de aeroportos, de terminais rodoviários e ferroviários, agrícolas, radioativos e entulho.⁴

Resíduos Industriais

São resíduos gerados em indústrias. Os resíduos industriais variam entre 65 a 75% do total de resíduos gerados em regiões mais industrializadas. A responsabilidade pelo manejo e destinação desses resíduos é sempre da empresa geradora. Dependendo da forma de destinação, a empresa prestadora do serviço pode ser co-responsável. Por exemplo, quando um resíduo industrial é destinado a um aterro, a responsabilidade passa a ser também da empresa que gerencia o aterro. Em função da periculosidade oferecida por alguns desses resíduos, estes se dividem em três classes:

- *Resíduos perigosos* (classe I) – podem apresentar riscos à saúde pública e ao meio ambiente por causa de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
- *Resíduos não-inertes* (classe II) – incluem-se nesta classe os resíduos potencialmente biodegradáveis ou combustíveis;
- *Resíduos inertes* (classe III) – perfazem esta classe os resíduos considerados inertes e não-combustíveis.⁵

A classificação dos resíduos industriais requer uma série de procedimentos e testes, que estão descritos em uma série de normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):

⁴ Jardim N. Lixo municipal: manual de gerenciamento. 1. ed. Rio de Janeiro: 1998.

- NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação,
- NBR 10005 – Lixiviação de Resíduos – Procedimento,
- NBR 10006 – Solubilização de Resíduos – Procedimento, e
- NBR 10007 – Amostragem de Resíduos – Procedimento

Resíduos Urbanos

Ao contrário do que se poderia imaginar intuitivamente, os resíduos urbanos são produzidos em menor escala do que os resíduos industriais. Incluem-se nessa categoria os resíduos domiciliares, o resíduo comercial (produzido, por exemplo, em escritórios, lojas, hotéis, supermercados e restaurantes), os resíduos de serviços oriundos da limpeza pública urbana (como exemplo, citam-se os resíduos de varrição das vias públicas, da limpeza de galerias, terrenos, córregos, praias, feiras e das podas). Os resíduos urbanos são de responsabilidade das prefeituras. Entretanto, no caso dos estabelecimentos comerciais, a prefeitura é responsável pela coleta e disposição de pequenas quantidades, geralmente abaixo de 50 kg/dia. Acima dessa quantidade, a responsabilidade fica transferida para o estabelecimento.

Entulhos

A rigor, os entulhos poderiam ser considerados como resíduos urbanos, em razão de suas características e volumes, normalmente são classificados separadamente. Entulhos constituem-se basicamente de resíduos de construção civil: demolições, restos de obras, solos de escavações e materiais afins.

Analogamente aos resíduos urbanos, as prefeituras são co-responsáveis por pequenas quantidades.

Resíduos de Serviços de Saúde

São os resíduos produzidos em hospitais, clínicas médicas e veterinárias, laboratórios de análises clínicas, farmácias, centros de saúde, consul-

tórios odontológicos, entre outros. Esses resíduos podem ser agrupados em dois níveis distintos:

- *Resíduos comuns*: compreendem os restos de alimentos, papéis, invólucros etc.
- *Resíduos sépticos*: constituídos de restos de material cirúrgico e de tratamento médico. Seu manejo exige atenção por causa do potencial risco à saúde pública.

O responsável pelo gerenciamento dos resíduos provenientes de serviços de saúde é seu gerador.

Resíduos de Portos, Aeroportos, Terminais Rodoviários e Ferroviários

Constituem-se em resíduos sépticos que podem conter organismos patogênicos como materiais de higiene e de asseio pessoal e restos de comida. Possuem capacidade de veicular doenças de outras cidades, estados e países. Nesse caso, cabe ao gerador a responsabilidade pelo gerenciamento dos resíduos.

Resíduos Agrícolas

Correspondem aos resíduos das atividades da agricultura e da pecuária. Embalagens de adubos, de defensivos agrícolas e de ração, restos de colheita e esterco animal ilustram esse tipo de resíduo. As embalagens de agroquímicos, pelo alto grau de toxicidade que apresentam, são alvo de legislação específica. Da mesma forma que os resíduos industriais, o gerador é responsável pelo gerenciamento e a empresa que faz o tratamento ou disposição é co-responsável.

Resíduos Radioativos

São resíduos provenientes dos combustíveis nucleares e de alguns equipamentos que usam elementos radioativos. A responsabilidade por essa categoria de resíduos é da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEM).

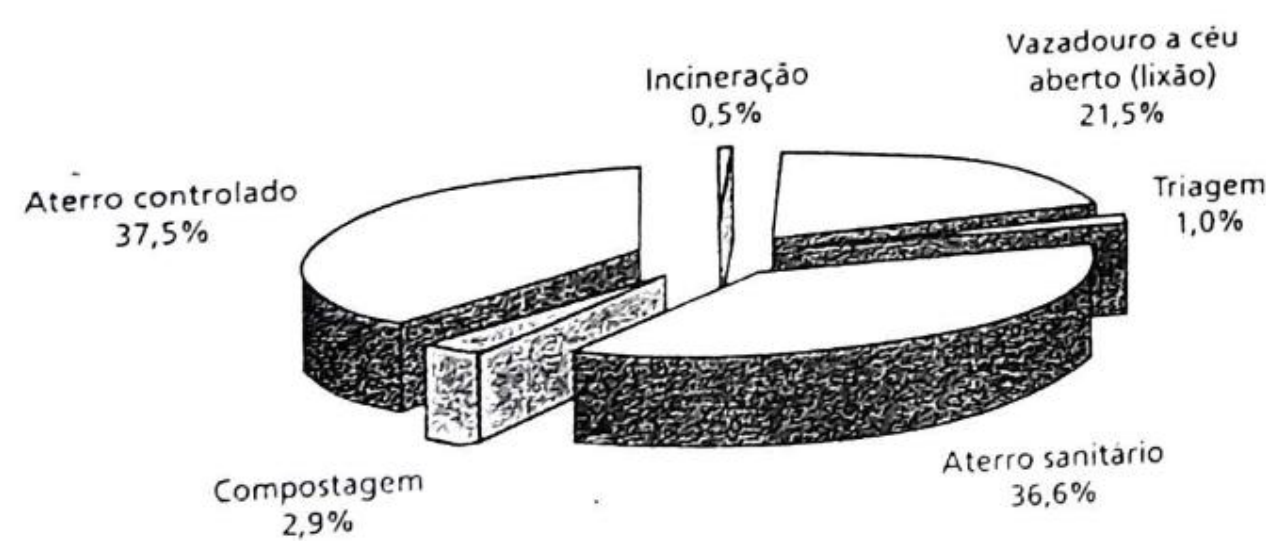
A SITUAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL

O Brasil é um país que possui *notáveis deficiências* do ponto de vista do saneamento básico. Nesse sentido, a questão dos resíduos sólidos não poderia deixar de ser um espelho desse quadro.

Os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) relativos ao saneamento básico no ano 2000, mostrados na Figura 5.2, apontam que das cerca de 230 mil toneladas de resíduos geradas por ano no Brasil, cerca de 22% são destinadas a vazadouros a céu aberto ou lixões. A maioria absoluta, cerca de 75%, destinam-se a aterros controlados ou sanitários. Entretanto, a quantidade de resíduos dispostos em vazadouros a céu aberto ainda é bastante expressiva.

Por outro lado, a análise dos dados da Tabela 5.1 indica que, em cerca de 70% dos distritos que possuem serviços de limpeza urbana, ainda existem vazadouros a céu aberto. Ou seja, apesar de a maioria dos resíduos ser disposta em aterros, o número de vazadouros a céu aberto é extremamente elevado, mais que o dobro do número de aterros. Os quase 6 mil lixões reconhecidamente existentes no país (fora os que não foram identificados pela pesquisa) demonstram a situação de precariedade do sistema de saúde pública e de política ambiental do país.

Figura 5.2 – Perfil da destinação dos resíduos por quantidade no Brasil.



Fonte: IBGE, 2002.⁶

Quando se analisa a distribuição dos vazadouros, o quadro fica ainda mais alarmante, uma vez que 43% deles estão concentrados na região Nordeste. Mesmo assim, o número de vazadouros no estado de São Paulo é de cerca de 230, estando treze (0,2% do total) na região metropolitana da capital (que contém cerca de 10% da população do país), o que é bastante insatisfatório. De qualquer forma, existe uma grande diferença entre os quadros das duas regiões, o que não é novidade, uma vez que a desigualdade social é uma das principais características do país.

Vazadouros a céu aberto ou lixões são depósitos nos quais o lixo é simplesmente descarregado sem qualquer tratamento. Esse destino do lixo, além dos riscos à saúde pública, tem como conseqüências a poluição do solo e a contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Em muitos casos, nesses vazadouros também são dispostos resíduos industriais e de serviços de saúde. Trata-se, portanto, de uma forma completamente descontrolada, uma vez que não existem medidas prévias de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública.

Tabela 5.1 – Distribuição das formas de destinação e tratamento de resíduos sólidos no Brasil.

Destinação	Quantidade
Distritos com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo	8.381
Vazadouro a céu aberto (lixão)	5.993
Aterro controlado	1.868
Aterro sanitário	1.452
Aterro de resíduos especiais	810
Usina de compostagem	260
Usina de reciclagem	596

Fonte: IBGE, 2002.⁷

Embora proibidos pela Portaria n. 53, de 01.03.1979, do Ministério do Interior, os lixões ainda são uma forma muito utilizada de disposição de

resíduos no Brasil. Os principais problemas associados a esse tipo de disposição são:

- riscos de poluição do ar e de contaminação do solo, das águas superficiais e de lençóis freáticos;
- riscos à saúde pública, pela proliferação de diversos tipos de doenças;
- agravamento de problemas socioeconômicos pela ativa presença de "garimpeiros de lixo";
- poluição visual da região;
- mau odor na região; e
- desvalorização imobiliária da região.

Segundo, o levantamento de 2000 do IBGE, existem 3.686 garimpeiros de lixo atuando em vazadouros no estado de São Paulo, contra 2.916 em 1999. Destes, 448 eram crianças menores de 14 anos (643 em 1999). Isso demonstra mais uma vez a desigualdade social no país.

Há no país cerca de seiscentas usinas de reciclagem, localizadas em cerca de 350 distritos. Novamente, as diferenças regionais ficam demonstradas. Na região Norte do país não existe nenhuma usina de reciclagem, na região Nordeste existem apenas 28, na região Sudeste 196, na Centro-Oeste apenas 19, e na região Sul, 356. Destaca-se o estado do Rio Grande do Sul, com 256 usinas de reciclagem, o que corresponde a 43% do total do país.

Ressalte-se ainda que, segundo os dados de 2000 do IBGE, 88% dos municípios brasileiros não têm nenhuma espécie de controle sobre os resíduos industriais gerados. Portanto, é muito difícil estabelecer as principais características do lixo urbano no Brasil. Segundo os dados do censo de 2000, 73% dos municípios brasileiros têm menos de 20 mil habitantes. Um município com essa população produz menos de dez toneladas diárias de resíduos urbanos. As quantidades de resíduos urbanos gerados nessas cidades são relativamente pequenas e, na grande maioria, não existe sequer um controle por pesagem dos resíduos.

A geração *per capita* é bastante variável, dependendo de condições locais, da época do ano e até de condições climáticas. A Tabela 5.2 mostra as quantidades de resíduos geradas nos municípios, calculadas pela Cetesb em pesagens realizadas em inúmeros municípios do estado de São Paulo.

Tabela 5.2 – Valores de coeficiente *per capita* de produção de resíduos sólidos domiciliares em função da população urbana.

População (em milhares de habitantes)	Produção de lixo (kg/habitante/dia)
Até 100	0,4
100 a 200	0,5
200 a 500	0,6
Maior que 500	0,7

Fonte: [Cetesb] Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares: relatório síntese. São Paulo, 2001. v.1.

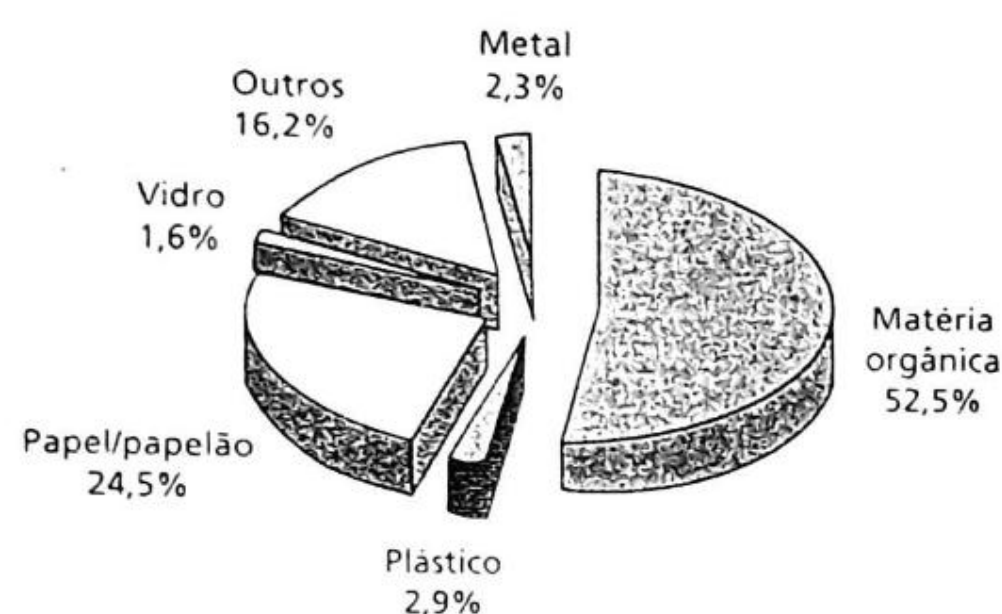
Consideram-se apenas os resíduos de origem domiciliar, ou seja, aqueles gerados nas residências e no pequeno comércio; assim, não foram contabilizados os resíduos gerados em indústrias, na limpeza de vias públicas, em podas, na limpeza de córregos e outros que, freqüentemente, são enviados para os aterros sob uma classificação única de resíduos sólidos urbanos.

Pode-se considerar que a média brasileira de produção de resíduos domiciliares está na faixa de 0,4 a 0,5 kg/habitante/dia.

A composição média do lixo domiciliar é apontada na Figura 5.3. Nota-se que a maior parte dos resíduos é de natureza orgânica, ou seja, composta por sobras de alimentos. Em países mais desenvolvidos, em geral, a quantidade de matéria orgânica é bastante inferior (média de 28% na Europa e de 13,6% nos Estados Unidos).

O peso específico aparente dos resíduos sólidos é um dado bastante importante para os projetos de gerenciamento de resíduos sólidos (escolha de sistemas de coleta, transporte, estações de transbordo, tratamento e destinação). O peso específico aparente tem diminuído com o passar do tempo. No início do século passado a densidade aparente do lixo domiciliar estava na faixa de 500 a 800 kg/m³; atualmente, os valores variam entre 150 e 300 kg/m³. A média estimada brasileira é de 190 kg/m³.

No Brasil, os diversos órgãos gestores têm se preocupado mais com os problemas de destinação de resíduos, ou seja, limitando-se ao planejamento imediato ou à solução ou reparação dos problemas já concretizados.

Figura 5.3 – Composição aproximada do lixo domiciliar brasileiro.

Fonte: Tiveron VPM. Gestão de resíduos sólidos no município de São Paulo no período de 1989 a 2000: atores em processo e conflito. [Dissertação de Mestrado]. São Paulo (SP): Procam – Interunidades em Ciência Ambiental/USP; 2001.

A ausência de definições e diretrizes nos três níveis do governo, associada à escassez de recursos técnicos e financeiros para o equacionamento do problema, além das dificuldades na aplicação das determinações legais, são a causa de inúmeros episódios críticos de poluição, relacionados à ausência de tratamento e à má disposição dos resíduos, gerando a contaminação do solo e dos recursos hídricos por metais pesados, solventes orgânicos halogênicos e resíduos de defensivos agrícolas.

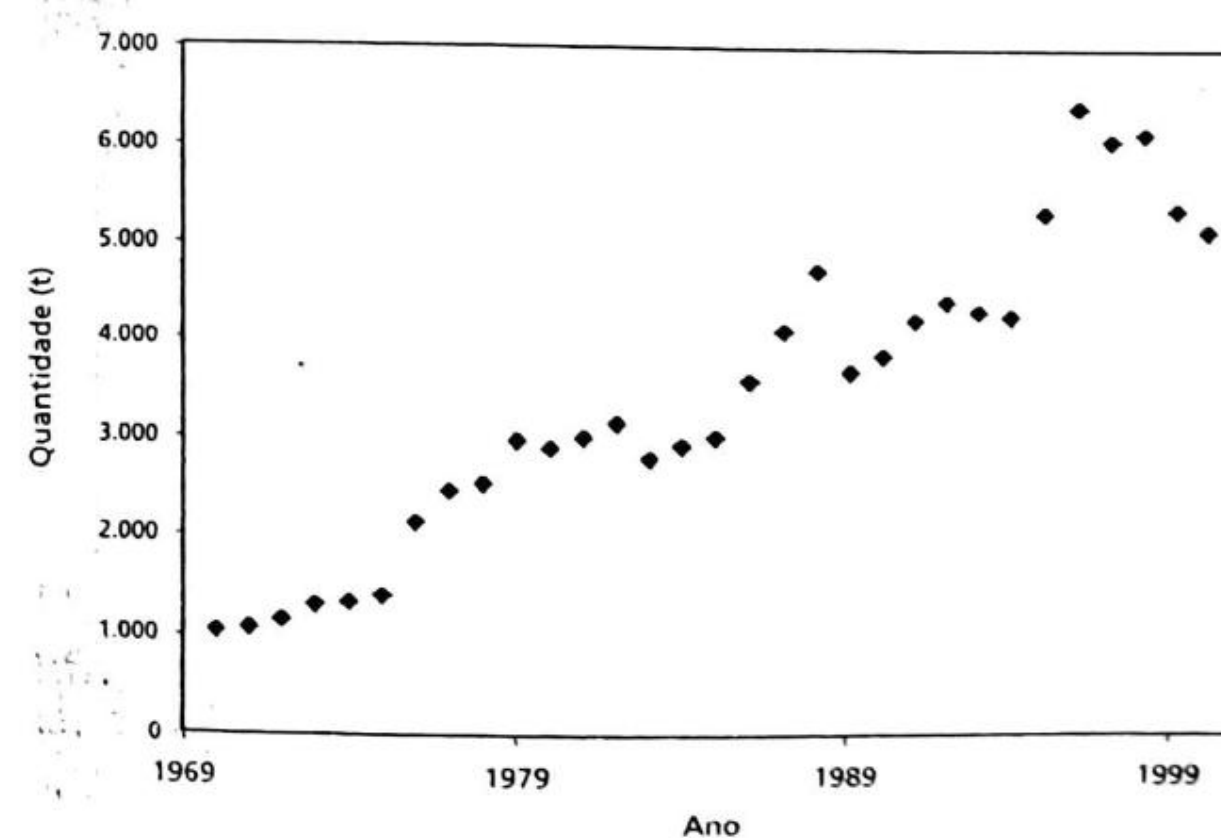
O MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

Neste item serão mostrados alguns dados relativos à cidade de São Paulo, escolhida para exemplo em razão de sua complexidade e também por dispor de uma considerável quantidade de recursos de gerenciamento de resíduos. Deve-se deixar bem claro que os dados de uma cidade como São Paulo não podem ser transportados para as demais cidades brasileiras, mas sua quantidade de exemplos e dados é especialmente didática para servir de base para a compreensão global do gerenciamento de resíduos urbanos, apesar de a administração de resíduos estar bastante deficiente nos últimos dez anos. O que se deseja não é apenas apresentar dados de uma cidade cosmopolita, mas sim dar fundamentos para a análise crítica de questões ambientais urbanas.

A população do município é de aproximadamente 10 milhões de habitantes, cerca de 6% da população nacional. A cidade abriga regiões com grandes diferenças de níveis de qualidade de vida. A renda *per capita* é equivalente ao dobro da renda média do país. A geração diária de resíduos é de cerca de 15 mil toneladas, sendo 11 mil toneladas de origem domiciliar e de varrição. A cidade conta com dois aterros sanitários, três estações de transbordo, duas usinas de compostagem e dois incineradores. Cerca de 92% de todo o resíduo gerado é enviado para os dois aterros sanitários. Nas usinas de compostagem e triagem, cerca de 12% do total de resíduos domiciliares é tratado.

Todos os serviços de coleta, tratamento e destinação são feitos por empresas contratadas, ficando o gerenciamento e controle a cargo do órgão público e das administrações regionais.

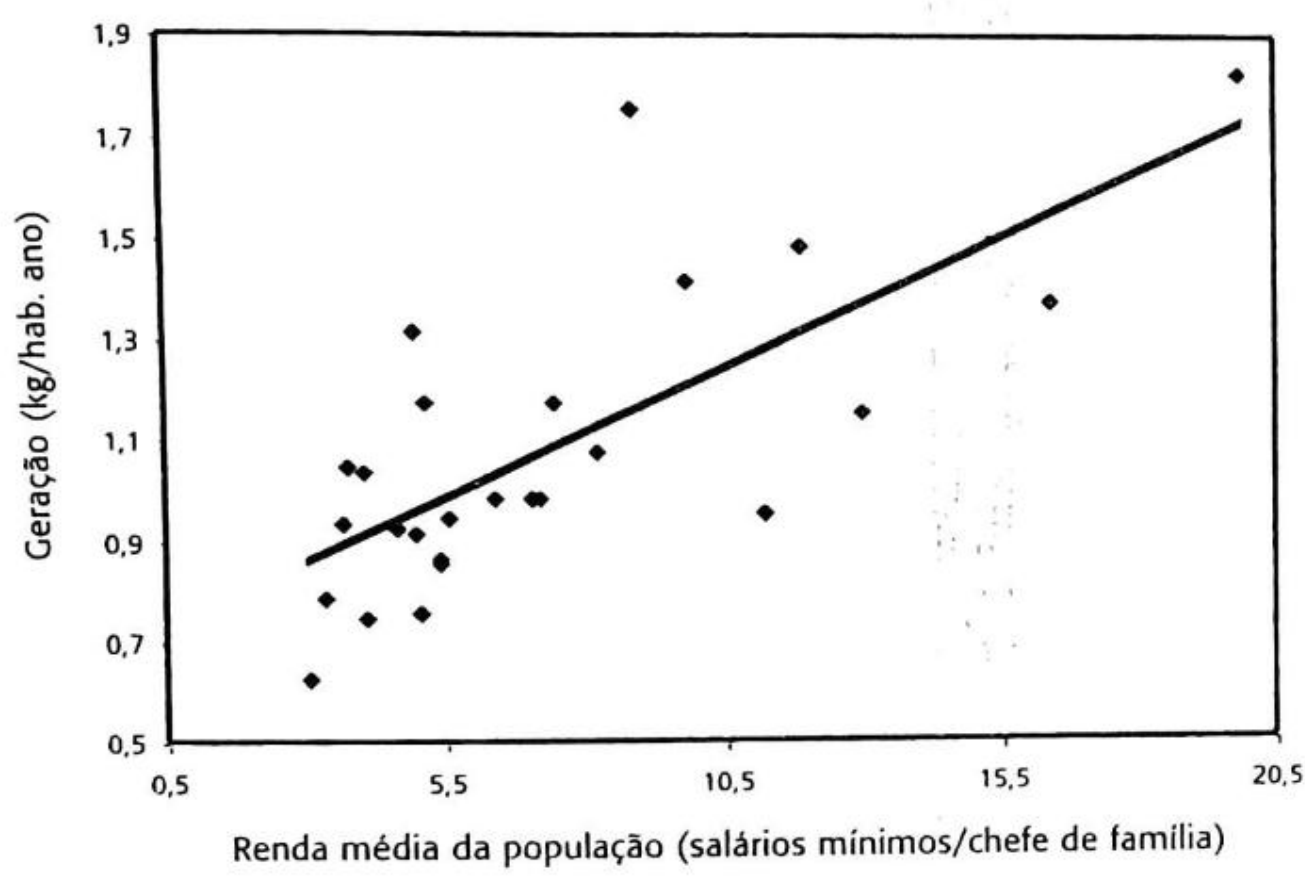
A Figura 5.4 mostra a evolução da produção anual de resíduos sólidos urbanos no município de São Paulo. Percebe-se o aumento acentuado no período de trinta anos, que corresponde a cerca de cinco vezes. Todavia, a população do município não cresceu na mesma proporção. O aumento da quantidade de resíduos gerados nos municípios é um fenômeno mundial.

Figura 5.4 – Evolução da produção anual de resíduos sólidos urbanos na cidade de São Paulo.

Fonte: Tiveron VPM. Op. cit.

A Figura 5.5 mostra a distribuição da geração de resíduos domiciliares de acordo com a renda familiar média da região administrativa. Percebe-se que existe uma dispersão dos dados, mas, de uma certa forma, com o aumento da renda na região ocorre o aumento da geração de resíduos.

Figura 5.5 – Distribuição da geração de resíduos de acordo com a renda familiar nas regiões administrativas de São Paulo.



Fonte: Tiveron VPM. *Op. cit.*

Essa tendência também se observa no mundo. Enquanto a média brasileira está próxima de 0,4 kg/habitante/dia, na cidade de Nova York ela é de aproximadamente 3 kg/habitante/dia, ou seja, 7,5 vezes superior, e a média de São Paulo é cerca de 2,5 vezes superior à nacional.

No perfil do lixo domiciliar pode-se observar uma expressiva diminuição da parcela orgânica ao longo do tempo e um aumento da parcela de plásticos, conforme mostram os dados da Tabela 5.3. A mesma diminuição da parcela orgânica pode ser observada nos países mais desenvolvidos, geralmente com aumento das parcelas de plástico e papel.

Tabela 5.3 – Evolução da composição do lixo domiciliar na cidade de São Paulo (dados em %).

Resíduo	1927	1957	1969	1976	1991	1996	1998	2000
Matéria orgânica	82,5	76	52,2	62,7	60,6	55,7	49,5	48,2
Papel e assemelhados	13,4	16,7	29,2	21,4	13,9	16,6	18,8	16,4
Embalagem longa vida	-	-	-	-	-	-	-	0,9
Plásticos (isopor, PET, plásticos mole e duro)	-	-	1,9	5	11,5	14,3	22,9	16,8
Metais ferrosos	1,7	2,2	7,8	3,9	2,8	2,1	2	2,6
Alumínio	-	-	-	0,1	0,7	0,7	0,9	0,7
Retalhos, couro e borrachas	1,5	1,7	3,8	2,9	4,4	5,7	3	-
Pilhas e baterias	-	-	-	-	-	-	-	0,1
Vidros	0,9	1,4	2,6	1,7	1,7	2,3	1,5	1,3
Terra e pedras	-	-	-	0,7	0,8	-	0,2	1,6
Madeira	-	-	2,4	1,6	0,7	-	1,3	2
Diversos	-	0,1	-	-	1,7	2,6	-	9,3

Fonte: Departamento de Limpeza Urbana (Limpurb), 2002.⁸

As duas usinas de compostagem em operação recebem, juntas, cerca de 1.200 toneladas diárias de resíduo. Desse total, cerca de 2,1% são reciclados a partir da triagem de materiais em esteiras e 34% são transformados em composto para condicionamento de solos. Os baixos preços de comercialização, tanto dos materiais segregados quanto do composto, ocorrem pelo fato de o lixo ser recebido na usina misturado. No caso dos materiais segregados, obtêm-se materiais sujos e no caso do composto, existem impurezas como vidro e altos níveis de metais pesados. Nas correias transportadoras os materiais são separados nas seguintes categorias: lata, vidro, plástico, alumínio, papelão, ferro e garrafas. O restante do material é enviado aos aterros sanitários. Portanto, de todo o resíduo coletado (15.000 t) apenas 8% é reciclado nas usinas de triagem e compostagem.

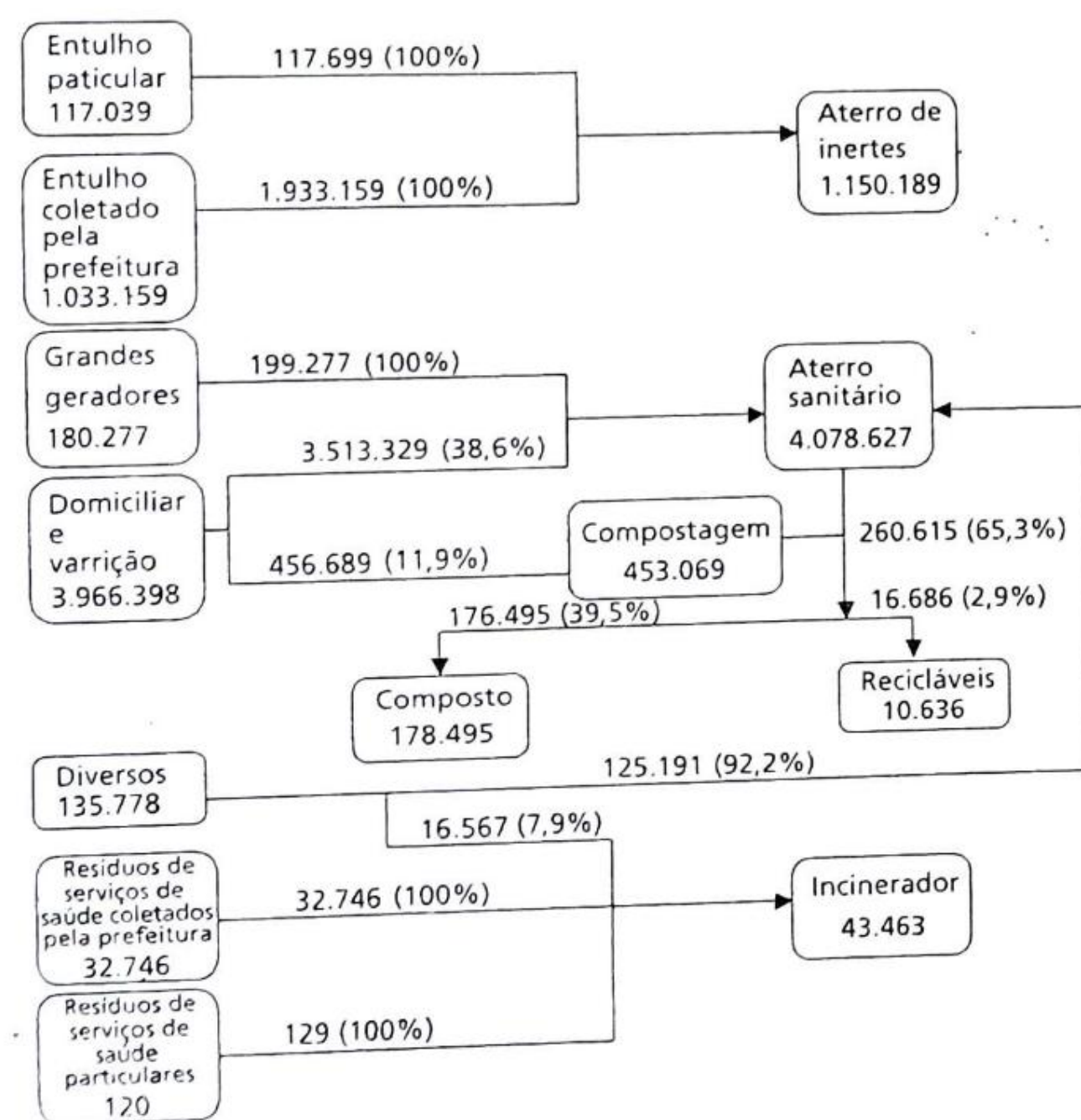
⁸ Disponível em <URL: <http://www.prodam.sp.gov.br/limpurb>> [2002 set 8]

Até 2001 havia somente um incinerador, que operava com capacidade de 90 toneladas/dia, usado também para resíduos de serviços de saúde, drogas apreendidas e remédios vencidos. Aproximadamente 20% da carga transforma-se em escória, que é enviada aos aterros sanitários. Atualmente este incinerador está desativado.

Os dois aterros sanitários em operação estão em fase de esgotamento e não há previsão para o início de operação de nenhum outro, portanto existe o risco de colapso do sistema de limpeza pública.

A Figura 5.6 mostra o fluxograma de destinação de resíduos sólidos no município.

Figura 5.6 – Fluxograma do manejo de resíduos urbanos da cidade de São Paulo (dados em toneladas, coletados de julho de 1998 a junho de 1999).



Fonte: Limpurb, 2002.⁹

⁹ Idem.

O sistema de coleta seletiva foi iniciado no final da década de 1980; todavia, nunca chegou a ser expressivo. Além disso, foi praticamente abandonado no início da década de 1990; portanto, há cerca de dez anos praticamente inexistiu um programa da administração pública voltado à minimização na fonte ou de coleta seletiva.

O investimento anual da prefeitura nesse sistema é de cerca de 500 milhões de reais. Em termos absolutos é o maior orçamento do país, entretanto, dividindo-se pela população é bastante inferior, quando comparado a cidades como Porto Alegre, Curitiba, Belo Horizonte ou Rio de Janeiro.

GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Segundo a Constituição Federal de 1988, no art. 30, cabe ao poder público local a competência pelos serviços de limpeza pública, incluindo-se a coleta e a destinação dos resíduos sólidos urbanos. Portanto, cumpre ao município legislar, gerenciar e definir o sistema de saneamento básico local, bem como a instituição e arrecadação de tributos de sua competência. Além disso, segundo o art. 182 da Constituição Federal, o município deve estabelecer as políticas de desenvolvimento urbano, ordenando o pleno desenvolvimento das funções sociais e garantindo o bem-estar de seus habitantes.

A taxa de limpeza pública é o instrumento legal que estabelece o suporte financeiro para a execução dessas metas. A Constituição Federal, no art. 145, inc. II, estabelece as taxas como forma de tributo possível para a execução de serviços públicos prestados ou postos à disposição do contribuinte. Os recursos da *taxa de limpeza pública* normalmente estão de alguma forma vinculados ao imposto territorial, o qual tem como base de cálculo a área da edificação.

Em grande parte dos municípios brasileiros os recursos oriundos da taxa de limpeza pública não cobrem as despesas necessárias à prestação do serviço. Assim, o restante dos recursos necessários deve vir de outras fontes de arrecadação.

Fica claro, então, que a gestão de serviços de limpeza pública está, de maneira intransferível, a cargo de órgãos públicos, cabendo a estes a opção de executar os serviços diretamente ou terceirizá-los em contratos específicos.

Durante muitos anos o descarte de resíduos em aterros sanitários foi o único procedimento adotado. Mesmo a incineração era vista apenas como

um método de redução de volume dos resíduos, com a única função de aumentar a capacidade desses aterros.

O descarte indiscriminado de resíduos tóxicos por anos seguidos provocou episódios lamentáveis do ponto de vista ambiental. Um dos casos mais conhecidos é o de Love Canal, nos Estados Unidos, que ficou marcado como um símbolo de contaminação ambiental por resíduos tóxicos. A região de Love Canal foi usada na década de 1940, principalmente pela Hooker Chemical Co., como local para o descarte indiscriminado de resíduos industriais perigosos.¹⁰ A partir da década de 1960, o local onde estava localizado o antigo depósito começou a ser urbanizado, com a construção de centenas de casas na comunidade.

Na década de 1970, um odor forte começou a assolar a região. Esse odor causava náuseas e ardência nos olhos dos moradores. Pesquisas nessa região mostraram que pelo menos uma centena de enfermidades atacavam os moradores daquela comunidade, principalmente as crianças. A dioxina foi identificada como o principal contaminador. A United States Environmental Protection Agency (Usepa) condenou a região para fins habitacionais e até hoje ela passa por um longo processo de descontaminação.

Isso levou à revisão da política de descarte de resíduos em aterros, com um aumento rigoroso na classificação do tipo de resíduo que pode ser descartado diretamente.

A incineração também não apresenta uma solução definitiva, já que os resíduos tratados por esse método sofrem principalmente uma redução de volume pela destruição da parte orgânica e evaporação da água. Além disso, há a geração de cinzas no processo, que representa a parte inorgânica do resíduo formada basicamente por metais. Esses são oxidados durante a combustão, formando um resíduo que, de uma forma geral, deve ser descartado com cuidado, pois houve a concentração de elementos que, a princípio, estavam diluídos.

TÉCNICAS PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

O gerenciamento de resíduos sólidos urbanos é entendido como um conjunto de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que

¹⁰ Lagrega MD, Buckingham PL, Evans JC. Hazardous waste management. New York: McGraw-Hill; 1994.

uma administração municipal desenvolve, com base em critérios sanitários, ambientais e econômicos para coletar, tratar e dispor o lixo de seu município.

Denomina-se *manejo* o conjunto de atividades envolvidas com os resíduos sólidos, sob o aspecto operacional, envolvendo sua coleta, transporte, acondicionamento, tratamento e disposição final. Já o *gerenciamento* abrange o manejo e também todos os aspectos relacionados ao planejamento, à fiscalização e à regulamentação.

A Tabela 5.4, adaptada da apresentada originalmente por Tchobanoglous, Theisen e Vigil, contém um quadro resumido dos processos de transformação utilizados para o manejo de resíduos sólidos domiciliares.

Tabela 5.4 – Técnicas de manejo de resíduos sólidos urbanos.

Processo de transformação	Métodos de transformação	Principal conversão em produtos
	Físicos	
Separação de componentes	Manual ou mecânica	Componentes individuais encontrados nos resíduos domiciliares
Redução de volume	Métodos de compactação e embasamento	Redução de volume do material original
Redução de tamanho	Métodos de cominuição	Redução de tamanho dos componentes originais
	Térmicos	
Combustão	Oxidação térmica	CO ₂ , SO ₂ , NO _x , outros produtos de oxidação, cinzas e escórias
Esterilização	Microondas	Eliminação de microorganismos patogênicos
Pirólise	Destilação destrutiva	PHAs, óleos, alcatrão, gases combustíveis
	Biológicos	
Compostagem aeróbia	Conversão biológica aeróbia	Composto humificado
Digestão aeróbia	Conversão biológica aeróbia	CH ₄ , CO ₂ , húmus

Fonte: Adaptado de Tchobanoglous G, Theisen H, Vigil S. Integrated solid waste management: engineering principles and management issues. New York: McGraw-Hill; 1993.

O termo *cominuição* é muito usado em mineração para identificar as etapas de diminuição de tamanho, usando moinhos e britadores.

Os principais tratamentos serão apresentados e discutidos em tópicos separados. O aterro sanitário não é entendido como uma forma de tratamento e sim de disposição final e, portanto, não está incluído na tabela. O fato de se utilizar uma determinada operação de tratamento não exclui o uso de outras. Assim, o resíduo domiciliar pode ser primeiro enviado para estações de triagem (tratamento físico), em seguida, a parte orgânica segue para o incinerador (tratamento térmico) ou para a compostagem (tratamento biológico), enquanto os recicláveis podem ser triturados e compactados (tratamento físico) para a venda. Outro exemplo é o tratamento de entulhos, que pode ser entendido como um processo de reciclagem que envolve uma série de operações classificadas de tratamento físico.

De uma forma geral, o conjunto de instrumentos de tratamento de resíduos é bastante limitado, como mostra a tabela. Cabe ao município escolher, dependendo das condições locais, o melhor conjunto de operações de manejo. Portanto, não existe nenhum sistema clássico de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

Entende-se por disposição final o processo de disposição em aterros sanitários. Desse modo, as demais formas de tratamento, incluindo incineração, não são denominadas disposição final, uma vez que nesses processos existe uma fração que não pode ser tratada ou subprodutos que não podem ser tratados de outra forma que não seja o aterro.

Essa denominação é estabelecida correntemente na literatura, por isso será utilizada aqui também. Todavia, o uso exclusivo do termo disposição final para a destinação em aterro sanitário também é sujeito a críticas, pois o próprio aterro gera resíduos que não são dispostos no aterro.

O co-processamento em fornos de cimento, usado para resíduos industriais, também pode ser entendido como uma forma de disposição final, apesar de poder ser considerado um processo de incineração. Os processos de coleta seletiva também entram no rol de processos de disposição final, dependendo simplesmente do gerenciamento daqueles.

COLETA

A coleta é a primeira etapa física do gerenciamento de resíduos. Normalmente é feita de porta em porta por caminhões que circundam as ruas

dos bairros segundo uma programação previamente estabelecida e comunicada à população local.

Conforme já mencionado, todas as etapas relativas ao manejo podem ser feitas pela prefeitura ou por uma empresa contratada.

Excluindo-se os programas de coleta seletiva, que serão discutidos mais adiante, a coleta de domicílios e estabelecimentos comerciais é obrigação do município até um determinado volume ou quantidade. Em geral, acima de 50 kg/dia ou 100 L/dia a responsabilidade é do gerador.

A coleta que utiliza caminhões com trituradores de resíduos aproveita melhor a capacidade do veículo transportador, reduzindo assim os custos de transporte e consumo de energia. A principal desvantagem desse tipo de transporte é que promove uma acentuada mistura dos resíduos. Assim, a parte orgânica fica ainda mais intimamente ligada à parte inorgânica, o que causa dificuldades numa eventual etapa de tratamento posterior, por exemplo, a triagem de materiais recicláveis ou o aproveitamento da parte orgânica para a compostagem ou reciclagem do conteúdo energético.

ESTAÇÃO DE TRANSBORDO

No caso de municípios de tamanho médio ou grande, ou nos casos em que o destino dos resíduos é relativamente distante, o uso de estações de transbordo causa a diminuição dos custos do sistema.

O objetivo imediato de uma estação de transbordo é armazenar resíduos temporariamente para que sejam transferidos para caminhões maiores. Como se trata de uma estação intermediária no trajeto dos resíduos, outras atividades podem otimizar os custos. Nas estações de transbordo podem ser feitas operações de tratamento físico, como redução de tamanho (*cominuição*) e de volume (*prensagem*).

As estações de transbordo também podem servir como centro de distribuição dos resíduos para seus diversos fins, destinando-se frações dos resíduos para aterros ou para estações de tratamento. A triagem também pode ser feita nesses locais, porém, o mais comum é se fazer isso em usinas de reciclagem ou de compostagem.

ATERRO SANITÁRIO

Segundo a ABNT,

aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos consiste na técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores se for necessário. (ABNT NBR 8419)

O aterro sanitário ainda é o processo mais aplicado no mundo, por causa de seu baixo custo. Ele é bastante seguro e simples, além do fato de que os processos de tratamento de resíduos também geram resíduos, os quais devem ser destinados a aterros. A incineração pode ser competitiva em relação ao aterro, dependendo da dificuldade de se encontrar um local para implantação.

A seguir serão apresentadas, resumidamente, algumas vantagens e desvantagens dos aterros sanitários.

Vantagens

- Baixo custo comparado com os outros tratamentos;
- Utilização de equipamentos de baixo custo e de simples operação;
- É possível a implementação em terrenos de baixo valor;
- Evitam a proliferação de insetos e animais que transmitem doenças; e
- Não estão sujeitos a interrupções no funcionamento por alguma falha (caso, por exemplo, de incineradores e usinas de compostagem).

Desvantagens

- Perda de matérias-primas e da energia contida nos resíduos;
- Transporte de resíduos à longa distância;
- Desvalorização da região ao redor do aterro;
- Riscos de contaminação do lençol freático;

- Produção de chorume e percolados; e
- Necessidade de manutenção e vigilância após o fechamento do aterro.

A construção de aterros sanitários é sujeita a uma série de regulamentações, entretanto existe distinção entre aterros para resíduos urbanos e industriais. Entre os aterros industriais também existem diferenças. Os aterros industriais são construídos para receber um tipo específico de resíduo e, em razão disso, existem basicamente três tipos de aterros industriais, respectivamente para resíduos das classes I, II e III. As principais normas relativas a aterros sanitários são:

- NBR 8418 – Apresentação de projetos de aterros industriais de resíduos industriais perigosos;
- NBR 8419 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos;
- NBR 10157 – Aterros de resíduos perigosos – critérios para projeto, construção e operação; e
- NBR 13.896 – Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, construção e operação.

O licenciamento ambiental das instalações de tratamento e disposição final de resíduos sólidos no Brasil é realizado a partir da aplicação da Resolução Conama n. 001/1986, que instituiu a obrigatoriedade do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (Rima) para as atividades modificadoras do meio ambiente. No estado de São Paulo, a normatização dos procedimentos para o licenciamento ambiental foi estabelecida pela Resolução da Secretaria de Estado do Meio Ambiente 42/1994, que institui dois instrumentos preliminares para a exigência ou dispensa de EIA e de Rima: o Relatório Ambiental Preliminar (RAP) e o Termo de Referência (TR).

A Resolução 42/1994 estabelece, ainda, que o licenciamento ambiental se dará pelo cumprimento de três etapas: Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação.

Elementos de um Aterro Sanitário

A implantação de aterros depende de uma série de critérios, os quais são resumidamente apresentados na Tabela 5.5.

Quadro 5.1 – Critérios para avaliação das áreas para a instalação de aterro sanitário.

DADOS NECESSÁRIOS	CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS		
	Recomendada	Recomendada com restrições	Não recomendada
Vida útil	Maior que 10 anos	10 anos, a critério do órgão ambiental	
Distância do centro atendido	Menor que 10 km	10 – 20 km	Maior que 20 km
Zoneamento ambiental	Áreas sem restrições no zoneamento ambiental		Unidades de conser- vação ambiental e correlatas
Zoneamento urbano	Vetor de crescimento mínimo	Vetor de crescimento intermediário	Vetor de crescimento máximo
Densidade populacional	Baixa	Média	Alta
Uso e ocupação das terras	Áreas devolutas ou pouco utilizadas		Ocupação intensa
Valorização da terra	Baixa	Média	Alta
Aceitação da popu- lação e de entida- des ambientais não- governamentais	Boa	Razoável	Inaceitável
Distância dos cursos d'água (córregos, nascentes etc.)	Maior que 200 m	Menor que 200 m, com aprovação do órgão ambiental	

Fonte: Jardim N. Op. cit.

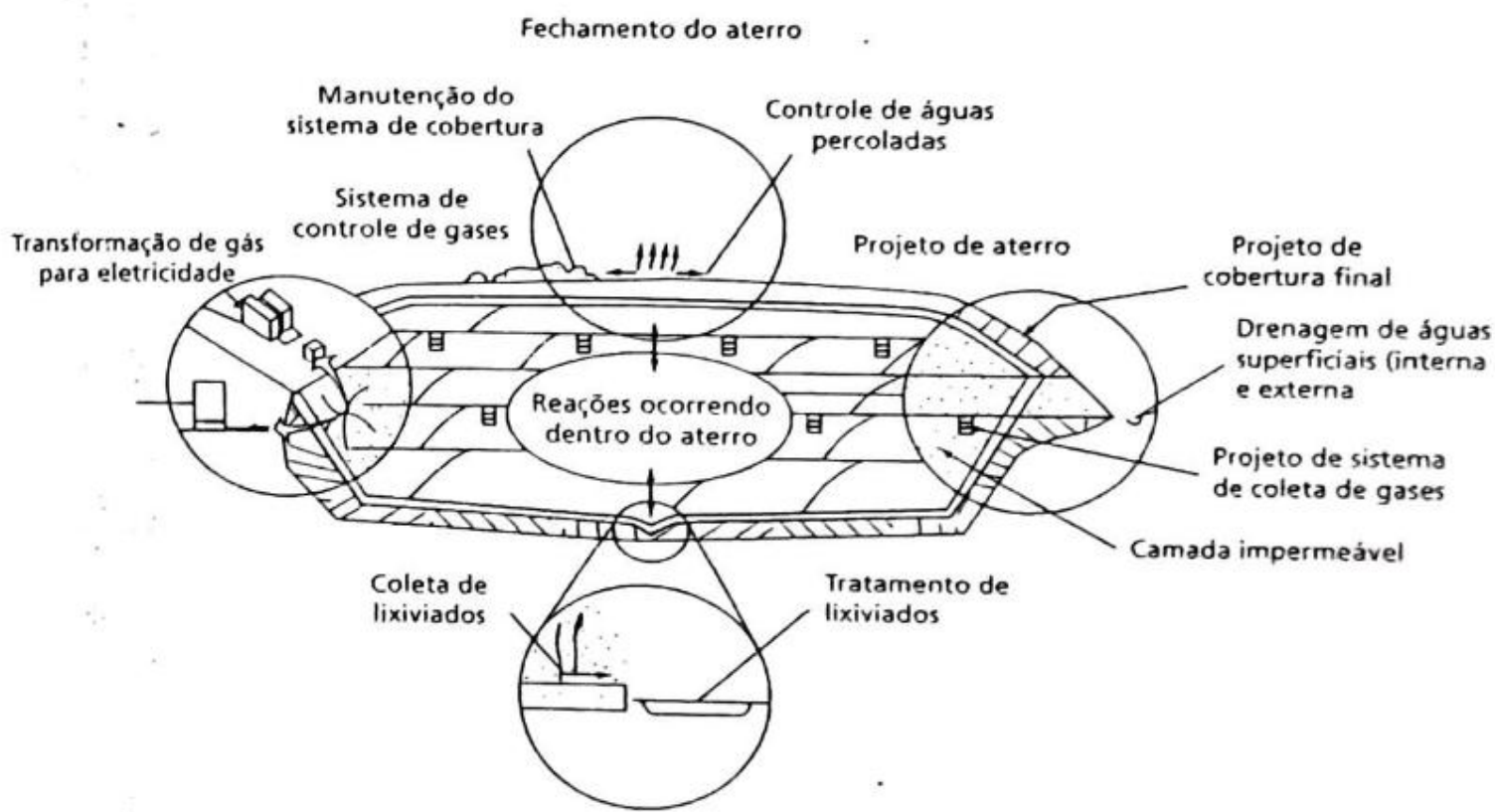
Os principais subprodutos de um aterro sanitário são o chorume, as águas percoladas e os gases. Todos esses materiais possuem sistemas de drenos específicos e, no caso dos efluentes líquidos do aterro (chorume e percolados), estes podem ser introduzidos de forma bastante controlada ou necessitam de tratamento em uma estação separada. A seguir serão apresentados alguns conceitos relativos aos aterros sanitários.

O chorume ou sumeiro é o líquido oriundo da decomposição do lixo e provém da umidade natural do lixo, da água de constituição dos vários materiais e do líquido gerado pela ação de microorganismos que atacam a matéria orgânica. A produção de chorume agrava-se sensivelmente nos períodos prolongados de chuva, principalmente se forem usados recipientes abertos no acondicionamento.

Os percolados ou águas percoladas são o conjunto de águas infiltradas no interior do corpo físico do aterro, resultantes entre diversas fontes eventuais de infiltrações (de chuvas, de lagoas vizinhas, do próprio lençol freático ou de nascentes). Assim, essa água que invade o aterro carrega parte do chorume e solubiliza elementos, havendo assim a possibilidade de contaminação do lençol freático e dos cursos d'água. Esse processo tende a se agravar nos períodos de maior densidade pluviométrica.

A Figura 5.7 apresenta um esquema dos principais componentes de um aterro sanitário.

Figura 5.7 – Esquema mostrando um corte transversal de aterro sanitário.



Fonte: Tchobanoglous G, Theisen H, & Vigil S. Op. cit.

Caso os percolados atinjam as águas superficiais ou profundas, pode haver a eutrofização, em razão de sua concentração de substâncias mine-rais. A contaminação das águas profundas por essas infiltrações depende

da permeabilidade e da capacidade de autodepuração do solo e da profundidade do lençol. Recomenda-se que a separação entre o fundo do aterro e o nível do lençol freático não seja inferior a 15 metros. No caso de aterros para resíduos industriais, em que há uma camada inferior que isola o aterro, essa distância pode ser menor.

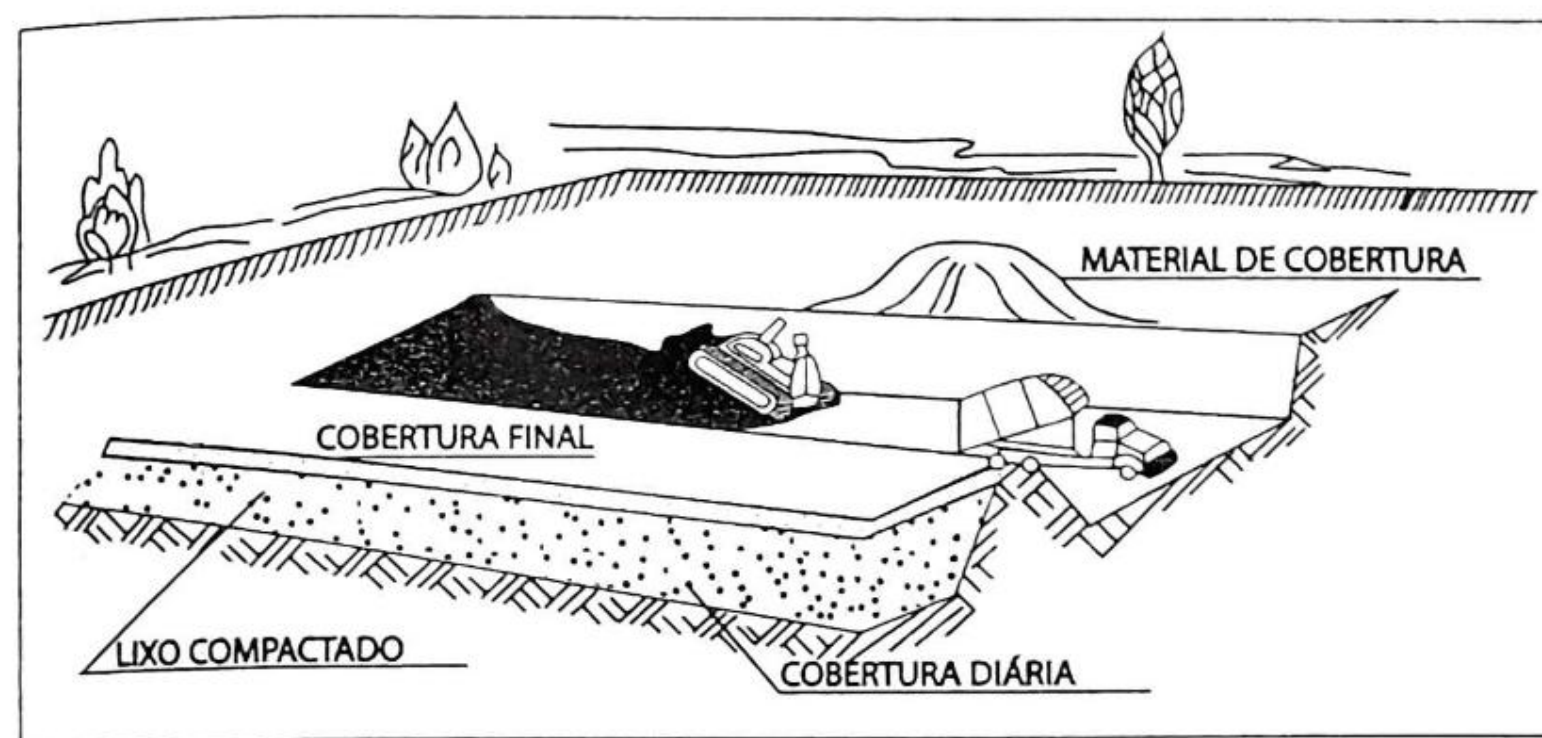
Para a coleta de percolados são propostos dois sistemas de drenagem: superficial e subsuperficial. O sistema de drenagem superficial tem como finalidade básica minimizar o acesso de águas de chuva ao interior do aterro, durante e após seu fechamento. Dessa forma, faz-se um conjunto de canais ou canaletes, envolvendo toda a área do aterro. Por outro lado, o sistema de drenagem subsuperficial visa evitar a contaminação do lençol freático e dos cursos d'água adjacentes, com a coleta dos líquidos percolados, direcionando-os para uma unidade de tratamento. Esse sistema constitui-se de drenos horizontais, preenchidos com britas, com inclinação de fundo de 2%. Sobre as britas devem ser colocados materiais sintéticos para a simples retenção de materiais em suspensão, evitando o entupimento do dreno. Toda a estrutura de drenagem é preparada antes da montagem das células.

No interior das células ocorre a decomposição anaeróbia dos resíduos orgânicos com geração de gases, principalmente o metano. O acúmulo desses gases, aprisionados dentro das células, pode causar sua expansão e a ruptura da camada de cobertura. Além disso, os gases são inflamáveis e aumentam o risco de combustão. Por fim, a liberação dos gases de forma descontrolada pode ser prejudicial à saúde humana. O controle da migração desses gases é realizado através de um sistema de drenagem, constituído por tubos de concreto ou PVC perfurados, revestidos por uma camisa de brita. Esses drenos deverão distar entre 50 e 100 metros uns dos outros.

De forma simplificada, a sequência natural de operações em um aterro é: escavação, impermeabilização de fundo, construção dos sistemas de drenagem verticais e horizontais, construção das células sanitárias e, finalmente, fechamento.

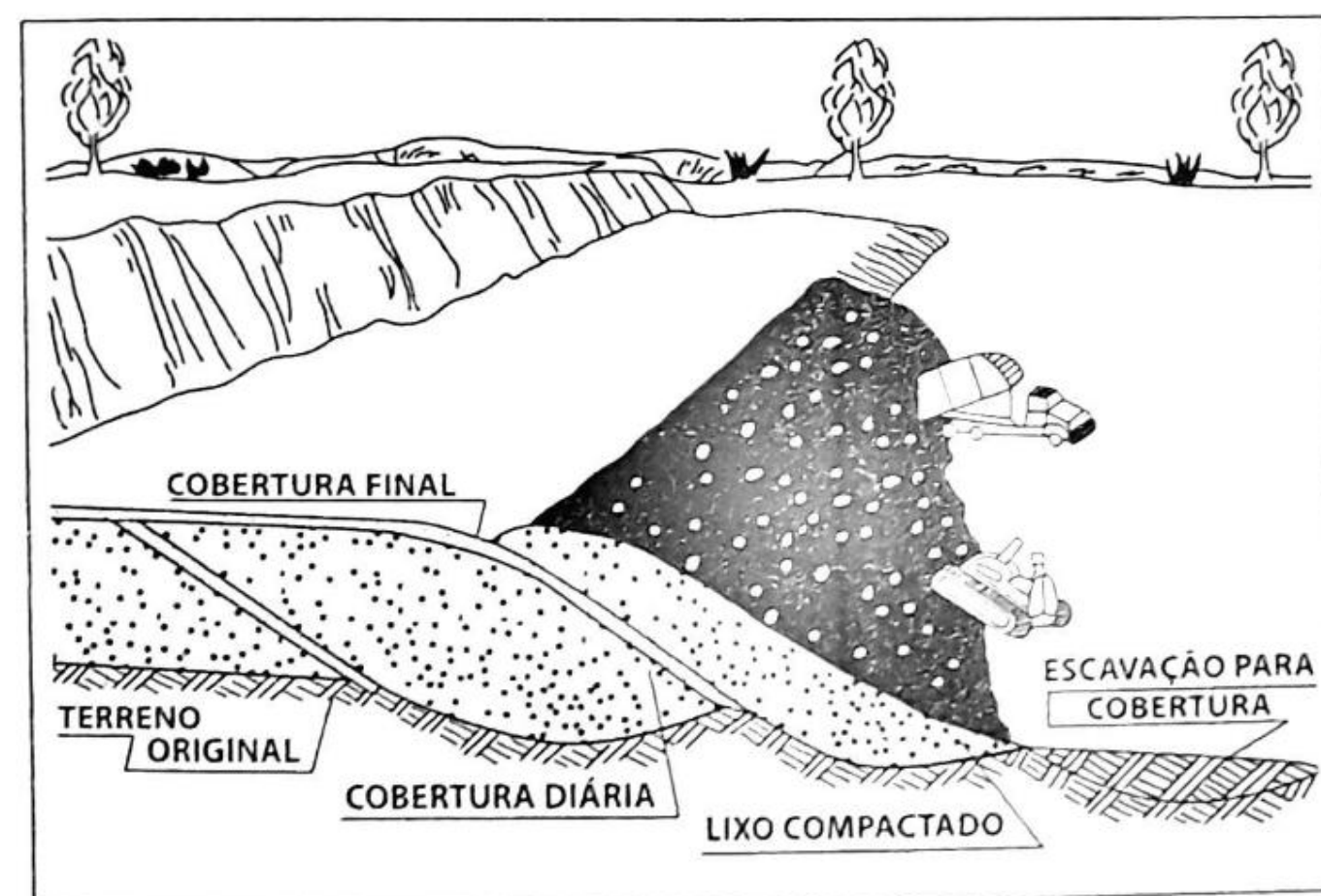
A forma de construção do aterro depende significativamente do tipo de solo, entretanto a metodologia de acondicionamento dos resíduos é essencialmente a mesma, ou seja, o resíduo é acondicionado em células sanitárias. Portanto, as células são em essência o espaço físico onde o resíduo é acondicionado todos os dias ou no período determinado. Basicamente existem três métodos de acondicionamento nas células: trincheiras (Figura 5.8), rampas (Figura 5.9) e áreas (Figura 5.10).

Figura 5.8 – Esquema do acondicionamento em células com a técnica de trincheiras.

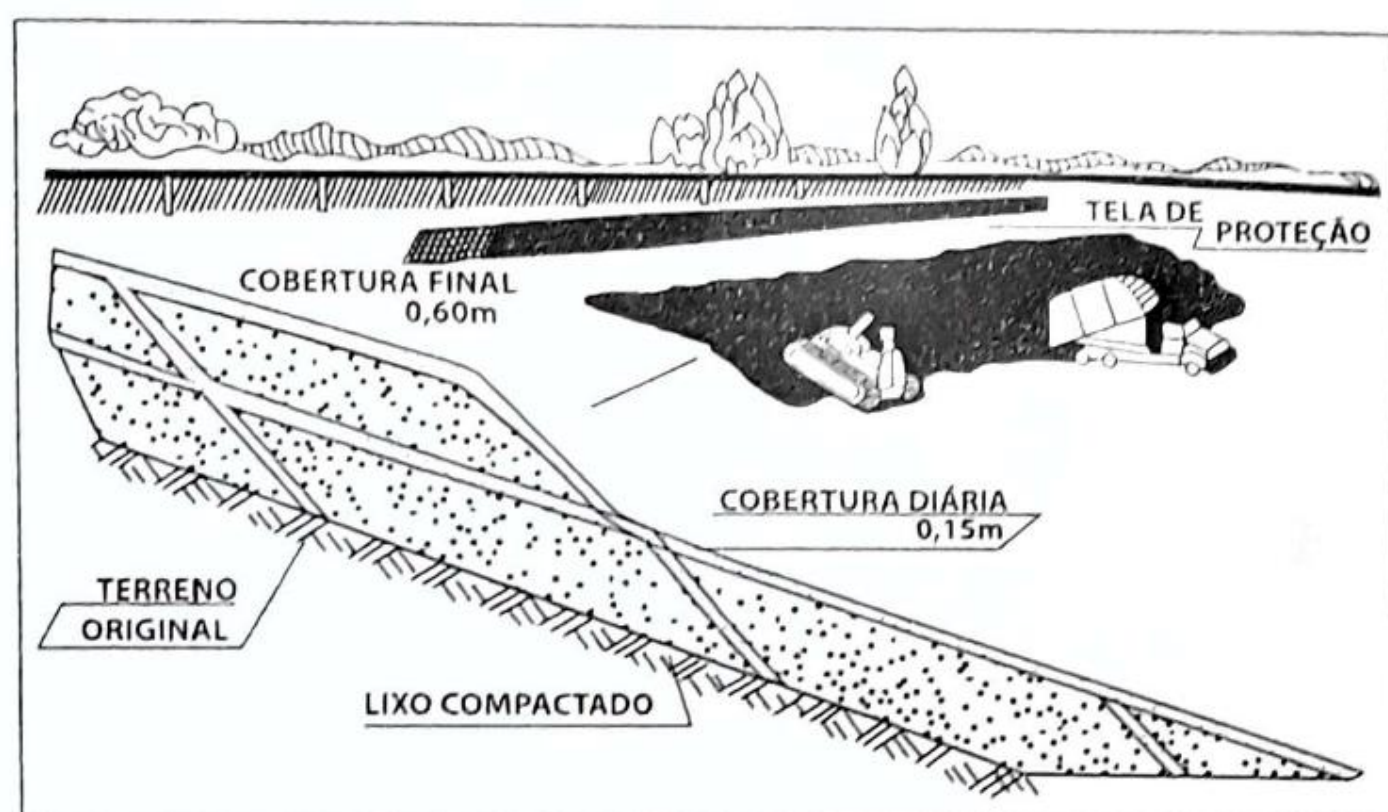


Fonte: Leite WCA. Estudo da gestão de resíduos sólidos: uma proposta de modelo tomando a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) como referência. [Tese de Doutorado]. São Paulo (SP): Escola de Engenharia de São Carlos/USP; 1997.

Figura 5.9 – Esquema do acondicionamento em células com a técnica de rampas.



Fonte: Leite WCA. Op. cit.

Figura 5.10 – Esquema do acondicionamento em células com a técnica de áreas.

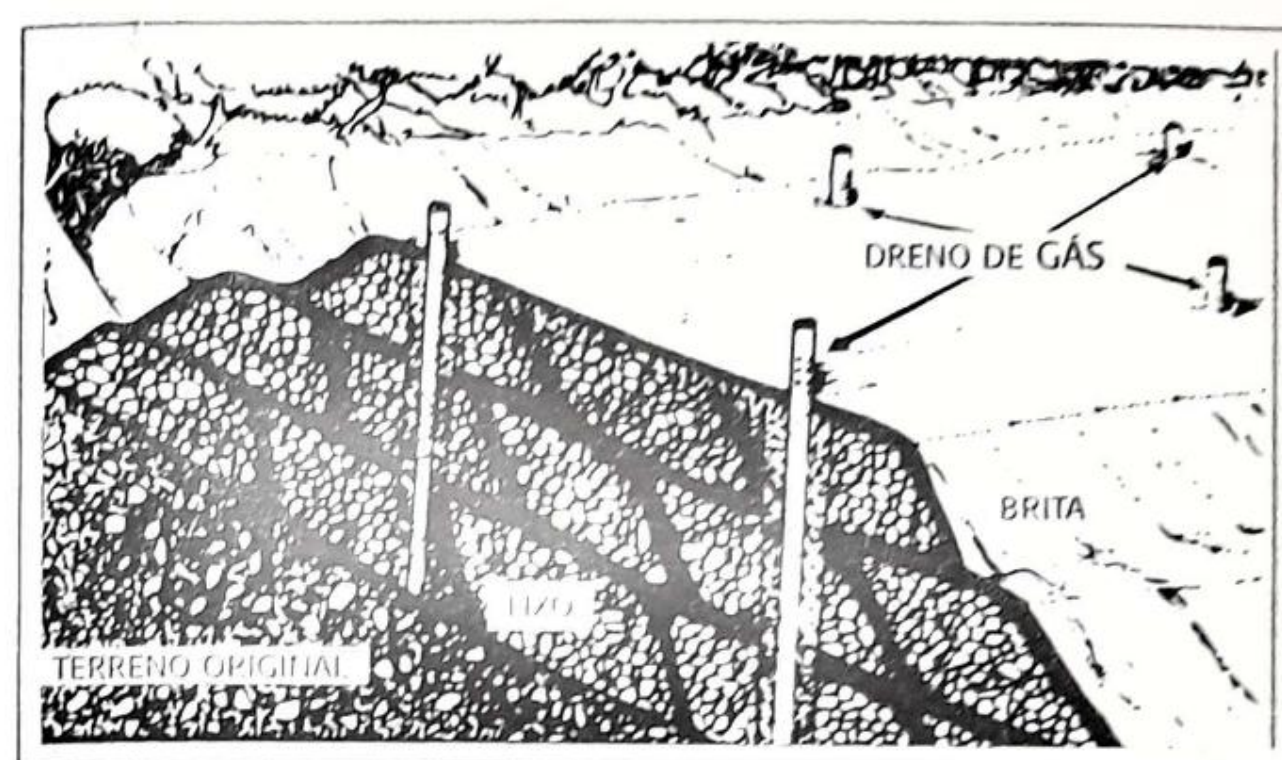
Fonte: Leite WCA. Op. cit.

A cada dia os resíduos são dispostos no solo, ocupando o lugar da célula, e compactados de baixo para cima contra uma elevação natural ou célula anterior. A altura típica de uma célula é de 2 a 4 metros. A compactação dos resíduos no talude é feita pela simples subida de tratores de esteiras de baixo para cima, visando a uma maior uniformidade de compactação. O fechamento da célula se faz por uma camada de terra de 15 a 30 centímetros, no final do dia ou quando a coleta estiver terminada. Com o objetivo de evitar o acúmulo de água de chuva, a cobertura das células é sempre feita com um plano ligeiramente inclinado.

Assim, o trabalho se repete diariamente, de célula em célula, que ficam sobrepostas, aproveitando as irregularidades do terreno. Quando toda a área destinada ao aterro estiver esgotada, ele é *selado* por uma cobertura de terra de 60 centímetros. A Figura 5.11 apresenta esquematicamente a estrutura de células, com o posicionamento dos drenos de saída de gases de coleta de gases.

Monitoramento do Aterro

Deverá constar no plano de monitorização do aterro sanitário uma inspeção periódica do estado dos solos, principalmente após o período das chuvas, de modo a detectar pontos de formação de erosões em potencial.

Figura 5.11 – Vista esquemática da estrutura de células com o posicionamento dos drenos de saída de gases.

Fonte: Leite WCA. Op. cit.

Essa inspeção verificará, entre outros aspectos, o solo, as obras de construção e drenagem propostas no projeto, o poço de acumulação, o equipamento de bombeamento, as linhas de recalque etc. As observações decorrentes das inspeções deverão constar no livro de ocorrências do aterro, para a tomada das providências cabíveis.

O sistema de drenagem do aterro deverá encaminhar os líquidos percolados para uma unidade de tratamento. Esses líquidos podem, ainda, conforme especificações de projeto, ser bombeados e inoculados na massa de resíduos aterrados. Um programa de medição de vazão, coleta e análise desses líquidos permitirá acompanhar o desempenho do sistema, fornecendo subsídios para a correção de possíveis distorções construtivas e/ou operacionais. Essas coletas e análises deverão ser realizadas com frequência trimestral, obedecendo às recomendações contidas em normas de órgãos de controle ambiental.

Ao redor do aterro, deverão ser plantadas "cercas verdes", de preferência com vegetação nativa. Com o intuito de padronizar o fluxo de veículos, deverão ser instaladas placas de sinalização interna e externamente ao aterro.

Uma limpeza geral na área do aterro deve ser prevista com frequência semanal, ou em períodos mais curtos, caso haja necessidade, principalmente nas proximidades da frente de trabalho.

O termo desativação do aterro sanitário compreende apenas o fim do recebimento de resíduos no local. Outras atividades deverão ter continuidade, a saber: recomposição do solo sobre as células e monitoração das águas superficiais e subterrâneas, com frequência semestral.

Deve-se levar em conta que o aterro sanitário precisa apresentar *vida útil* superior a dez anos. Um plano para o uso futuro da área onde se deseja implantar um aterro sanitário deve fazer parte do projeto, para que seja submetido à apreciação e aprovação dos órgãos responsáveis pelo assunto. Dependendo do uso futuro proposto para a área do aterro, os órgãos competentes poderão exigir a correção do projeto diante das proposições apresentadas.

De uma maneira geral, as áreas recuperadas após a conclusão de aterro sanitário são transformadas em jardins, parques, áreas esportivas e de lazer. Precauções especiais devem ser tomadas caso se queira construir edificações nessas áreas, pois os recalques diferenciais que a área do aterro sofre por causa da compressão das camadas superiores e da decomposição do lixo são inevitáveis e variam de aterro para aterro.

COMPOSTAGEM

A compostagem é sem dúvida um dos assuntos mais controversos em termos de tratamento de resíduos orgânicos, na medida em que uns a defendem fervorosamente e outros, com a mesma veemência, o rejeitam.

O processo de compostagem é um processo de reciclagem da parte orgânica do resíduo sólido urbano. Nos aterros, o processo de decomposição é anaeróbio em razão da escassez de ar dentro das células; no processo de compostagem ocorre uma digestão aeróbia do resíduo orgânico.¹¹

Todavia, não se pode considerar que o composto produzido é um adubo ou fertilizante, pois não possui a quantidade de macronutrientes exigida pelas especificações agrícolas. O composto geralmente contém uma quantidade total de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) entre 1,5 a 2,5% do peso, enquanto um adubo deve ter no mínimo 24%, ou seja, uma diferença de doze vezes. Assim, o composto orgânico é usado como um condicionador de solo.

¹¹ Kiehl E. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Ceres, 1985.

- *Principais vantagens da compostagem:* valorização da parte orgânica do resíduo sólido e aumento da vida útil do aterro sanitário.
- *Principais desvantagens:* mais caro que o aterro sanitário por tonelada de resíduo e grandes dificuldades para a comercialização do composto.
- *Vantagens do uso do composto na agricultura:* a retenção da umidade do solo em períodos secos, a preservação do solo contra a erosão, a melhora das propriedades biológicas do solo e o aumento da permeabilidade favorecem o estabelecimento de minhocas e besouros, os quais promovem o revolvimento da terra, o fornecimento de macronutrientes (N, P e K) e o fornecimento de micronutrientes – por exemplo, zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe) e cálcio (Ca).
- *Desvantagens do uso do composto:* restrições ao uso em razão de aumento do pH do solo, contaminações por resíduos (vidros, metais, plásticos) e presença de metais pesados; não é recomendado para o cultivo de plantas acidófilas (arbustos frutíferos, alface, feijão, cebola, cenoura, azaléias, coníferas, entre outras).

Usinas de compostagem são também usinas de triagem ou de reciclagem de materiais inorgânicos, pois existe a necessidade de separação prévia dos materiais inorgânicos. Assim, uma usina de compostagem e reciclagem trabalha com as seguintes etapas:

- Fossos ou pátios de recebimento e estocagem;
- Recolhimento manual em esteira e/ou separação automatizada;
- Trituração;
- Compostagem; e
- Peneiramento.

Os materiais inorgânicos são separados por classes (vidros, latas etc.) e vendidos ao mercado. A trituração tem por objetivo dar maior homogeneidade ao material, o que facilita a formação das leiras. Apesar de muitas unidades possuírem sistemas de trituração (moinhos de martelos, *shredders* ou moinhos de bolas), elas eventualmente não os utilizam, pois é praticamente impossível separar todo o material inorgânico nas esteiras, ficando o material orgânico contaminado. Essa contaminação é parcialmente eliminada no peneiramento após a compostagem, mas se o material for triturado antes a eficiência do peneiramento diminui consideravelmente. O material inorgânico que fica retido na peneira não possui qualidade para ser reciclado e é destinado ao aterro.

De uma forma geral, cerca de 50% do material que chega à usina retorna ao aterro sanitário.

O processo de compostagem é essencialmente composto por duas etapas:

I. Etapa ativa de degradação

II. Fase de maturação e humificação da matéria orgânica

O processo de digestão aeróbia, desenvolvido por uma população mista de microorganismos aeróbios e anaeróbios (bactérias, protozoários, fungos, actinomicetos etc.) causa o aumento da temperatura da massa, a qual deve ser controlada entre 45 e 65°C. Essa faixa de temperatura é considerada ideal, pois acima dela os próprios agentes da fermentação não conseguem sobreviver e abaixo, os ovos de insetos e larvas encontram condições de subsistir. No final da primeira etapa o material atinge o estado de bioestabilização, no qual a decomposição ainda não foi completada.

A fase de maturação ou de cura do composto ocorre na segunda etapa. O processo termina quando o composto chega ao estado de humificação, apresentando as melhores condições como condicionador de solo.

O tempo de compostagem varia basicamente em razão da forma como ela é feita. A compostagem natural demora cerca de dois a três meses para a primeira etapa e mais três a quatro meses para a segunda etapa, enquanto a compostagem por métodos mais acelerados demanda de 25 a 35 dias até a bioestabilização e de trinta a sessenta dias para a humificação.

Os parâmetros que mais influenciam o processo são:

- **Carbono (C):** o carbono é usado pelos microorganismos como principal fonte de energia e constituinte das estruturas celulares. Parte da perda de massa e da geração de calor, característicos do processo de compostagem, ocorrem pela oxidação do carbono para dióxido de carbono (CO_2). O carbono está presente na fração orgânica dos resíduos sólidos domésticos, na forma de restos de alimentos (açúcares, proteínas, gorduras), facilmente degradáveis, e nos papéis e restos de limpeza de jardins (celulose e lignina), cujas moléculas são mais resistentes ao ataque microbiológico.
- **Nitrogênio:** o nitrogênio é o principal constituinte do protoplasma dos microorganismos participantes da compostagem. As células dos microorganismos possuem aproximadamente 50% de carbono e 5% de nitrogênio, na base de peso de material seco. Dessa forma, o crescimento

dos microorganismos se dá obrigatoriamente na presença de nitrogênio. Nos resíduos sólidos domiciliares, o nitrogênio é encontrado em materiais provenientes de limpeza de jardins, quintais, restos de alimentos e excreções de animais.

- **Relação C/N:** a taxa ótima para a relação C/N no início da compostagem fica entre 30:1 e 35:1. Quando a relação C/N é alta, com excesso de carbono sobre nitrogênio, as taxas de reprodução e crescimento celular declinam na proporção da exaustão do nitrogênio. Para esses casos, é aconselhável a adição de material rico em nitrogênio (exemplo: lodo de esgoto) ao resíduo a ser compostado. Quando a relação C/N é baixa, ou seja, há excesso de nitrogênio na massa compostável, ele é eliminado com a volatilização da amônia, restabelecendo o equilíbrio da relação C/N. O composto para ser aplicado no solo deverá ter uma relação C/N inferior a 20:1. Um produto com relação mais elevada possibilitará aos microorganismos a utilização do excesso de carbono existente no composto, retirando o nitrogênio do solo, e favorecendo, portanto, a escassez de nitrogênio para os vegetais. Esse nitrogênio será devolvido ao solo somente pela morte dos microorganismos. Quando liberada no solo, a amônia pode ser tóxica para as raízes das plantas.
- **Temperatura:** A temperatura máxima deverá estar entre 55 e 60°C, para evitar a morte dos microorganismos úteis ao processo. O modo mais simples de controle da temperatura é o revolvimento periódico das leiras de compostagem.
- **Aeração:** a aeração é importante para o controle da temperatura, aceleração da atividade microbiana e diminuição da emissão de odores. A taxa de aeração torna-se excessiva quando ultrapassa a taxa de geração de calor na massa de compostagem, causando esfriamento, ou quando acelera a evaporação, reduzindo a umidade a níveis que inibem a atividade microbiológica.
- **Umidade:** a umidade é o meio de transporte dos alimentos solúveis e dos detritos da reação. Para o metabolismo dos microorganismos a umidade deverá estar na faixa de 40 a 60%, sendo este último valor aceitável para a fermentação em condições de aeração forçada e com o material em agitação, e o primeiro para leiras. Valores de umidade inferiores a 40% inibem a atividade dos microorganismos no processo de compostagem, enquanto o excesso de umidade, superior a 70%, pode provocar condições de anaerobiose, por causa da obstrução dos vazios pela água, restringindo a difusão de oxigênio.

Com relação ao ambiente, a compostagem pode ser feita de duas formas: em ambiente aberto, ou seja, as leiras são formadas em um pátio e revolvidas manual ou mecanicamente, ou em ambientes fechados, como silos, digestores, torres e células de fermentação. Nos locais onde se necessita tratar uma grande quantidade de resíduo, os processos acelerados são mais usados. Nesses processos, em geral, a massa é revolvida em equipamentos que promovem o revolvimento contínuo, normalmente tambores. O controle da velocidade de rotação permite o controle da movimentação da carga e, portanto, das variáveis que são função da aeração, como temperatura e umidade. Além disso, durante a rotação o material é homogeneizado e sofre redução de tamanho de partículas, causada pela rolagem.

É muito conveniente ressaltar que uma quantidade significativa de usinas de compostagem está total ou parcialmente desativada, por causa principalmente dos problemas já apontados. A falta de planejamento, tanto operacional quanto tecnológico, aliada à falta de conhecimento técnico (principalmente dos problemas e custos) e também à facilidade com que se obteve financiamento para esse tipo de usina na década de 1980, também foram, em resumo, fatores decisivos para o fracasso de algumas instalações.

INCINERAÇÃO

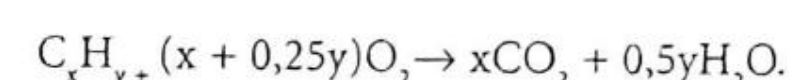
A incineração, como técnica de eliminação de resíduos, é uma prática que existe há aproximadamente cem anos, desde que a primeira unidade foi instalada na cidade de Nottingham, Inglaterra. Os incineradores sempre foram associados a instalações que emitiam forte odor e uma fumaça preta característica.¹²

A princípio, a incineração visava unicamente à redução do volume dos resíduos, para aumentar a capacidade dos aterros industriais. Atualmente, a incineração tem também como meta a eliminação de resíduos tóxicos ou perigosos, provocando sua combustão e gerando como subprodutos escórias, gases e cinzas volantes.¹³

¹² Dempsey CR, Oppelt ET. Incineration of hazardous waste: a critical review update. *Air & Waste* 1993; 43: 25-73.

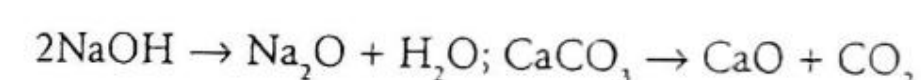
¹³ Theodore L, Reynolds e J. *Introduction to hazardous waste incineration*. New York: John Wiley & Sons; 1987.

É bastante comum na literatura encontrar a denominação *destruição de resíduos*. Na realidade, a palavra destruição do ponto de vista formal não pode ser usada nesse sentido, entretanto é aceita em razão de seu uso disseminado em todas as línguas. No incinerador ocorrem reações de oxidação e de decomposição dos resíduos. De forma bem simplificada, os produtos orgânicos (comida, tecidos, plásticos) são compostos em ligações envolvendo carbono e hidrogênio (H); no incinerador acontece a oxidação (ou combustão) desses compostos, segundo a reação esquemática:



A reação de combustão de produtos orgânicos normalmente libera calor, que é transferido para os gases e para o material sólido. Esse calor transferido para os gases pode ser aproveitado na saída do forno, usando-se trocadores de calor, e esse é o princípio para a reciclagem energética de resíduos (*waste to energy*). Independente do aproveitamento do potencial térmico das reações de oxidação da matéria orgânica, praticamente toda a matéria orgânica sólida pode ser transformada em gases, dependendo das condições de incineração, portanto há uma efetiva redução do volume.

Por outro lado, os produtos inorgânicos podem sofrer decomposição térmica e, nesse caso, há também perda de massa. As equações seguintes mostram casos de decomposição térmica:



Há, portanto, a formação de gases e de óxidos. Os metais eventualmente presentes se oxidam total ou parcialmente, formando óxidos, e esses óxidos, por sua vez, geram a escória que fica no reator.

Alguns compostos têm alta pressão de vapor na temperatura de trabalho e são eliminados na forma de vapor, por exemplo, compostos halogênicos e alguns óxidos metálicos. Esses vapores se condensam no sistema de tratamento de gases, formando, junto com os produtos de combustão incompleta, as cinzas volantes.

Incineradores são basicamente reatores com câmaras de alta temperatura e atmosferas oxidantes. Para que a oxidação e/ou decomposição completa dos resíduos possa ocorrer, devem-se controlar de forma criteriosa as condições de combustão. Os fatores que devem ser controlados são:

- *Quantidade de oxigênio disponível na câmara de combustão.* Deve-se garantir que existe oxigênio suficiente para a total oxidação dos resíduos.
- *Turbulência.* Há que se garantir a constante mistura entre os resíduos e a atmosfera do forno. A maior turbulência favorece as reações de combustão e/ou decomposição térmica e diminui o tempo de permanência dentro da câmara aquecida, garantindo assim o melhor rendimento do forno.
- *Temperatura de combustão.* É necessário manter o sistema numa temperatura em que se possa garantir a total degradação dos compostos orgânicos. De uma forma geral, o tempo de permanência diminui com o aumento da temperatura. Não basta apenas trabalhar com uma temperatura elevada, é preciso que haja homogeneidade de temperatura no reator para garantir o tempo de permanência na faixa de temperaturas.
- *Tempo de permanência dos compostos na temperatura de combustão.* Os resíduos devem permanecer na região de alta temperatura por tempo suficiente para sua total combustão e/ou decomposição, e, para isso, deve-se observar a cinética de oxidação dos compostos. A permanência dos compostos em altas temperaturas por tempo insuficiente provoca a formação de produtos perigosos de combustão incompleta. Tais produtos podem ser fontes de poluição do ar.¹⁴

A Figura 5.12 mostra um esquema das condições para a oxidação e/ou decomposição completa dos resíduos durante o processo de incineração.

Assim, todos esses quatro fatores devem ser continuamente controlados, e a negligência em apenas um deles resulta na eliminação incompleta dos resíduos, o que pode acarretar a geração de produtos perigosos de combustão incompleta. Para que todas essas condições possam ser alcançadas, para os diferentes tipos e formas físicas dos resíduos, foram desenvolvidos incineradores de diferentes configurações. São quatro os tipos mais comuns de incineradores: de forno rotativo de injeção líquida, de leito fixo e de leito fluidificado.¹⁵

Além dos controles intrínsecos do processo de incineração, existe a necessidade do controle dos subprodutos do processo. Provavelmente, a parte mais crítica de um incinerador está no controle das emissões, seja de material particulado, seja de gases. Portanto, o sistema de controle de poluição é tão importante quanto o reator propriamente dito.

¹⁴ Theodore L. Reynolds J. *Op. cit.*
CR, Oppelt ET. *Op. cit.*

Figura 5.12 – Condições necessárias para a incineração completa de resíduos.



Fonte: Dempsey CR, Oppelt ET. *Op. cit.*

Os gases saem do incinerador com temperaturas na faixa de 800°C a 1.000°C. Assim, seu resfriamento é necessário para que o tratamento contra a poluição atmosférica seja feito. O resfriamento normalmente se faz em trocadores de calor, que, além de resfriar os gases, aproveitam o calor deles, transformando-os em energia ou vapor, que é usado para cobrir as despesas de incineração.

O material particulado resultante é controlado por equipamentos como filtros de manga, precipitadores eletrostáticos e lavadores venturi.

Em razão da presença de cloretos, enxofre e nitrogênio na carga, existe sempre a possibilidade de formação de gases ácidos na saída (HCl, SO₂ e NO_x). A forma considerada mais eficiente é o resfriamento dos gases por lavadores com jatos de água contendo cal, seguido por filtros de manga. Essa técnica permite a condensação dos metais e minimiza a formação de dioxinas e furanos.

Incineradores do Tipo Forno Rotativo

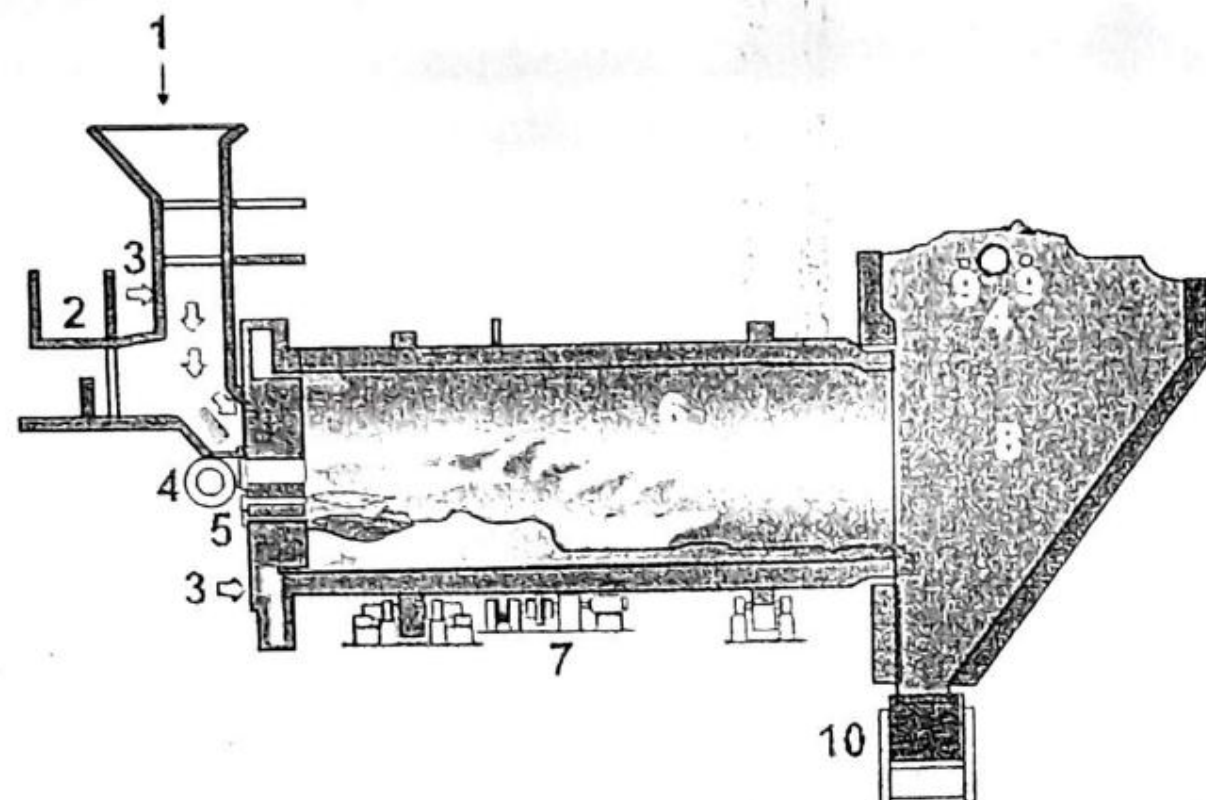
Incineradores do tipo forno rotativo foram inspirados nos fornos de fabricação de cal virgem.¹⁶ Pela versatilidade desse tipo de incinerador,

¹⁶ Theodore L. Reynolds J. *Op. cit.*

atualmente ele é o equipamento mais popular para a incineração de resíduos sólidos urbanos.

O esquema de funcionamento desse equipamento é mostrado na Figura 13.5: ele consiste em um cilindro de aço revestido de material refratário e isolante, montado sobre um sistema de rolamentos que impõem uma rotação de 0,5 até 2 rotações por minuto, com inclinação de 1 a 2°. A carga é transportada pelo rolamento ao longo do comprimento do forno.

Figura 5.13 – Esquema demonstrando o incinerador do tipo forno rotativo com câmara de pós-combustão e locais de alimentação do forno. 1) Alimentação do resíduo sólido; 2) Alimentação de tonéis; 3) Sistema de injeção de ar primário; 4) Queimador de resíduos líquidos; 5) Lanças para injeção de resíduos líquidos e pastosos; 6) Câmara de combustão; 7) Motor para a rotação do forno; 8) Câmara de pós-combustão; 9) Injeção de resíduo aquoso; 10) Descarregamento das cinzas.¹⁷



Fonte: Dempsey CR, Oppelt ET. *Op. cit.*; Theodore L, Reynolds J. *Op. cit.*

Nesse tipo de incinerador pode-se tratar resíduos líquidos, sólidos e pastosos, com poder calorífico superior a 2.300 kJ/kg. Esse equipamento

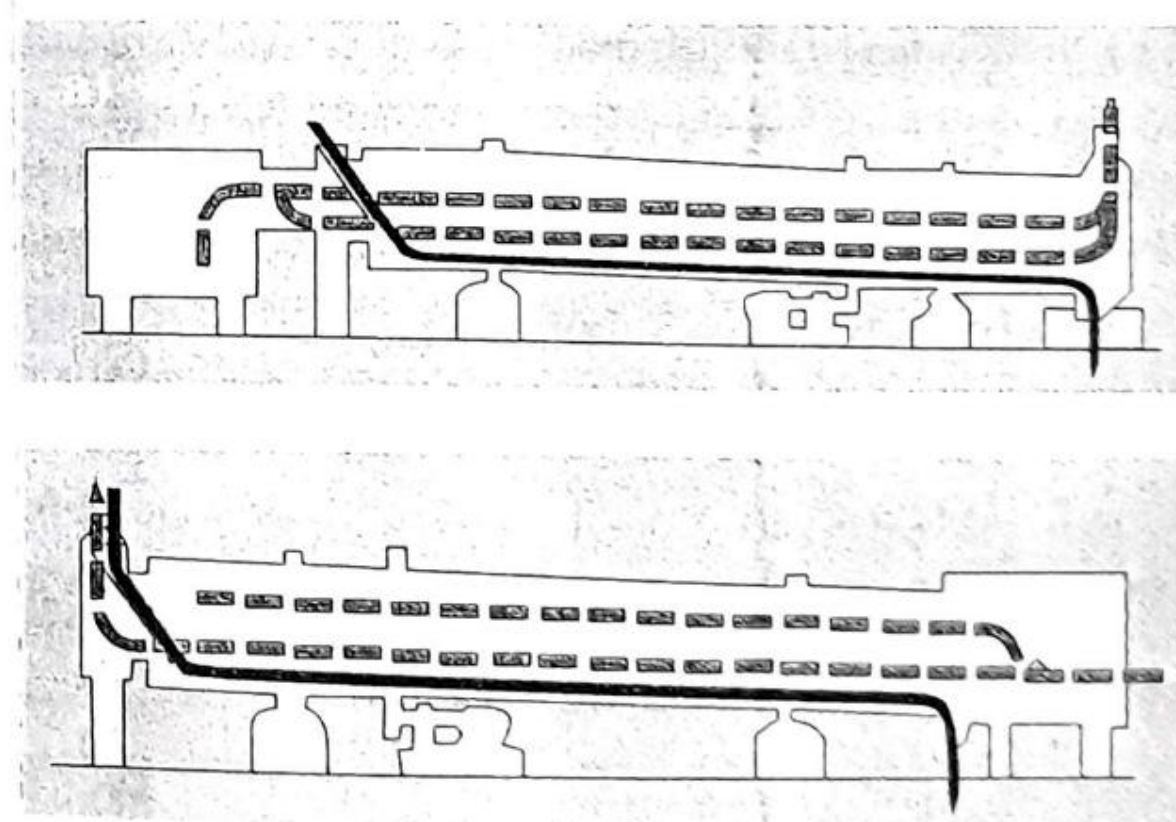
¹⁷ ABB Enertech Ltd. Waste-to-energy – Industrial Waste Rotary Kiln. [online] Available from: <URL: http://www.abbenertech.ch/waste/combustion_rotary_ill1.html> [1998 Dec 1].

opera em temperaturas de 815°C a 1.650°C. Em conjunto com a carga, introduz-se geralmente óxido de cálcio para a neutralização de eventuais vapores ácidos gerados durante a queima.

Os resíduos sólidos podem ser introduzidos junto à zona quente, ao lado da fonte de energia. Assim, a carga é submetida a uma velocidade de aquecimento elevada desde o início e segue em paralelo aos gases resultantes da combustão no queimador (carregamento concorrente). Outra forma é a introdução dos resíduos na zona fria, com a carga caminhando em direção à zona quente. Nesse caso, os resíduos caminham num fluxo contrário ao fluxo dos gases gerados na combustão do queimador, sofrendo um ciclo térmico de aquecimento que depende do perfil térmico do forno. Essa configuração é chamada de carregamento em contracorrente.

A Figura 5.14 mostra um esquema de carregamento e transporte concorrente e contracorrente da carga sólida em um incinerador do tipo forno rotativo. A configuração concorrente é indicada para resíduos que apresentem poder calorífico, entrando como fonte energética do forno. O carre-

Figura 5.14 – Esquema de transporte da carga e dos gases dentro do incinerador. a) Carregamento concorrente: O fluxo de gases (tracejado) apresenta o mesmo sentido do transporte dos resíduos (contínuo). b) Carregamento em contracorrente: O fluxo apresenta sentido oposto ao do transporte dos resíduos.



Fonte: Head Wrightson Associates Ltd. Rotary dryers, coolers and kilns. Available from: <URL: <http://www.hwai.demon.co.uk/dryers.htm>> [1998 Dec 1].

gamento em contracorrente é indicado para resíduos que não apresentam poder calorífico e elevada umidade, pois, com o aquecimento gradual, o resíduo torna-se seco, garantindo o controle de temperatura da zona quente. O carregamento em contracorrente apresenta as melhores condições de turbulência, mas apresenta também uma maior dificuldade de controle da emissão de particulados.¹⁸

O tempo de permanência do resíduo no forno é diretamente proporcional ao comprimento do forno e à rotação. A geometria do forno impõe todas as características de processo ao equipamento.¹⁹ Geralmente, o forno rotativo é caracterizado pela relação comprimento/diâmetro (C/D) do cilindro, e essa relação está entre dois e dez. A relação C/D e a velocidade de rotação do forno são elementos fundamentais para determinar o tipo de resíduo que pode ser processado. Altos valores para a relação C/D resultam em baixas velocidades de rotação; fornos com essa característica podem ser usados para a destruição de resíduos que exijam elevados tempos de permanência para a completa combustão.²⁰

No forno rotativo, a turbulência da carga é garantida pela rotação do forno. Com o movimento de rotação a carga apresenta uma constante agitação pelo rolamento ao longo do percurso. O volume que a carga ocupa é de cerca de 20% do volume total do forno.²¹

Muitas vezes o perfil térmico do forno rotativo não garante um tempo de permanência suficientemente longo para a oxidação dos compostos gasosos resultantes da queima. Nesse caso, os incineradores são acrescidos de câmaras de pós-combustão²² logo na saída dos gases e dos sólidos, conforme mostrado na configuração do incinerador da Figura 5.15. Com essas câmaras, garante-se que os componentes gasosos sejam completamente destruídos pelo aumento do tempo de permanência dos compostos gasosos em altas temperaturas.

Essa configuração de forno permite a incineração de praticamente todos os tipos de resíduos existentes. Os resíduos sólidos ou pastosos introduzidos diretamente ao forno como carga sólida, que apresentam poder calorífico, necessitam de queimadores específicos. Para resíduos líquidos sem

¹⁸ Theodore L, Reynolds J. *Op. cit.*

¹⁹ *Idem, ibidem.* Dempsey CR, Oppelt ET. *Op. cit.*

Figura 5.15 – Esquema de um incinerador de combustão líquida.



Fonte: Dempsey CR, Oppelt ET. *Op. cit.*

poder calorífico, ou resíduos que apresentam reações endotérmicas (consumidoras de calor), colocam-se queimadores auxiliares de combustível para evitar a queda da temperatura do forno. Portanto, não é incomum a eliminação de resíduos clorados, como PVC, e de compostos usados antigamente em guerras químicas nos incineradores de fornos rotativos.²³

Incinerador de Injeção Líquida

Como o próprio nome sugere, este tipo de incinerador é usado para a combustão de resíduos líquidos, e, portanto, é mais aplicável aos resíduos industriais. Normalmente tem formato cilíndrico, podendo ser vertical ou horizontal.

A alta eficiência de combustão do resíduo é obtida pela mais intensa nebulização. Utilizam-se queimadores projetados para produzir gotículas com 1 µm de diâmetro médio, enquanto queimadores convencionais trabalham com 10 a 50 µm. A Figura 5.15 apresenta um esquema da câmara de combustão deste tipo de incinerador.

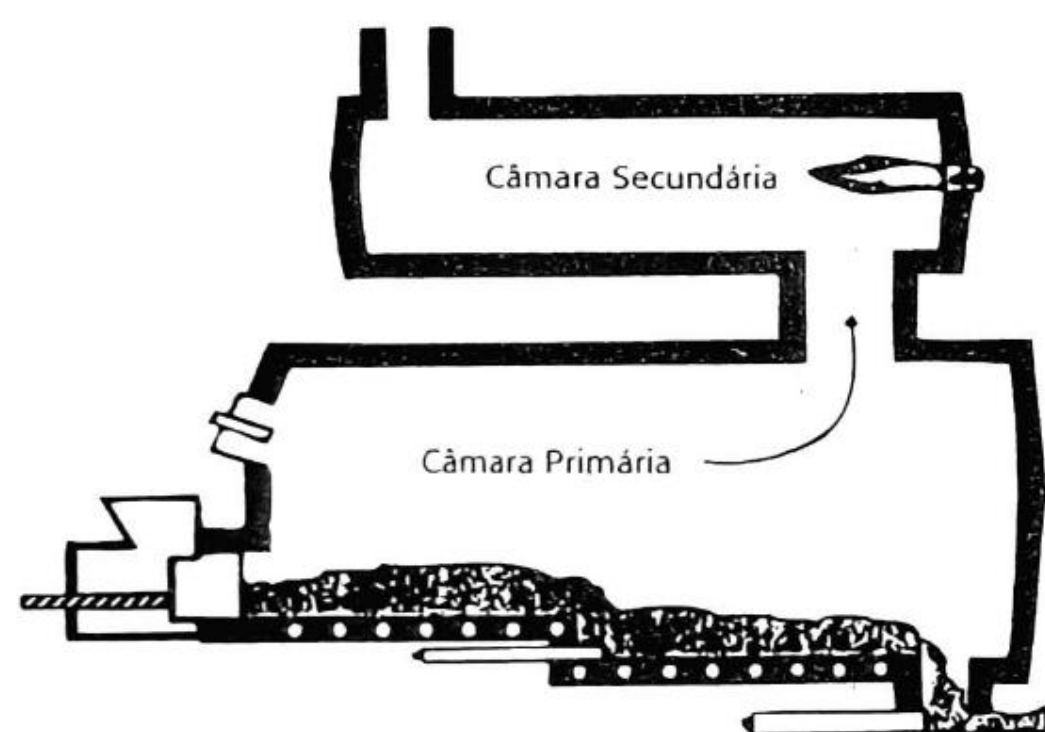
Incinerador de Leito Fixo

Conforme pode ser visto esquematicamente na Figura 5.16, neste tipo de incineração a câmara é dividida em duas. Na primeira injeta-se de 50 a

80% da quantidade estequiométrica de ar. Isso causa uma atmosfera parcialmente redutora, o que favorece a volatilização ou pirólise do resíduo. Os produtos da pirólise – metano (CH_4), etano (C_2H_6), outros hidrocarbonetos e monóxido de carbono (CO) – junto com os produtos da combustão, passam para uma câmara secundária, onde injeta-se o ar restante para completar a combustão.

Em razão do seu menor custo, e também por causar menores emissões de materiais particulados, esses equipamentos são mais competitivos que os fornos rotativos para pequenos volumes diários.

Figura 5.16 – Esquema de um incinerador de câmaras múltiplas tipo retorna.



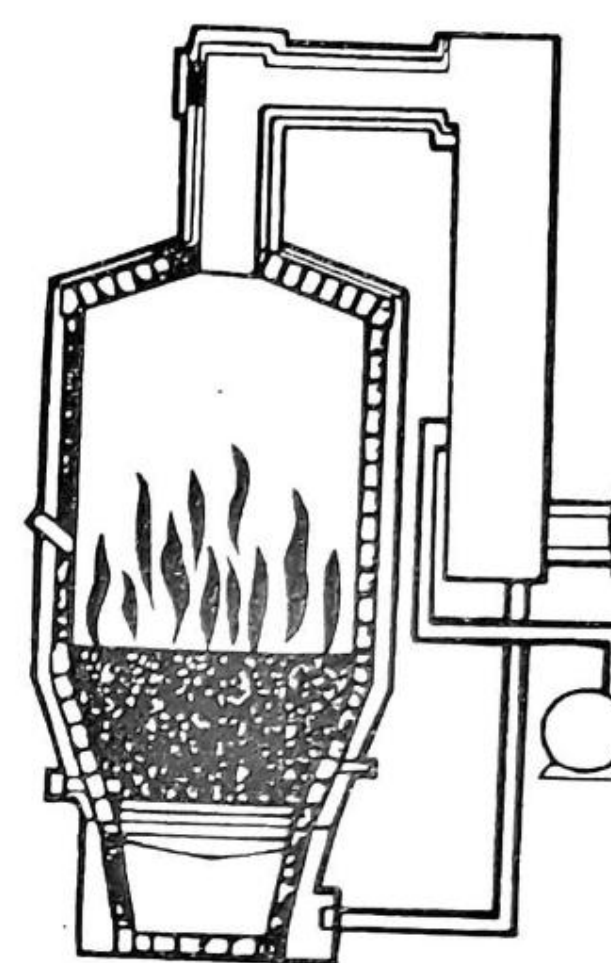
Fonte: Dempsey CR, Oppelt ET. *Op. cit.*

Incinerador de Leito Fluidificado

Um incinerador de leito fluidificado é composto dos elementos indicados na Figura 5.17.

Basicamente, o gás injetado atravessa uma placa de orifícios e fica pulverizado. Esse jato entra em contato com os resíduos sólidos e os deixa em suspensão. Na suspensão aquecida ocorrem as reações. A vantagem do leito fluidificado é que o material do ponto de vista de troca de calor comporta-

Figura 5.17 – Esquema de um incinerador de leito fluidificado.



Fonte: Mullen JF. Consider fluid-bed incineration for hazardous waste destruction. *Chem Eng Prog* 1992 June; p.55-8.

se como se fosse um líquido; portanto, a homogeneidade de temperatura é bastante superior, comparando-se com os demais tipos de incineradores, e, além disso, os tempos de permanência também são maiores, de cinco a oito segundos.

Esse sistema é bastante aplicado para incinerar resíduos contaminados com materiais orgânicos perigosos, como anilina ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$), tetracloreto de carbono (composto), clorofórmio (CHCl_3), clorobenzeno (composto), cresol ($\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$), paradiclorobenzeno (composto), metil-metacrilato (composto), naftaleno (C_{10}H_8), percloroetileno (composto), fenóis ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$), tetracloroetano (composto), tricloroetano (composto) e tolueno ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$).

Como existe uma maior turbulência e maior homogeneidade de temperaturas no leito, os incineradores de leito fluidificado podem trabalhar com temperaturas menores, comparando-se aos fornos rotativos, atingindo a mesma eficiência.

GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

O gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos é a definição de um procedimento que envolve várias técnicas de manejo e que será usado pelo município, visando otimizar o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. Portanto, o gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos constitui-se em um conjunto de instrumentos e técnicas que o município deve aplicar com o objetivo de aumentar a eficiência de cada um dos instrumentos de manejo. Além disso, esse gerenciamento visa aproveitar ao máximo os potenciais dos resíduos sólidos com relação à sua reutilização e à sua reciclagem.

As simples ações de coleta, transferência para estação de transbordo (para cidades grandes e médias) e disposição em aterro sanitário são a forma mais barata de gerenciamento, dentre as aceitáveis do ponto de vista da saúde ambiental. A cidade de São Paulo usa essas estratégias para cerca de 90% dos seus resíduos urbanos.

Os sistemas mais complexos incluem princípios de valorização dos resíduos e de aumento da vida útil do aterro. Esses princípios envolvem o aproveitamento dos resíduos por meio de programas de coleta seletiva e usinas de reciclagem para o caso dos resíduos inorgânicos; para os resíduos orgânicos, os tratamentos usados são compostagem, biodigestão e aproveitamento energético, ou seja, combustão controlada para a geração de energia (*waste to fuel*). A simples incineração é também uma forma de aumento da vida útil dos aterros.

Apesar de todo valor econômico e energético dos resíduos, todas as estratégias de gerenciamento integrado incluem etapas de valorização dos resíduos, que implicam um custo total por tonelada maior que o custo da simples fase de coleta-transbordo-aterro, mesmo quando se contabilizam os custos indiretos, como a economia de aterro.

O trabalho de Calderoni mostra o potencial desperdiçado no lixo e sinaliza que não se pode aceitar o nível atual de gerenciamento e de tecnologia existentes; portanto, há uma meta a ser atingida: a minimização da geração e o aproveitamento mais racional. Em suma, mostra os desperdícios da vida atual.²⁴

Assim, a opção por formas mais elaboradas de gerenciamento, por exemplo, o gerenciamento integrado, é uma opção política e não simplesmente técnica, que, portanto, faz parte de um quadro mais abrangente, denominado gestão de resíduos sólidos.

Apesar de ser a forma mais barata de destinação, a opção pela simples disposição em aterros sanitários não é a forma mais adequada de gerir o problema. O volume de matérias-primas e de energia desperdiçada nos resíduos sólidos contrapõe-se ao compromisso do desenvolvimento sustentável. Entretanto, no gerenciamento dos resíduos sólidos a questão econômica é um fator que deve ser considerado pelos técnicos do município. Conseqüentemente, existe a necessidade da criação de novas tecnologias de fabricação, novas formas de educação ambiental (as atuais mostram-se muito ineficientes e ineficazes) e novas tecnologias de tratamento.

Além dos problemas citados no parágrafo anterior, a disposição de resíduos sólidos urbanos diretamente em aterros, sem um tratamento prévio, acarreta um volume elevado de material a ser depositado. A atual situação de escassez de novos locais para a construção de aterros sanitários leva à necessidade da implementação de novos sistemas de gerenciamento de resíduos, que, apesar de mais caros, diminuem consideravelmente a utilização de aterros.

Um programa de gerenciamento integrado é mais do que um simples programa de tratamento de resíduos; é um programa composto por várias etapas, todas com um objetivo comum. O gerenciamento integrado é composto de sistemas de estocagem, coleta, tratamento e destinação final, interligados de maneira a oferecer o melhor custo-benefício para a gestão de resíduos de uma determinada região. Alguns exemplos de estratégias de gerenciamento integrado são mostradas resumidamente a seguir:

- 1 – Coleta de resíduos sólidos sem implementação de coleta seletiva, seguida de uma etapa de triagem para a separação dos materiais que podem ser reciclados. O material restante é incinerado e as cinzas são encaminhadas para aterros sanitários.
- 2 – Coleta de resíduos sólidos sem implementação de coleta seletiva, seguida de uma etapa de produção de combustível através do resíduo e da recuperação de metais. Incineração do material orgânico. As cinzas e o resíduo gerado na produção de combustível e na recuperação de metais são encaminhados para aterros sanitários.

- 3 – Os resíduos sólidos municipais são encaminhados diretamente para aterros sanitários e os resíduos de poda vão para compostagem. O composto gerado é vendido e o resíduo desse processo é disposto em aterros sanitários.
- 4 – Coleta seletiva de materiais orgânicos e inorgânicos. O material orgânico é disposto diretamente em aterros sanitários, enquanto o inorgânico segue para uma unidade de triagem e reciclagem. O material que não pôde ser aproveitado é disposto em aterros sanitários.
- 5 – Basicamente igual à estratégia 4, mas com a implementação de incineração dos resíduos orgânicos e a disposição final das cinzas.
- 6 – Coleta seletiva de materiais orgânicos e inorgânicos. O material orgânico é encaminhado para uma unidade de produção de combustível e para a recuperação de metais, o material restante é incinerado e as cinzas dispostas em aterros sanitários. Enquanto o material inorgânico segue para uma unidade de triagem e reciclagem, o que não pôde ser aproveitado é disposto em aterros sanitários.
- 7 – Coleta seletiva de materiais orgânicos e inorgânicos. O material orgânico é encaminhado para uma unidade de produção de combustível e para compostagem e o material restante é disposto em aterros sanitários. Enquanto o material inorgânico segue para uma unidade de triagem e reciclagem, o que não pôde ser aproveitado é disposto em aterros sanitários.
- 8 – Coleta seletiva de materiais orgânicos e inorgânicos e de resíduos de poda. O material orgânico é disposto em aterros sanitários. O inorgânico segue para uma unidade de triagem e reciclagem, e o material que não pôde ser aproveitado é disposto em aterros sanitários. Os resíduos de poda vão para compostagem e os resíduos da compostagem são dispostos em aterros sanitários.
- 9 – Basicamente igual à estratégia 8, mas com a implementação da incineração dos resíduos orgânicos e a disposição final das cinzas.²⁵

Cada uma dessas estratégias para integração do gerenciamento de resíduos tem características próprias; por exemplo, as estratégias 1, 5, 6 e 9 são as que colocam menos material em aterros sanitários, pois incineram os produtos orgânicos. Já a estratégia 3 não propicia a reciclagem, porque não implementa formas de valorização dos resíduos.

Atualmente, entende-se que as formas de valorização dos resíduos domiciliares devem ser implementadas e, em razão de seus custos, otimi-

²⁵ Kreith F. *Handbook of solid waste management*. New York: McGraw-Hill; 1994.

zadas. A implementação do princípio do poluidor pagador é uma das formas de gerenciamento que pode diminuir os custos do sistema. Resumidamente, entende-se por poluidor pagador a empresa ou indústria (e não o consumidor ou agente que promove a venda) que coloca determinado produto no mercado e que tem sua sustentação econômica baseada no consumo do produto por ela produzido, tornando-se responsável pelo tratamento e/ou disposição do resíduo gerado pelo produto. Esse princípio embute no preço dos produtos o custo de tratamento do resíduo e também do desenvolvimento de tecnologias e programas de reciclagem.

Conclui-se que o compromisso com o desenvolvimento sustentável (que é uma questão de gestão, ou seja, está acima do gerenciamento) deve ser perseguido. Além disso, a valorização dos resíduos sólidos significa também a valorização do cidadão.

RECICLAGEM E COLETA SELETIVA

Nos últimos anos, a reciclagem tem ganhado muita importância como método de tratamento dos resíduos sólidos. A palavra reciclagem tornou-se bastante popular. Do ponto de vista do cidadão, a reciclagem tem sido a única alternativa para o problema dos resíduos. Todavia, os programas de reciclagem devem ser cuidadosamente projetados, para que um eventual fracasso não cause uma sensação de frustração na população, o que poderia desperdiçar irremediavelmente uma ferramenta de grande potencial. Programas muito pretensiosos, mal projetados e com um grande número de itens a serem reciclados, podem resultar em uma contaminação excessiva dos produtos e também em altos custos.

Na metade de século XX, o aterro sanitário tornou-se a solução definitiva para o problema dos resíduos urbanos, tendo em vista as condições sanitárias da época. Da mesma forma, nos dias de hoje a reciclagem parece ser para muita gente a solução de todos os problemas. O conhecimento científico e tecnológico na área de resíduos sólidos urbanos é bastante recente e ainda existe um longo caminho a ser percorrido. No Brasil, a quantidade de programas de reciclagem de resíduos urbanos é ainda bastante inexpressiva; ainda há muito a se fazer e a se desenvolver. Para efeito de comparação, nos Estados Unidos, em 1991, já havia cerca de 4 mil programas de coleta seletiva, enquanto a pesquisa do IBGE em 2000 apontou apenas cerca de seiscentos programas de reciclagem no Brasil.

Infelizmente, não existe um padrão de coleta e de reciclagem consagrado. Reciclagem é um conceito vago, a respeito do qual todos acham que têm um entendimento claro, até que comecem a praticá-lo.

Ao contrário do que intuitivamente se poderia acreditar, os custos dos programas de coleta seletiva não são cobertos pelos custos das vendas dos produtos, o que observa-se em todo o mundo. O custo líquido do processo de coleta seletiva por tonelada é maior que o custo do simples aterramento do resíduo. Conseqüentemente, a decisão de adotar um determinado programa de coleta é uma questão mais de gestão de resíduos do que de gerenciamento, cabendo à comunidade investir mais ou menos na valorização dos resíduos e da cidadania, fazendo um balanço entre sua possibilidade financeira e os benefícios do ponto de vista de sustentabilidade e cidadania.

A reciclagem é importante na medida em que se preservam os recursos minerais e energéticos, fatores fundamentais para o desenvolvimento sustentável. A reciclagem permite também o aumento da vida útil do aterro sanitário.

Por exemplo, a reciclagem de alumínio permite uma economia de 95% na energia quando comparado ao processo a partir da matéria-prima mineral (bauxita). Além disso, evita a devastação de florestas tropicais. Cada tonelada de alumínio produzido implica a economia de cerca de seis toneladas de bauxita. Outro fator importante é que para cada tonelada de alumínio produzido a partir do minério são produzidas também outras duas toneladas de lama vermelha, um resíduo industrial perigoso, além da emissão de fluoretos.

O tratamento de entulhos, a compostagem e a incineração, com o objetivo de aproveitar o conteúdo energético dos resíduos, também são consideradas formas de reciclagem.

EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Um vez idealizado o sistema de coleta seletiva visando à reciclagem, do ponto de vista operacional o esclarecimento da comunidade envolvida torna-se a etapa crítica. Essa atividade inicia-se antes mesmo do início da coleta e se perpetua enquanto ela existir. Dependendo da clareza, objetividade e abrangência, a população pode se sentir motivada a participar do programa.

Qualquer programa de conscientização e engajamento passa pelo conceito dos "três erres": reduzir, reutilizar e reciclar.

Estratégias de coleta seletiva

Existem basicamente três técnicas ou estratégias de separação e coleta seletiva, visando à reciclagem:

- Separação na fonte pelo gerador (programas de coleta nas calçadas);
- Postos de Entrega Voluntária (PEVs), seguidos de processamento em usinas de reciclagem;
- Usinas de separação e reciclagem do resíduo sólido misturado.

Separação na fonte pelo gerador

Este método envolve a separação dos materiais recicláveis em componentes individuais. Deve ser feito tanto pelo gerador quanto pelo coletor na calçada. Os materiais coletados podem ser segregados individualmente em caminhões com compartimentos distintos para cada tipo de material. Outra forma envolve a coleta em cada dia da semana de um material específico. Os materiais segregados são então transportados para seus locais de venda, ou então estocados até atingir um volume suficiente para a comercialização.

No caso de pequenos municípios, normalmente não existe nenhuma espécie de tratamento antes da comercialização. Para o caso de grandes municípios, são usadas máquinas para o empacotamento de papel e de latas de alumínio, além do uso de pulverizadores de vidro.

Uma variante desse tipo de coleta seletiva é a separação, pelo gerador, dos materiais recicláveis e dos não-recicláveis. Assim, a população local recebe informações sobre quais materiais devem ser separados, por exemplo, latas de alumínio, jornais, vidros e plásticos rígidos. Cabe à administração local ou à comunidade definir quais serão os materiais a serem segregados. Portanto, em cada casa haverá dois recipientes distintos, um contendo os materiais segregados e o outro contendo o restante dos resíduos. O material segregado é coletado na calçada e levado para usinas de reciclagem, onde é feita a triagem. O papel-jornal é em geral coletado separadamente para evitar contaminação.

A maneira mais simples de realizar essa segunda alternativa consiste simplesmente na separação do resíduo orgânico pelo gerador. Essa meto-

dologia tem sido proposta para algumas cidades brasileiras. Normalmente, quanto maior o número de materiais selecionados, maiores são as dificuldades de separação. O espaço necessário para o armazenamento e a separação cresce geometricamente com o número de materiais; da mesma forma, o custo global (educação, coleta e separação) aumenta com o número de itens coletados. A única coisa que diminui com o aumento da quantidade de materiais a serem segregados é a eficiência da reciclagem.

Postos de Entrega Voluntária (PEVs), seguidos de processamento em usinas de reciclagem

Neste tipo de sistema são definidos pontos estratégicos na cidade, nos quais os materiais segregados pelo gerador devem ser entregues. Novamente cabe à administração local ou à comunidade definir as classes de materiais que devem ser coletadas. No Brasil, muitas cidades adotaram esse tipo de sistema, separando plásticos, papéis, metais e vidros em recipientes distintos. O material deve ser colocado em veículos que contenham separações e transportado para usinas de reciclagem, onde é feita a triagem do material. Assim, cabe ao gerador separar os resíduos, armazená-los até atingirem um determinado volume e depois levá-los aos PEVs. A principal vantagem dessa estratégia é o menor custo operacional com relação à técnica anterior.

Usinas de separação e reciclagem do resíduo sólido misturado

Nesta terceira estratégia de reciclagem não existe a segregação dos recicláveis dos outros materiais. O resíduo misturado é transportado para uma central de processamento, onde pode ser tratado manualmente ou por métodos automatizados. No método mais barato, o resíduo urbano é manualmente triado em correias transportadoras. Usinas automatizadas usam diversos equipamentos, como *shredders*, separadores magnéticos, separadores do tipo facas de ar e tambores rotativos, para recuperar os materiais recicláveis.²⁶

A primeira das três aproximações de reciclagem e coleta requer um grande envolvimento do gerador e normalmente apresenta altos custos de coleta, mas baixos custos de processamento. A segunda estratégia requer

²⁶ Steassel RI. Recycling and resource recovery engineering: principles of waste processing. New York: Springer; 1996.

um grau de esforço intermediário do gerador; entretanto, necessita de um custo intermediário de coleta e também de processamento. A terceira forma não exige nenhum esforço do gerador, mas demanda altos custos de processamento, além de produzir materiais reciclados de baixa qualidade.

A qualidade e a quantidade de materiais recicláveis dependem muito da estratégia que a comunidade escolhe. Cada método implica atitudes relativas à participação do gerador. Da mesma forma, cada método possui diferentes custos operacionais e de investimentos, requerendo assim diferentes níveis de aportes financeiros. Além disso, a participação da comunidade pode ser afetada por ações econômicas ou legais.

IDENTIFICAÇÃO DE DEMANDAS

Um estoque de determinado material segregado será sempre uma pilha de resíduos, a menos que esse material tenha algum valor de mercado. Isso é essencialmente uma conclusão da conceituação de resíduo mostrada anteriormente. No entanto, muitos projetos de sistemas de coleta tropeçam nesse conceito simples, ou seja, coletar um determinado material, separá-lo e prensá-lo sem ter ninguém para comprá-lo não é uma valorização do resíduo e sim apenas uma forma mais cara de encaminhá-lo para o aterro.

Isso é uma consequência do fato de que se faz reciclagem quando se processa um material secundário, transformando-o de volta em produto. Portanto, a reciclagem propriamente dita é distinta da coleta, pois o *reciclador* compra o material coletado. Assim, existe a necessidade de identificar a demanda do mercado para aquele produto e os requisitos de qualidade que o material coletado deve ter para atender às especificações do reciclador.

Algumas comunidades e prefeituras equivocam-se quando mobilizam a população local a separar materiais que absolutamente não têm demanda. Além de gerar prejuízos financeiros e esforço inútil, ainda há o efeito psicológico negativo sobre a população local, no momento em que se verifica que todo o trabalho realizado foi em vão, e pior ainda, que o material tão *carinhosamente* separado não deixará de ser lixo. Segregar e depois misturar tudo no caminhão de coleta, ou segregar e depois destinar ao aterro implica uma diminuição do valor do cidadão.

Nos Estados Unidos havia muitos programas de coleta de papel-jornal para reciclagem. Os programas se popularizaram tanto que a oferta de papel-jornal usado era maior que a demanda. Em 1989 houve uma dimi-

nuição tão grande no valor do papel-jornal usado que ele passou a ter valor negativo, ou seja, o reciclador cobrava para retirar o material em vez de pagar, como fazia anteriormente. Como consequência, muitos programas foram desativados ou fechados temporariamente até que as condições do mercado mudassem.

Outro exemplo que pode ser apresentado é a coleta de plásticos. Garrafas de PET e produtos feitos de PVC têm uma certa demanda e, portanto, podem ser objeto de algum programa de coleta seletiva para serem encaminhados à reciclagem. Entretanto, nenhum processo de reciclagem aceita a contaminação cruzada, ou seja, a sucata das duas matérias juntas praticamente não tem valor, pois requer mão-de-obra para a separação.

Uma mistura de papéis brancos de escritório, papel-cartão, papelão, jornais e revistas praticamente não tem valor. No entanto, uma boa coleta de papel branco, separado dos outros tipos citados, tem um bom potencial de aproveitamento.

Assim, os programas de coleta seletiva devem ser dinâmicos, além de respeitar as demandas locais por materiais reciclados e suas sazonalidades.

ENTULHOS

Destinar materiais como vidros, plásticos e papéis aos aterros sanitários não é uma solução inteligente. O mesmo acontece quando os aterros acabam recebendo entulho. Segundo *O Estado de S. Paulo*,²⁷ o entulho gerado na implosão do edifício Palace II (22 andares), no Rio de Janeiro, formaria uma pilha de mais de 12 metros de altura e pesaria cerca de 2.300 toneladas. Hoje em dia, a coleta de entulho em caçambas é feita por empresas transportadoras especializadas ou por empresas de construção civil. A geração estimada de entulho na cidade de São Paulo é de 4 mil toneladas/dia, e a sua disposição é caótica. Como o resíduo é um material inerte, ou no máximo pouco impactante, ele é aceito para a recuperação de áreas alagadas, para aterros e reaterros diversos, ou então é simplesmente lançado de maneira aleatória e irregular em beiras de estrada, cursos d'água ou antigas cavas, quando não é lançado em aterros sanitários com o custo correspondente.

²⁷ *O Estado de S. Paulo*, 1998 fevereiro 26; C8.

prática da Reciclagem de Entulho

É possível reciclar entulho gerando agregados para a construção civil de qualidade comparável aos agregados naturais. Nos Estados Unidos isso é feito há mais de trinta anos para produzir agregados artificiais para compor base e sub-base de pavimentos.²⁸ Há também a reciclagem de edificações, com o reaproveitamento de madeira e compensados amplamente usados naquele país.

Na Europa trata-se de uma atitude cultural: a Holanda recicla 70% dos resíduos e a Alemanha, 30%. Na Holanda existem mais de quarenta usinas de reciclagem de entulho.²⁹

As práticas de construção e de uso de materiais afetam a composição do entulho: na Suécia, assim como nos Estados Unidos, a madeira é o componente principal do entulho de construções novas (em peso). Depois aparecem o concreto, a brita e materiais de revestimento e isolamento. Na Holanda a madeira participa com cerca de duas vezes o volume de material granulado.

Copenhague recicla cerca de 25% do entulho de demolição. Como o país tem escassez de material granulado, existe um incentivo indireto à reciclagem, que é a sobretaxa de 10% sobre o valor dos agregados granulados naturais. Essa prática favorece a reciclagem, que é feita pelas próprias mineradoras.

A Superfos é uma mineradora dinamarquesa que também recicla e oferece aos seus clientes tanto agregado natural como reciclado (várias mineradoras americanas fazem o mesmo). Sua tabela de preços mostra que os agregados naturais custam cerca de 50% a mais.³⁰ É importante mencionar que todo o material que chega à usina já está selecionado. Asfalto e concreto são processados separadamente (eles são separados na praça pela pá carregadeira). Os produtos vendidos são material para capeamento de estradas, agregado para pavimento asfáltico e argamassa. Sua usina, em Kastrup, tem três britadores, custou cerca de 1 milhão de dólares e é operada por apenas três pessoas. O custo operacional é de 2 a 4 dólares por tonelada e o preço de venda do produto gira em torno de 9 dólares.

²⁸ Hoberg H. Waste treatment techniques. Encontro Nacional de Tratamentos de minérios e Hidrometalurgia, 16, Anais. Rio de Janeiro. Dutra *et al.* ed. 1995, v. II, p.711-985.

²⁹ Swedish Building And Demolition Waste Project. Copenhagen; 1995. [Final report] (English summary).

³⁰ Superfos Construction A/S. Pristil Gensbrug. Marts; 1996.

No Brasil, entulho proveniente de demolições contém principalmente concreto, brita e materiais cerâmicos. Na maioria das vezes o entulho encontra-se totalmente misturado, por causa da falta de cultura de reciclagem.

Empresas com cultura de reciclagem promovem a separação das frações madeira, sucata metálica e resíduo incinerável na obra. Como regra, não há segregação dos resíduos perigosos.

Descrição da Usina de Reciclagem da Prefeitura

A Prefeitura Municipal de São Paulo construiu uma usina de reciclagem na antiga Pedreira Itatinga, com capacidade de processar cem toneladas por hora. A área utilizada é de 20 mil m². O projeto incluía ainda uma fábrica de blocos e artefatos de concreto (10 mil m²), que não saiu do papel. Em 1993, a prefeitura construiu um alojamento de 190 m² com cerca de 4 mil blocos de concreto feitos com entulho processado. O custo de produção estimado para esses blocos seria 70% inferior ao dos convencionais. Em 1991, as duas pistas da Av. Eng. Alberto de Zagotis foram pavimentadas com materiais diferentes: numa, o asfalto foi preparado com agregado natural e na outra, com agregado reciclado de entulho. O percurso pelas duas pistas e o exame visual da superfície de rolagem não revelam diferenças entre os dois materiais, mostrando a perfeita adequação do reciclado de entulho a essa modalidade de uso.

O circuito foi projetado para processar material de demolição com tamanho de até 0,5 x 0,5 x 0,8 metros.

O material é descarregado numa moega por pá carregadeira ou caminhão basculante. Um alimentador vibratório alimenta um britador de impacto e seu produto é conduzido a um transportador de correia que leva o material britado a um conjunto de peneiras. Sobre o transportador existe um separador magnético de correia, que remove o ferro de construção que porventura esteja presente.

As peneiras têm passadiços laterais onde operários fazem a separação manual de materiais estranhos. O material mais grosseiro retorna à britagem. As peneiras separam materiais de granulometrias semelhantes aos agregados normalizados e encontrados no mercado, pedras um e dois, pedrisco e areia.

Economicidade da Operação

Segundo a prefeitura de São Paulo, estes números da usina de Itatinga: os custos operacionais do primeiro ano foram de 4,26 dólares por tonelada, ou 5,96 dólares por m³. O investimento foi de 1 milhão de dólares. Considerando a produção de oito horas diárias (2.080 h/ano = 208.000 t/ano), uma taxa de descontos de 7% a.a. e amortização em cinco anos (custo de capital de 1,35 dólares/t), chega-se a valores da ordem de 5,61 dólares/t ou 7,85 dólares/m³.

Na óptica da prefeitura, além desse valor competitivo, economizam-se os custos de disposição do entulho e o de aquisição de granulados para suas obras, de forma que a instalação tornou-se francamente lucrativa. Afirma-se que a instalação de britagem foi paga em cinco meses de operação.

RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE

Resíduos hospitalares infecciosos, lixo hospitalar, resíduos sólidos hospitalares ou, como a ABNT denomina, *resíduos de serviços de saúde*, são os resíduos efetiva ou potencialmente contaminados, provenientes dos vários serviços de saúde cujas características podem determinar perigo à saúde humana ou ao meio ambiente, quando imprópriamente tratados, armazenados, transportados e destinados.³¹

Basicamente os resíduos de serviços de saúde são divididos em não-séptico ou domiciliar, séptico e especial.

O lixo não séptico é o gerado nas áreas onde não há risco de contaminação, como a área administrativa de um hospital. O lixo séptico corresponde ao gerado nas regiões onde existe contato com o paciente. Por sua vez, os resíduos especiais são todos os materiais provenientes das unidades de medicina nuclear, radioterapia, radiologia e quimioterapia.

Os resíduos de serviços de saúde podem conter microorganismos patogênicos, entre os quais bactérias, fungos e vírus. Assim, o lixo hospitalar é um potencial transmissor de doenças.

³¹ Andrade JB. Análise do fluxo e das características físicas, químicas e microbiológicas dos resíduos de serviços de saúde: proposta de metodologia para o gerenciamento em unidades hospitalares. [Tese de Doutorado]. São Carlos (SP): Escola de Engenharia/USP; 1997.

Os resíduos de serviços de saúde devem ser processados em sua origem, separando o que é contaminado e o que não é, para posterior destinação. Existe uma série de procedimentos para a separação e o manuseio desses tipos de resíduos, que incluem, por exemplo, o uso de sacos de cor branca leitosa com uma cruz vermelha e a inscrição "Lixo Hospitalar" (NBR 9191), e frequência de coleta de uma a duas vezes ao dia.

O tratamento mais usado para esses resíduos é a incineração; as cinzas e escórias geradas devem ser destinadas a aterros sanitários.

Referências

- ABB Enertech Ltd. Waste-to-energy – Industrial Waste Rotary Kiln. [online]. Available from: <URL: http://www.abbenertech.ch/waste/combustion_rotary_ill.html> [1998 Dec 1]
- Andrade JB. Análise do fluxo e das características físicas, químicas e microbiológicas dos resíduos de serviços de saúde: proposta de metodologia para o gerenciamento em unidades hospitalares. [Tese de Doutorado]. São Carlos (SP): Escola de Engenharia de São Carlos/USP; 1997.
- Calderoni S. Os bilhões perdidos no lixo. São Paulo: Humanitas/FFLCH-USP; 1998.
- [Cetesb] Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Inventário Estadual de resíduos sólidos domiciliares: relatório síntese. São Paulo; 2001. v.1.
- Dempsey CR, Oppelt ET. Incineration of hazardous waste: a critical review update. *Air & Waste* 1993; 43: 25-73.
- Díaz LF *et al.* Composing and recycling municipal solid waste. Lewis Publishers; 1993.
- Ferreira ABH. Novo dicionário da língua portuguesa. Rio de Janeiro: Nova Fronteira; 1977.
- Figueiredo P. A sociedade do lixo: os resíduos, a questão energética e a crise ambiental. Piracicaba: Unimep; 1995.
- Head Wrightson Associates Ltd. Rotary dryers, coolers and kilns. [online]. Available from: <URL: <http://www.hwal.demon.co.uk/dryers.htm>> [1998 Dec 1]
- Hoberg H. Waste treatment techniques. Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, 16, Anais. Rio de Janeiro. Dutra *et al.* ed. 1995, v.II, p.711-985.

- [IBGE] <URL: http://www.ibge.net/home/estatistica/populacao/condicaodevi-da/pnsb/esgotamento_sanitario/defaultesgotamento.shtm> [2002 set 8]
- Jardim N. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: IPT; 1996.
- Kiehl E. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Ceres; 1985.
- Kreith F. Handbook of solid waste management. New York: McGraw Hill; 1994.
- Lagrega MD, Buckingham PL, Evans JC. Hazardous waste management. New York: McGraw-Hill; 1994.
- Leite WCA. Estudo da gestão de resíduos sólidos: uma proposta de modelo tomando a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) como referência. [Tese de Doutorado]. São Paulo (SP): Escola de Engenharia de São Carlos/USP; 1997.
- Lima L. Tratamento do lixo. 2ª ed. São Paulo: Hemus; 1991.
- [Limpurb] Departamento de Limpeza Urbana. Disponível em <URL: <http://www.prodiam.sp.gov.br/limpurb>> [2002 set 8]
- Mullen JE. Consider fluid-bed incineration for hazardous waste destruction. *Chem Eng Prog* 1992 June; p.55-8.
- Nebel BJ, Wright RT. Environmental science: the way the world works. New Jersey: Prentice-Hall; 1993.
- O Estado de S. Paulo, 1998 fevereiro 26; C8.
- Rocca ACC. Resíduos sólidos industriais. São Paulo: Cetesb; 1993.
- Steassel RI. Recycling and resource recovery engineering: principles of waste processing. New York: Springer; 1996.
- Superfos Construction A/S. Prislist Gensbrug. Marts; 1996.
- Swedish Building and Demolition Waste Project. Copenhagen; 1995. [Final report]. (English Summary).
- Tchobanoglous G, Theisen H, Vigil S. Integrated solid waste management: engineering principles and management issues. New York: McGraw-Hill; 1993.
- Theodore L, Reynolds J. Introduction to hazardous waste incineration. New York: John Wiley & Sons; 1987.
- Tiveron VPM. Gestão de resíduos sólidos no município de São Paulo no período de 1989 a 2000: atores em processo e conflito. [Dissertação de Mestrado]. São Paulo (SP): Procam – Interunidades em Ciência Ambiental/USP; 2001.
- Toaldo E. Para não virar pó: construção em São Paulo. São Paulo: Pini; ano XLVII, n. 2348.