

Fonte: ESWET, European Suppliers of Waste to Energy Suppliers.

- |   |  |  |
|---|--|--|
| 1 - Local de Recebimento de RSU           | 11 - Talha de Cinzas de Fundo  | 21 - Ensacamento de Cinzas e Resíduos                |
| 2 - Poço de Armazenamento de RSU (Bunker) | 12 - Poço de Armazenamento Auxiliar (Bunker Auxiliar)                          | 22 - Lavador de Gases                                |
| 3 - Ponte Rolante de RSU                  | 13 - Ar de Combustão Primário  | 23 - Filtro de Mangas                                |
| 4 - Moega de Alimentação                  | 14 - Ar de Combustão Secundário + Sistema de Abatimento de NOx                 | 24 - Ventilador de Tiragem Induzida                  |
| 5 - Alimentador da Grelha                 | 15 - Caldeira de Recuperação de Calor  | 25 - Chaminé   |
| 6 - Grelha de Incineração                 | 16 - Transportador de Cinzas de Caldeira                                       | 26 - Aerocondensador                                 |
| 7 - Fornalha                              | 17 - Reator de Tratamento de Gases de Combustão                                | 27 - Tanque de Água de Alimentação                   |
| 8 - Transportador/Peneira de Cinzas       | 18 - Transportador de Resíduos do Tratamento de Gases de Combustão             | 28 - Planta de Tratamento de Água (Desmineralização) |
| 9 - Extrator de Cinzas de Fundo           | 19 - Silo de Cinzas de Caldeira e Resíduos do Tratamento de Gases de Combustão | 29 - Turbina / Gerador                               |
| 10 - Peneira Vibratória                   | 20 - Estação de Carregamento de Cinzas e Resíduos                              | 30 - Sala de Controle                                |

Figura 18 - Incinerador de resíduos sólidos.

Fonte: SESWET, European Suppliers of Waste to Energy Suppliers – ABRELPE, 2012.

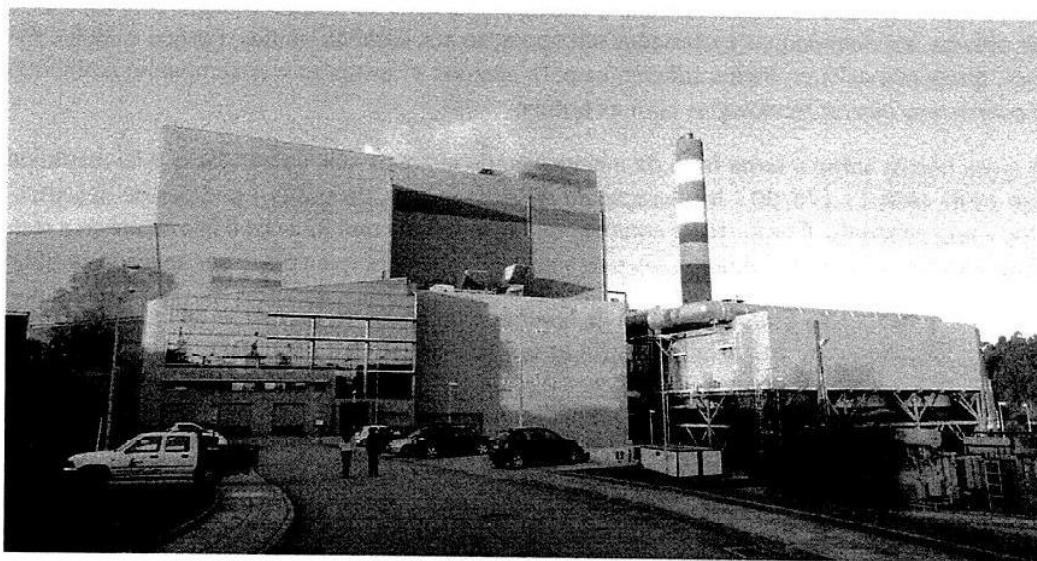


Figura 19 - Planta de incineração de resíduos (Lipor, Portugal).

Fonte: Alessandra Lee Barbosa Firmo, 2012.



Dentre as vantagens apontadas na literatura destacam-se a destruição da maior parte dos componentes do resíduo promovendo uma significativa redução de volume. Este aspecto é muito relevante em locais de baixa disponibilidade de áreas para tratamento e disposição dos resíduos. Além desta, é possível destacar as seguintes vantagens:

- Potencial de recuperação de energia superior aos aterros;
- Necessidade de menor área para instalação;
- Redução na emissão de odores e ruídos.

Entre as principais desvantagens destacam-se:

- Elevados custos de instalação, operação e manutenção do tratamento dos resíduos;
- Inviabilidade de produção em caso de resíduos com umidade excessiva, pequeno poder calorífico ou clorados.

Os incineradores na Europa, Estados Unidos e Japão operam ao abrigo de uma legislação ambiental rigorosa, requerendo um maior custo para atender a mais alta tecnologia de controle de poluição atmosférica. Com respeito a outras tecnologias como gaseificação, pirólise e arco de plasma, existem poucas instalações em operação nos Estados Unidos, Europa e Japão. Assim, ainda não existem dados suficientes para analisar e comparar o desempenho ambiental e econômico dessas tecnologias com as outras.

A única norma sobre o tema trata da incineração de resíduos sólidos perigosos e foi instituída em 1990, NBR 11.175/90 – Incineração de resíduos sólidos perigosos – padrões de desempenho – procedimento. É importante enfatizar que essa Norma tem 22 anos e não se aplica a resíduos sólidos urbanos. No entanto, existem algumas resoluções que podem ser aplicadas a RSU:

- **Resolução SMA-079**, de 04 de novembro de 2009, da Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo, publicada no DOE-SP, de 05-11-09, Seção i, p. 44-45, que “Estabelece diretrizes e condições para a operação e o licenciamento da atividade de tratamento térmico de resíduos sólidos em Usinas de Recuperação de Energia – URE”.
- **Resolução CONAMA Nº 316**, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. É importante frisar que essa resolução estabelece que para a queima dos resíduos sólidos urbanos é necessário que ocorra a reciclagem de no mínimo 30% desses resíduos sólidos.



## 4.4 Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR)

O CDR é produzido por trituração de RSU para utilização como combustível, também conhecido na Europa como RDF – *Refuse Derived Fuel*. O CDR é um termo que se aplica a materiais com um valor calorífico elevado (normalmente, cerca de 18 megajoules por quilograma), recuperados da coleta de resíduos. Os principais beneficiários desse material são os fornos de cimento e as centrais de energia elétrica.

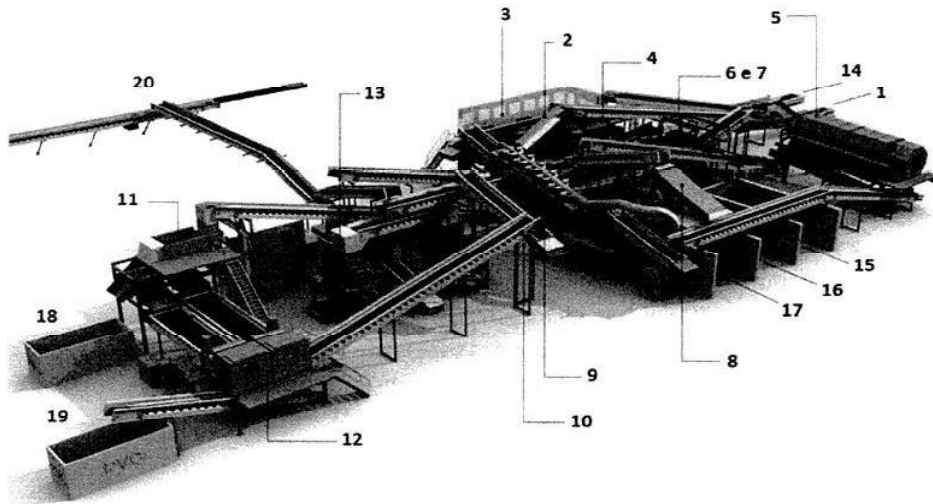
Em relação à produção de CDR, o mais importante é a recuperação de energia e a otimização da logística (transporte e armazenamento) dos resíduos. Quanto a sua composição, o CDR deve ser composto de material orgânico com baixa umidade, e não deve possuir frações de contaminação crítica (por exemplo, metais pesados, como Cr, Cd, Pb, Hg, etc), nem substâncias orgânicas críticas (substâncias halogenadas, medicamentos ou resíduos infectados, etc), pois essas frações críticas geram um CDR de má qualidade.

As principais etapas de produção do CDR são as seguintes:

1. Remoção dos componentes indesejados dos resíduos, no momento da coleta ou imediatamente após, nos centros de triagem.
2. Trituração, para a otimização das fases sucessivas, conforme a instalação de combustão para a qual o CDR se destina.
3. Secagem para evitar possíveis processos de fermentação e para melhorar o poder calorífico do CDR.
4. Refino, para qualquer nova redução de frações indesejáveis.
5. Peletização, para aumentar a densidade de energia como uma função do transporte ou armazenamento.

As etapas 1 a 3 são obrigatórias na produção, enquanto as etapas 4 e 5 são opcionais e dependem da qualidade final desejável para o produto, das condições de armazenagem, além da logística do transporte.

O processo de produção do CDR gera rejeitos que devem ser eliminados. O percentual destes rejeitos variam de 20 a 80%, dependendo da qualidade do resíduo e do tipo de coleta e separação dos mesmos. Nas Figuras 20, 21 e 22 são apresentadas ilustrações representativas de unidades de produção de CDR em atividade na Europa.



- 1 - Input: resíduos de coleta diferenciada (com baixo teor orgânico) e diâmetro < 1000 mm.
- 2 - Peneira de separação: classifica os resíduos em < 200 mm e > 200 mm.
- 3 - Cabine de separação manual: saída de madeira, papel/cartão entre 200-1000 mm.
- 4 - Peneira primária: entre 0 - 200 mm.
- 5 - Crivo rotativo: separa em duas frações: 0 - 50 mm e 50-200mm.
- 6 e 7 - Separador magnético.
- 8 - Peneira dinâmica (flip-flop): separa em duas frações 0 - 30 mm e 30 - 50 mm.
- 9 - Separador de duplo tambor: separação dos resíduos conforme frações leves, moderadas e pesadas.
- 10 - Tambor magnético: separação de materiais ferrosos das frações.
- 11 - Separador de corrente (tipo Eddy): separação de materiais não ferrosos das frações moderadas e pesadas.
- 12 - Separador de infravermelho: separação de materiais contendo cloretos das frações moderadas e pesadas.
- 13 - Peneira secundária: granulação paralela para produção do CDR.
- 14 - Entrada secundária: fardos de plásticos mistos.
- 15 - Saída de materiais ferrosos.
- 16 - Saída de frações finas entre 30-200mm.
- 17 - Saída das frações finas entre 0-30mm.

Figura 20 - Esquema ilustrativo de unidade de produção de CDR.  
 Fonte: Adaptado de Garb-Oil Power Corporation, 2009.

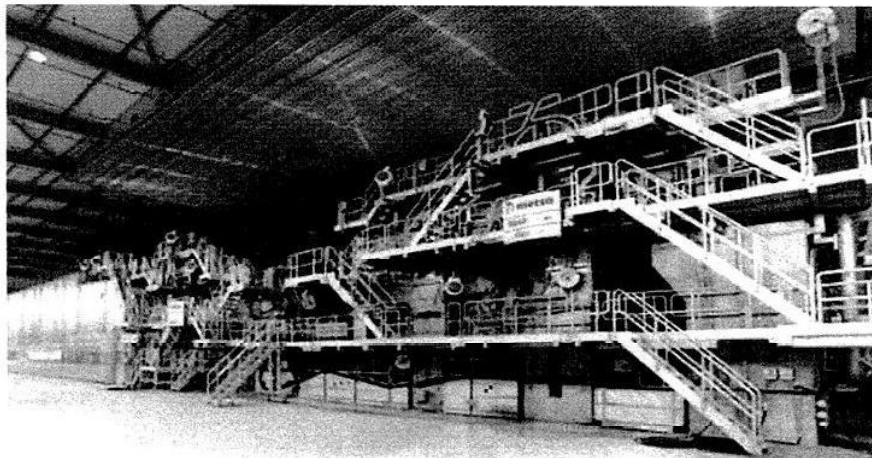
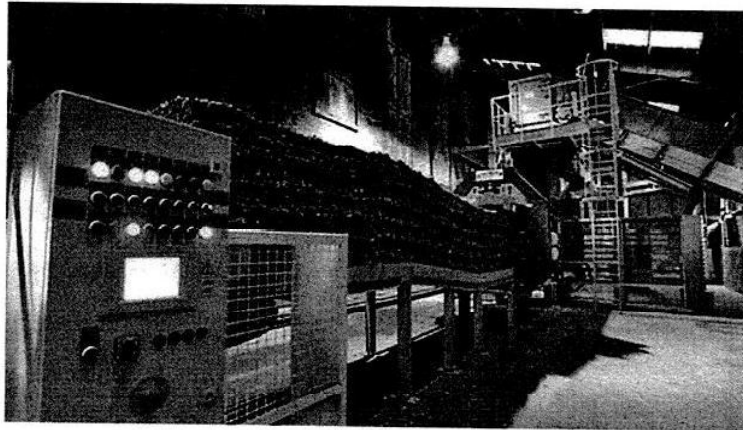


Figura 21 - Unidade de CDR  
 Fonte: METSO, 2012





**Figura 22** - Unidade de produção de CDR.  
Fonte: GRS, 2012.

A produção de CDR requer quantidades de energia significativas, especialmente de energia elétrica, pois corresponde ao tratamento essencialmente mecânico com grande desgaste de materiais (trituração) e gasto de energia. Do ponto de vista da energia, essa operação é sustentável desde que o saldo total de energia (da coleta até o destino final dos resíduos após a sua combustão) seja positivo, e mais ainda, que não produza resíduos combustíveis contaminados.

Os principais usuários do CDR são as indústrias de cimento, os incineradores de resíduos com recuperação de energia, além das indústrias de geração de energia industrial.

Essa tecnologia apresenta como principais vantagens:

- interrupção dos processos biológicos da fermentação, a fim de preservar e armazenar o substrato por meses e anos;
- possibilidade de armazenamento em silos, o que permite melhor modulação da produção de energia, em comparação com a queima direta de resíduos sólidos urbanos;
- armazenamento dos briquetes em paletes, racionalizando o transporte de longa distância, evitando a dependência de planta próximo à unidade;
- o fato de serem considerados como unidades de pré-tratamento dos RSU;
- agregação de valor aos resíduos;
- transformação dos resíduos sólidos urbanos em alternativa energética;
- possibilidade de instalação em áreas industriais próximas aos centros urbanos e aos grandes consumidores de energia;
- redução das emissões e geração de poluentes, possibilitando a obtenção de

Créditos de Carbono;

- prolongamento da vida útil de aterros existentes.

Principais desvantagens:

- alto consumo de energia elétrica, que é dissipada (não-recuperável);
- dissipação dos metais ao meio ambiente pela utilização dos metais dos trituradores nas ligas desses equipamentos;
- possibilidade de contaminação do CDR pela presença de metais.

## 4.5 Coprocessamento de RSU

O coprocessamento não é uma tecnologia aplicável para o tratamento de resíduos sólidos urbanos, mas é um processo indicado para o tratamento de resíduos industriais em estado líquido, sólido e/ou pastoso. Esse processo é utilizado em fornos de clinquerização das indústrias cimenteiras, onde, em altas temperaturas, os resíduos são destruídos ao mesmo tempo em que são utilizados como energia alternativa para os fornos, em substituição aos combustíveis fósseis ou matéria-prima.

No Brasil essa alternativa tecnológica para tratamento dos resíduos industriais vem sendo adotada por algumas indústrias cimenteiras. Nesse processo são utilizados diversos tipos de resíduos, os chamados combustíveis alternativos do processo.

A prática do coprocessamento de resíduos na indústria de cimento tem se expandido devido à necessidade crescente de uma destinação ambiental e socialmente mais adequada de resíduos provenientes de diversos processos industriais. Vários estudos vêm sendo conduzidos com o objetivo de se conhecer melhor os aspectos envolvidos nessa prática, já adotada em muitos países, inclusive no Brasil.

Em casos específicos de incineradores planejados para coprocessamento, a utilização de RI nas cimenteiras traz o risco de metais, como o cromo, que levariam mais de 50 anos para se dissiparem, se incorporados ao cimento. Daí a importância de se utilizar resíduos selecionados. Por outro lado, o cádmio e o mercúrio, que não ficam incorporados ao concreto, ficam incorporados ao gás, o que também gera grandes impactos ambientais.

Essa tecnologia apresenta como principal vantagem a melhoria do desempenho econômico (menor consumo energético) da indústria cimenteira e traz como principais desvantagens:

- inexistência de uma legislação sobre esse processo de tratamento de resíduos bem como a ausência de Normas Técnicas para essa tecnologia;
- falta de acompanhamento por parte dos órgãos de controle ambiental sobre os níveis de emissões das unidades cimenteiras.



## 4.6 Aterros Sanitários

O Aterro Sanitário, além de ser o local de disposição final dos resíduos, também pode ser considerado como uma tecnologia de tratamento de resíduos dada a ocorrência de um conjunto de processos físicos, químicos e microbiológicos, sob a forma de um reator anaeróbio, que tem como resultado uma massa de resíduos, química e biologicamente, mais estável (Recesa, 2010). Segundo a NBR 15.849/2010, os aterros sanitários consistem em uma instalação para a disposição de resíduos sólidos no solo, localizada, concebida, implantada e monitorada segundo princípios de engenharia e prescrições normalizadas, de modo a maximizar a quantidade de resíduos disposta e minimizar impactos ao meio ambiente e à saúde pública.

Assim, o aterro sanitário, cuja utilização vem se expandindo no Brasil, é a tecnologia universal de disposição final de resíduos sólidos urbanos, imprescindível, mesmo nos países onde existem outras tecnologias de tratamento, como incineração, compostagem e reciclagem. Atualmente, para se cumprir o que determina a PNRS, antes de encaminhar os resíduos sólidos ao aterro sanitário, deve-se primeiramente reciclá-los, tratá-los e/ou reutilizá-los, visando prolongar sua vida útil. Assim, devem ser enviados para o aterro sanitário apenas rejeitos, que são os resíduos que não podem ser mais recuperados sob nenhuma forma, ou ainda, aqueles para os quais não existe mercado.

Em um aterro sanitário, existem diversos elementos que devem ser projetados e planejados com base em critérios de engenharia, tais como sistema de impermeabilização de base, sistema de drenagem de águas superficiais, drenagem de líquidos e gases gerados na decomposição da massa de resíduos, sistema de cobertura dos resíduos, unidades de tratamento de lixiviados e outros. Esse conjunto de sistemas e unidades visa garantir a segurança do aterro, o controle de efluentes líquidos, a redução das emissões gasosas, bem como a redução de riscos à saúde da população, garantindo assim o correto recebimento e tratamento dos resíduos, com menor impacto ambiental e proteção da saúde pública. A concepção de cada um desses elementos depende do tipo de aterro, das características dos resíduos, do terreno, etc.

A disposição dos resíduos em aterros obedece à classificação regulamentada pelas normas brasileiras. Os resíduos que podem ser dispostos nos aterros sanitários são aqueles considerados não perigosos, ou seja, resíduos Classe IIA e Classe IIB. Os resíduos de Classe IIA são aqueles considerados não inertes e que podem possuir as propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água (por exemplo: matéria orgânica e papel), enquanto os resíduos de Classe IIB são considerados inertes, e correspondem àqueles que, quando amostrados de forma representativa e submetidos ao contato com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não apresentam nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, exceto aspectos de cor, turbidez, dureza e sabor (exemplo: vidros, plásticos e borrachas) regulamentados pela NBR n° 10.004/04. Embora sejam resíduos Classe IIB, os Resíduos da Construção Civil não podem ser dispostos em aterros sanitários.

De acordo com as normas brasileiras, para atender a PNRS, podem ser empregados aterros sanitários com ou sem geração de energia e aterros sanitários de pequeno porte.

Os aterros sanitários são normatizados pela NBR 8419/1984 e têm como finalidade prevenir danos à saúde pública, minimizando ainda os impactos ambientais decorrentes da disposi-



ção dos resíduos. Para tanto, são utilizadas técnicas de confinamento de modo a reduzir os resíduos ao menor volume permissível, ocupando a menor área possível, executadas segundo critérios específicos de engenharia. Diariamente, a área das células de resíduos é coberta na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.

Os aterros sanitários podem ser classificados de acordo com a forma em que são projetados, como descrito a seguir:

**ATERRO EM VALA:** instalação para disposição de RSU no solo, em escavação com profundidade limitada e largura variável, confinada em todos os lados, dando oportunidade a uma operação não mecanizada.

**ATERRO EM TRINCHEIRA:** instalação para disposição de RSU no solo, em escavação sem limitação de profundidade e largura, que se caracteriza por confinamento em três lados e operação mecanizada.

**ATERRO EM ENCOSTA:** instalação para disposição de RSU no solo, caracterizada pelo uso de taludes pré-existentes, usualmente implantados em áreas de ondulações ou depressões naturais, encostas de morros ou pedreiras e áreas de mineração desativadas.

**ATERRO EM ÁREA:** instalação para disposição de RSU no solo, caracterizada pela disposição em áreas planas acima da cota do terreno natural.

Na Figura 23 é exibido um aterro sanitário em área, método de disposição de resíduos sólidos.

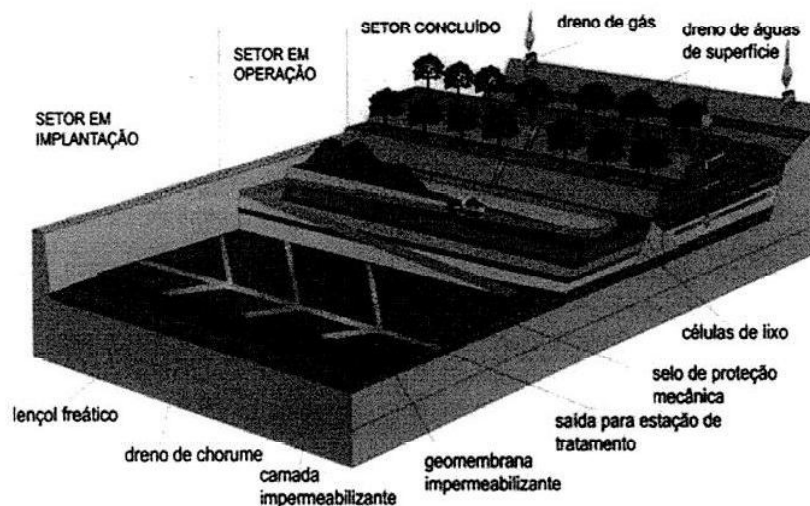


Figura 23 - Aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos.  
Fonte: IPT, 2000.





Os aterros também podem ser classificados segundo o método de construção aplicado, quais sejam, método de encosta e método de trincheiras ou valas. No método de encosta se utiliza terreno com declive, no qual os rejeitos vão sendo depositados seguindo a declividade existente, fazendo o recobrimento necessário no final de cada dia e assim prossegue até a célula em construção ficar no mesmo plano do topo do declive na parte superior e lateralmente continuar ainda em forma de rampa (Figura 24).

### ATERRO SANITÁRIO EM ENCOSTA

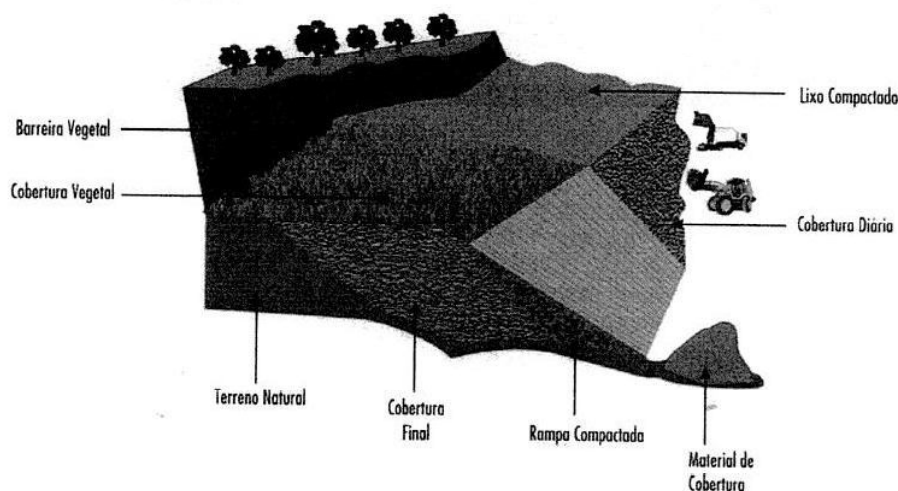


Figura 24 - Aterro sanitário em encosta.  
Fonte: José Dantas de Lima, 2003.

No método de trincheira utiliza-se um terreno plano onde são escavadas valas ou trincheiras de dois a três metros de profundidade. Dependendo do lençol freático, a profundidade pode atingir valores superiores a três metros. Nesse método o material escavado da vala serve para cobertura do próprio aterro. Durante o processo, os rejeitos devem ser descarregados e compactados dentro da vala e coberto no final de cada dia com uma camada entre 20 e 30 cm de solo escavado na própria vala. A camada final de cobertura deve ter uma espessura mínima de 60 cm e elevada acima da superfície natural do terreno para compensar a acomodação do mesmo quando da decomposição do lixo. Deve-se também cuidar do completo sistema de drenagem de águas pluviais que devem ser encaminhadas para fora da vala.

Para evitar inundação da vala ou trincheira em época de chuva, devem ser construídas canaletas perimetralmente à vala para captação das águas pluviais. A fim de evitar desmoronamento, a vala deve ser escavada com as paredes laterais inclinadas atendendo o ângulo de repouso do terreno. Na escolha do local para implantação do aterro, a qualidade do solo é de fundamental importância. Não se deve escolher terreno com permeabilidade alta para não contaminar o lençol freático, atendendo assim a uma permeabilidade menor que  $10^{-6}$  cm/s, nem terreno muito rochoso devido ao elevado custo de escavação. Na Figura 25 é apresentado um aterro em vala.

## ATERRO SANITÁRIO EM VALAS

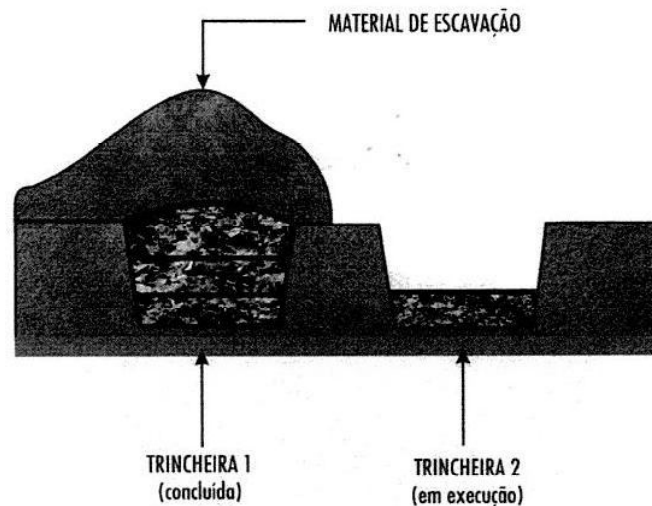


Figura 25 - Aterro sanitário em valas.  
Fonte: José Dantas de Lima, 2003.

O aterro sanitário com geração de energia é aquele que utiliza a drenagem dos gases gerados nos processos de decomposição anaeróbia dos resíduos e os encaminha, por meio de tubos coletores, para uma unidade de geração de energia. Nesse caso, os aterros sanitários passaram por uma evolução tecnológica e podem ser considerados digestores anaeróbios (sistema físico, químico e biológico), em que a biodegradação dos resíduos possui como meta a redução do volume aterrado, otimizando áreas e reduzindo custos operacionais, e o aproveitamento energético do biogás. Este ganho de eficiência na produção de metano deverá ser obtido pelas condições de projeto e operação, pela composição dos resíduos, pela composição microbiológica dos nutrientes presentes na massa de resíduos, e ainda, pela densidade e umidade de sua disposição.

Conclui-se que o termo energia dos resíduos (Waste to Energy-WTE) também expressa uma inovação tecnológica dos aterros sanitários, sob condições específicas de controle já referidas. Essas inovações tecnológicas permitiram uma maior eficiência operacional, reduzindo as emissões atmosféricas de metano e dióxido de carbono (gases de efeito estufa) e, assim, a possível obtenção, de algum recurso financeiro (mesmo que pouco atualmente), pela certificação de projetos de redução de emissões e a posterior venda das reduções certificadas de emissões, dentro do escopo dos projetos de MDL.

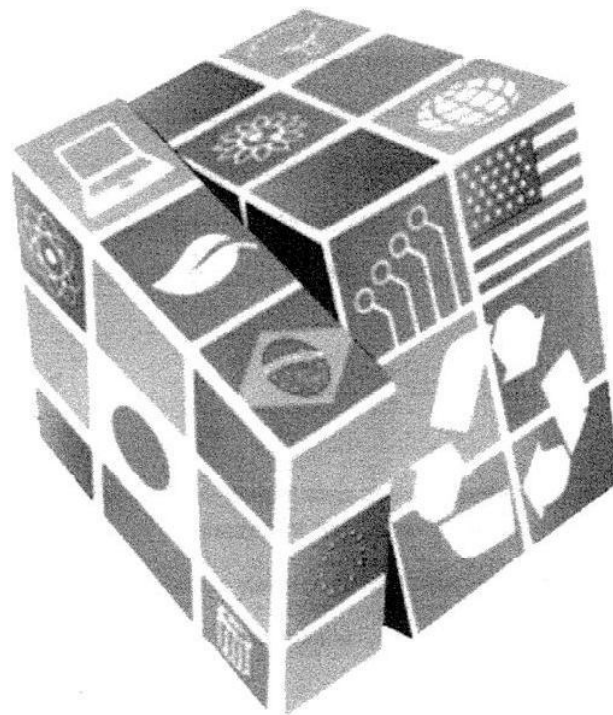
Nos municípios menores, que têm uma pequena geração diária, é possível a implementação de aterros sanitários de pequeno porte. Esses aterros são normatizados pela NBR 15849/2010, e utilizados em municípios que disponham de até 20 (vinte) toneladas por dia de RSU em aterros. De acordo com a norma, dependendo dos condicionantes físicos locais, é possível adotar um sistema simplificado que reduza os elementos de proteção ambiental sem prejuízo da minimização dos impactos ao meio ambiente e à saúde pública, a depender dos órgãos de controle ambiental.

Essa tecnologia apresenta como principais vantagens:

- possibilidade de se utilizar áreas já degradadas por outras atividades (ex: área utilizada como pedreira, etc.);
- possibilidade de receber e acomodar rapidamente quantidades variáveis de resíduos, sendo bastante flexível;
- recebimento de resíduos de diversas naturezas (classe IIA e IIB);
- adaptável a comunidades grandes ou pequenas;
- apresentação de menores custos de investimento e operação que outras tecnologias;
- utilização de equipamentos e máquinas usadas em serviços de terraplanagem;
- simples operacionalização, não requerendo pessoal altamente especializado;
- possibilidade de aproveitamento energético do biogás;
- não causa danos ao meio ambiente se corretamente projetado e executado.

Principais desvantagens:

- necessidade de grandes áreas para aterro, muitas vezes, longe da área urbana, acarretando despesas adicionais com transporte;
- possibilidade de desenvolvimento de maus odores;
- possibilidade de deslocamento de poeiras;
- alteração da estética da paisagem;
- diminuição do valor comercial da terra;
- interferência da meteorologia na produção de lixiviados que requisitam tratamento adequado;
- período pós-fechamento relativamente longo para a estabilização do aterro, incluindo efluentes líquidos e gasosos;
- controle dos riscos de impactos ambientais de longo prazo.

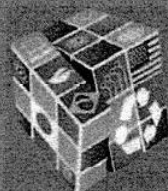




5

141  
126

## Tratamento e disposição final de resíduos sólidos no exterior e no Brasil



Apresenta-se a seguir o diagnóstico da gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) no exterior e no Brasil que inclui a análise das informações e a identificação da legislação específica de cada país/região, a fim de permitir um conhecimento mais aprofundado dos dados.

## 5.1 Exterior

### 5.1.1 União Europeia

A União Europeia (UE) representa a união econômica e política de 27 países (Estados-membros independentes), possui uma área total de aproximadamente 4,32 milhões de km<sup>2</sup> (equivalente a 50% da área total do Brasil) e cerca de 494.070.000 de habitantes (cerca de 2,5 vezes a população brasileira e 7,3% da população mundial), com uma densidade demográfica de 114 habitantes/km<sup>2</sup>. No ano de 2010, gerou um PIB de U\$ 16 trilhões de dólares, que representa cerca de 25% do PIB global.

#### a) Geração de resíduos

70

A produção de RSU na UE em 2010 foi estimada em 252 milhões de toneladas (Eurostat, 2012). A Figura 26 apresenta a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados por cada Estado-membro da UE, expressa em quilograma por habitante por ano, referente ao ano de 2010.

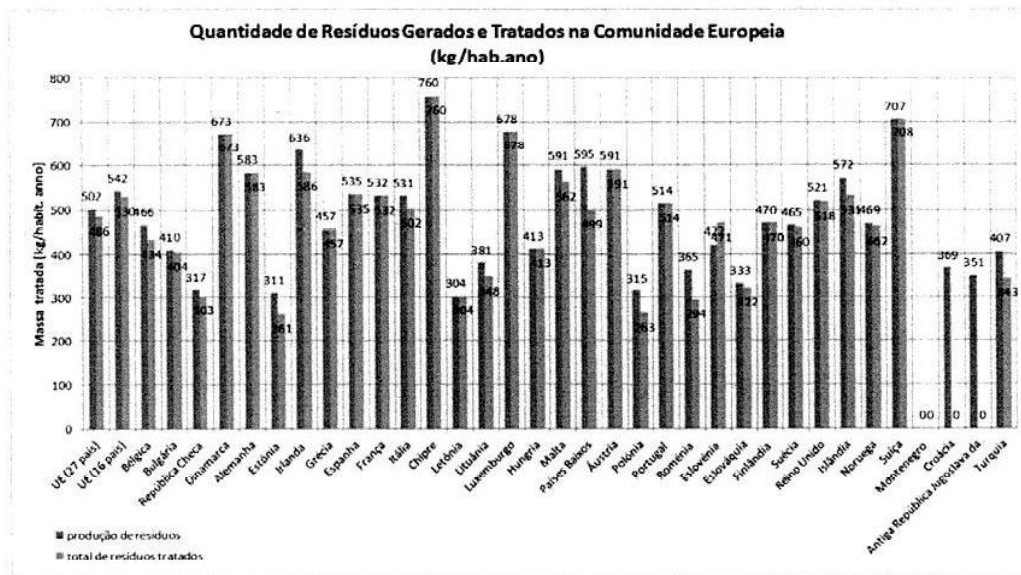


Figura 26 – Resíduos urbanos gerados por Estados-membros em 2010 em Kg/habitante.ano.  
Fonte: Eurostat – Centro de dados sobre resíduos, 2012.



A quantidade de resíduos varia em cada Estado-membro e essas variações refletem as diferenças nos padrões de consumo e no poder econômico dos países, e depende, diretamente, das formas de coleta e gestão dos RSU. Na maioria dos países, os resíduos sólidos domiciliares giram entre 60 a 90% dos RSU, enquanto o restante pode ser atribuído a fontes comerciais e administração.

Estima-se que em 2020 serão gerados 45% a mais de RSU do que em 1995, o que justifica o paradigma citado de redução da geração de resíduos, como primeiro pilar da política de gestão. Assim, esse é o maior desafio não só para os países membros da UE, como para todos os demais países do mundo (Eurostat, 2012).

### b) Composição dos resíduos

A Figura 27 (Eurostat, 2012), apresenta o percentual dos resíduos totais gerados no ano de 2008 por atividade e setor produtivo, onde observa-se que 10% representam os resíduos domésticos (e de estabelecimentos comerciais que geraram resíduos semelhantes). Enquanto que a Figura 28 representa a composição gravimétrica média dos resíduos totais gerados na UE-27 em 2008, onde cerca de 2/3 consistiam em resíduos minerais provenientes de atividades de mineração, extração, construção e demolição.

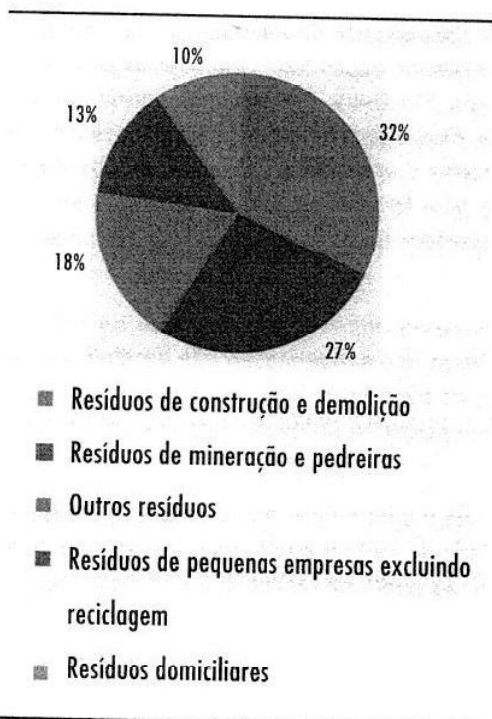


Figura 27 Origem dos resíduos produzidos na UE-27 no ano de 2008.



Figura 28 - Classificação dos resíduos totais gerados na União Europeia no ano de 2008.

### c) Tecnologias para tratamento e disposição final dos RSU

Na Europa existem diversas alternativas tecnológicas utilizadas para tratar e destinar os RSU, que variam de país para país em razão de suas políticas públicas e das legislações vigentes, sendo as principais a reciclagem, a compostagem, a digestão anaeróbia, o tratamento mecânico biológico, a incineração com geração de energia e o aterro sanitário.

De maneira geral, pode-se dizer que o tratamento de RSU na Comunidade Europeia sofreu uma mudança significativa durante o período de 1995 a 2010. O aterro foi a forma de tratamento e disposição final mais comum no início do período, com uma participação de 62% na quantidade de resíduos tratados. Em 2005, essa participação caiu para 50% e em 2010 tinha reduzido ainda mais, para 38%. Cerca de 13% dos resíduos foram incinerados em 1995 e essa participação subiu para 22% em 2010. Já a percentagem de resíduos reciclados era de 10% em 1995, e em 2010 subiu para 25%. Os compostados saíram de 5% para 15%, indicando a evolução do tratamento de resíduos nesse período. A Figura 29, na página seguinte, apresenta o tipo e o percentual da quantidade de resíduos tratados nos Estados-membros da Comunidade Europeia.

Nessa figura também pode-se observar uma grande diferença no tratamento dos RSU entre os Países membros da UE. Os Países do Norte da Europa (Suíça, Alemanha, Países Baixos, Áustria, Suécia, Bélgica e Dinamarca), com maior PIB, condições climáticas adversas e limitação de espaço, assim como maior consciência ambiental, apresentam um maior percentual de reciclagem e de compostagem, além de maior necessidade de incineração dos resíduos que o restante dos Países da UE. A quantidade de resíduos depositados em aterros sanitários também é menor. Já países como Itália, Reino Unido, Finlândia, Portugal e Espanha, apesar de apresentarem um percentual acima de 30% de reciclagem e compostagem, apresentam percentuais em torno de 10% de resíduos incinerados e entre 50 e 70% de resíduos depositados em aterros, o que demonstra uma opção pela técnica de aterramento ao invés da incineração. Já os Países do Leste Europeu, apresentam baixos percentuais de reciclagem, compostagem e incineração.

Pela figura, nota-se que o princípio de reaproveitamento dos resíduos é a base da política europeia para a gestão dos mesmos. Assim, percebe-se que a incineração não inviabiliza a reciclagem e a compostagem dos resíduos, visto que, os países que mais reciclam são também aqueles que mais incineram seus resíduos, e os que possuem políticas claras de valorização dos resíduos.

A Figura 30 apresenta, de forma geral, a relação entre a quantidade e percentual de resíduos gerados e a evolução do tipo de tratamento no período de 1995 a 2010, onde se observa uma redução na disposição de resíduos em aterros e um aumento da reciclagem e compostagem.



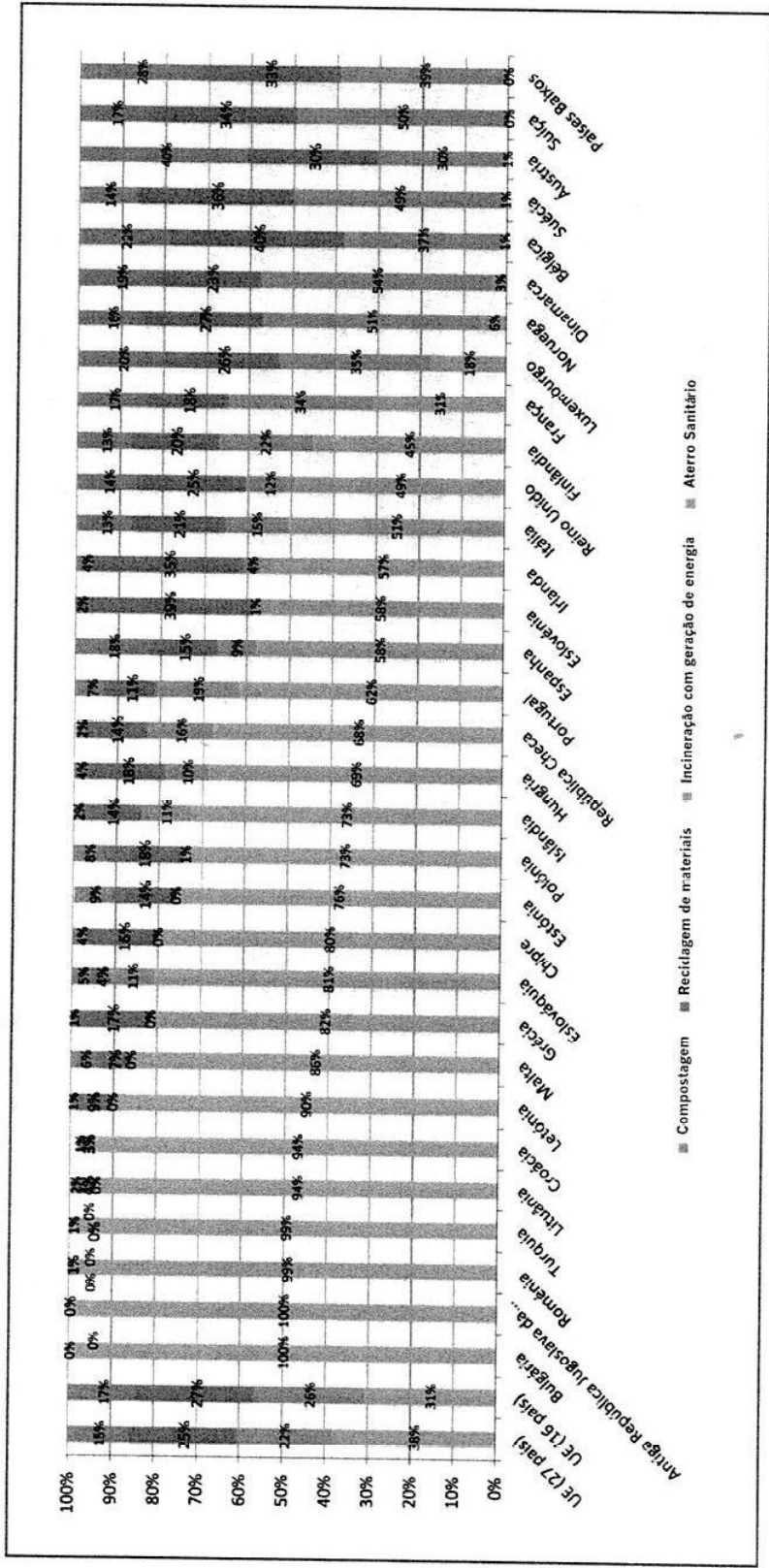


Figura 29 – Tipo de Tratamento dos resíduos sólidos gerados por Estados-membros em 2010.  
Fonte: Eurostat – Centro de dados sobre resíduos, 2012.



### Tratamento de resíduos municipais por tipo de tecnologia na UE-27, de 1995 a 2010

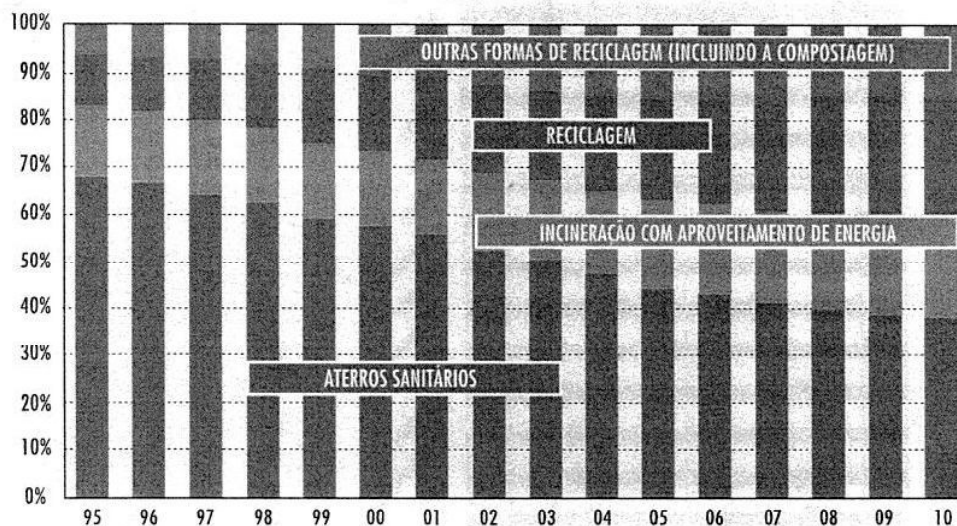


Figura 30 – Quantidade de resíduos por tipos de tecnologias utilizadas no tratamento de resíduos municipais na Europa, no bloco dos 27 Estados-membros, dentre os anos de 1995 a 2010. (Fonte: Eurostat, 2012).

## 5.1.2 Estados Unidos

Os Estados Unidos da América (EUA) possui 50 Estados e um Distrito Federal. Com uma área total de 9,37 milhões de km<sup>2</sup> (10% maior que o Brasil) e cerca de 308.745.538 habitantes no ano de 2010 (1,6 vezes maior que o Brasil), apresenta uma densidade demográfica de 33 habitantes por km<sup>2</sup>. No ano de 2010, gerou um PIB de cerca de U\$14,6 trilhões, representando aproximadamente 23% do PIB global.

### a) Geração de resíduos

Anualmente a Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (US-EPA) publica um relatório apresentando a situação da geração, reciclagem e disposição final de RSU nos EUA, com base em dados coletados e medidos por mais de 50 anos. Ao longo das cinco décadas, a geração de RSU tem modificado substancialmente. A Figura 31 apresenta os dados publicados pela EPA em 2011, indicando que no ano de 2010, os americanos geraram cerca de 250 milhões de toneladas de RSU. Comparando a quantidade produzida entre 2005 e 2010, houve uma redução de 2,8 milhões de toneladas. Isso demonstra que em 5 anos, apesar do aumento do número de habitantes, foi interrompida uma taxa de crescimento de geração de resíduos observada desde 1960. Esta redução pode ter ocorrido devido a crise mundial que se iniciou em 2008.



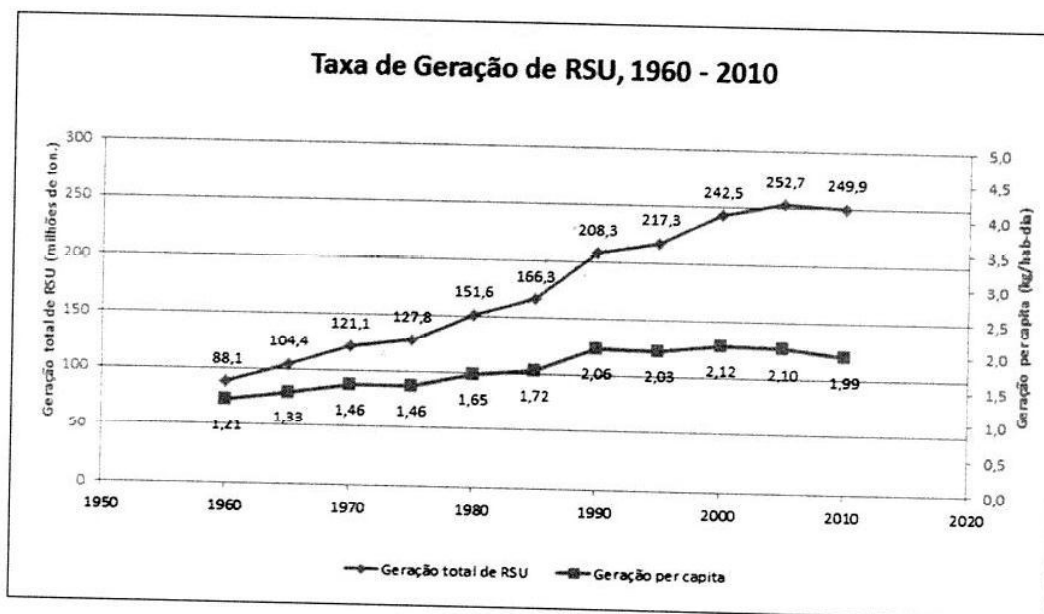


Figura 31 – Geração de RSU total e geração per capita, desde 1960 até 2010.  
 FONTE: EPA, 2011.

## b) Composição dos resíduos

Conforme estimativas da US-EPA (2012), resíduos provenientes de residências representam 55% a 65% do total de RSU. Os resíduos comerciais (incluindo resíduos de escolas, instituições e empresas) constituem cerca de 35% a 45% do total dos resíduos urbanos. Entretanto, esses valores sofrem variações devido aos fatores locais e regionais, tais como clima e índice de atividades comerciais.

A composição gravimétrica média dos materiais dos RSU no ano de 2010 pode ser visualizada na Figura 32.

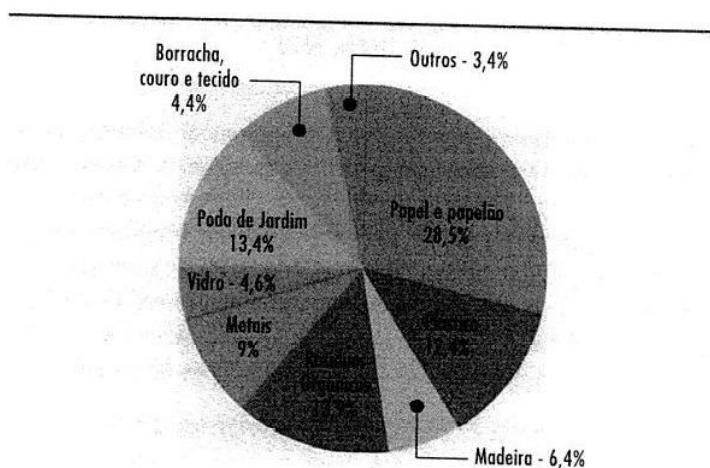


Figura 32 – Composição gravimétrica média dos RSU gerados nos EUA no ano de 2010.  
 Fonte: US-EPA, 2012.



### c) Tecnologias para tratamento e disposição final dos RSU

Ao longo do tempo, as tecnologias de tratamento de RSU têm passado por modificações nos EUA. Em parte, isso é devido ao desenvolvimento da educação da população, que vem enfatizando as práticas de reciclagem e recuperação dos resíduos em substituição à simples disposição final. Outros fatores que têm influenciado a mudança de paradigma são as crescentes preocupações com as questões ambientais, a redução dos efeitos indesejáveis das mudanças climáticas, a conservação dos recursos naturais, o ganho econômico na recuperação e venda dos materiais e o aumento dos custos para o uso das tecnologias de disposição final de resíduos (definidas em políticas e marcos regulatórios).

Levando em consideração as principais rotas tecnológicas utilizadas nos Estados Unidos e listadas na Tabela 2, os proprietários e responsáveis pela gestão de RSU no país tendem a confiar no sistema do “livre mercado” para avaliar e selecionar tecnologias adequadas à situação local. Essas seleções são feitas dentro do contexto restritivo de regulamentação para gestão de RSU, juntamente com a concordância dos governos locais.

**Tabela 2** - Principais tecnologias utilizadas nos EUA.

TECNOLOGIA	PERCENTUAL DE RSU GERADOS	MILHÕES DE TONELADAS PROCESSADAS
Reciclagem	26%	65
Compostagem	8%	20
Incineração com geração de energia	12%	29
Aterros	54%	135

Fonte: USEPA, 2012.

Conforme a Figura 33, nos últimos 30 anos, os resíduos encaminhados ao processo de reciclagem e compostagem têm aumentado gradativamente, e assim, a destinação em aterros sanitários tem diminuído. O tratamento dos resíduos por incineração tornou-se representativo a partir da década de 80, quando saiu de um percentual de aproximadamente 2% para alcançar 14%. Atualmente esse percentual sofreu uma pequena redução para algo em torno de 12%. Outras tecnologias como a gaseificação, pirólise e digestão anaeróbia de RSU ainda não são presentes em níveis comerciais, isto é, têm ainda um caráter experimental ou estão em níveis não representativos quando comparados às outras tecnologias apresentadas.

Observa-se também que as unidades de triagem e reciclagem são fundamentais para a gestão dos resíduos sólidos nos Estados Unidos, onde a recuperação de resíduos (reciclagem+compostagem) aumentou significativamente a partir da década de 90, ao passo que as quantidades descartadas mantiveram-se estáveis.



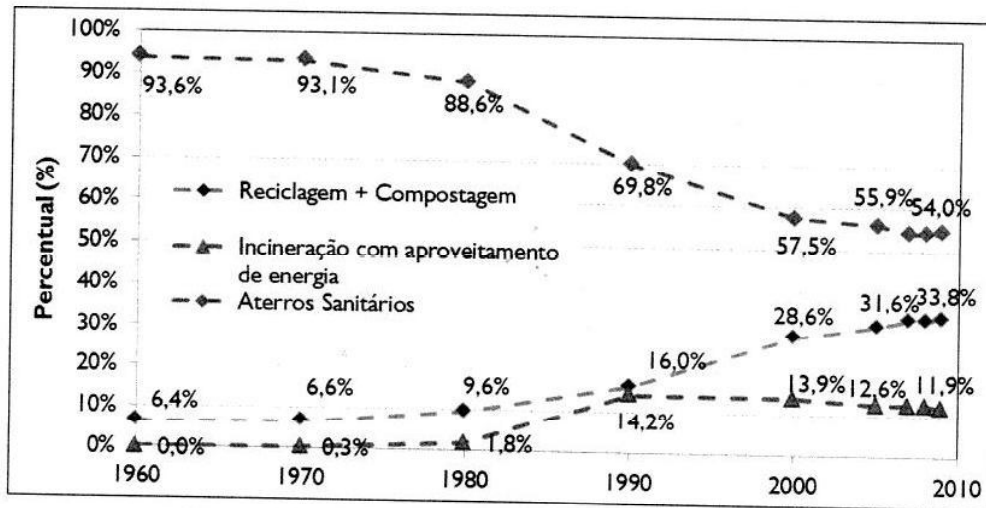


Figura 33 – Evolução do tratamento dos resíduos sólidos urbanos nos EUA.  
Fonte: USEPA, 2012.

As tecnologias de tratamento e disposição final dos RSU diferem também conforme a geografia dos EUA. A Figura 34 apresenta um detalhamento para cada região mostrando o uso relativo de aterros sanitários, incineração com geração de energia e de reciclagem (incluindo compostagem). A utilização de incineradores com aproveitamento energético se limita principalmente à Costa Leste (Nova Inglaterra, Sul e áreas do Atlântico-Médio). A reciclagem se faz presente em todas as regiões. O uso de aterro sanitário para disposição final de RSU é predominante em todas as regiões, principalmente nas regiões da Montanhas Rochosas (Rocky Mountain), Centro-Oeste (Midwest), Sul (South) e Grandes Lagos (Great Lakes). Deve ser mencionado que uma pequena parte dos RSU nos EUA ainda é descartada de forma ilegal, mas os governos locais têm tentado eliminar esses pontos não controlados de destinação final.

### Divisão Regional

Aterros, reciclagem e incineração por região.

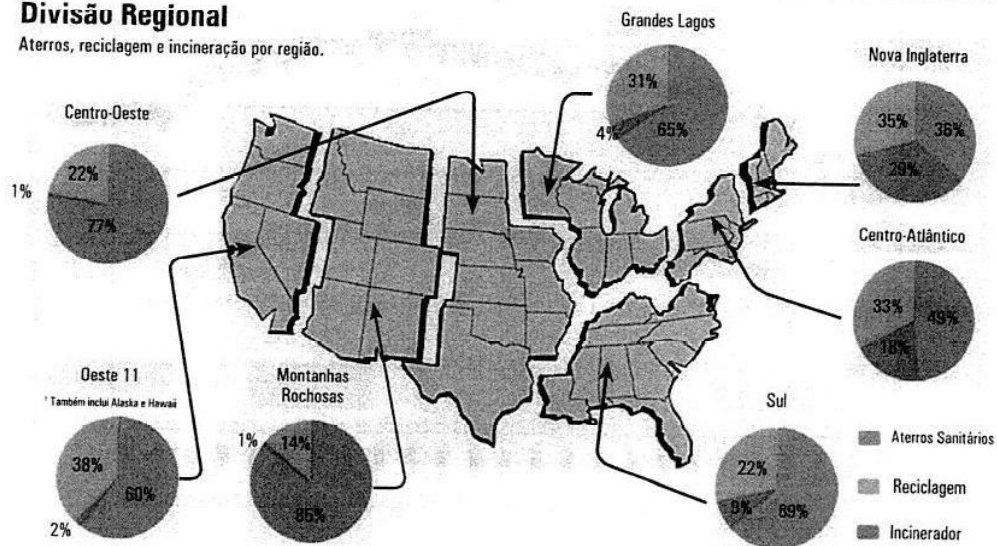


Figura 34 – Características regionais de tratamento e destinação final de RSU nos Estados Unidos.  
Fonte: USEPA, 2012

### 5.1.3 Japão

O Japão possui uma área total de aproximadamente 377 mil km<sup>2</sup> (equivalente a 4% da área total do Brasil) e cerca de 126 milhões de habitantes (66% da população do Brasil), com uma das maiores densidades demográficas do mundo. Em 2011, apresentou a terceira maior economia do mundo, atrás apenas dos Estados Unidos e da China, com um PIB de U\$ 5,88 trilhões de dólares, representando cerca de 8,5% do PIB global.

#### a) Geração de resíduos

A geração de resíduos urbanos no Japão aumentou no período de 1985 a 2000, diminuiu ligeiramente no período de 2000 a 2007 e decresceu acentuadamente no período de 2007 à 2009, conforme apresentado na Figura 35. Em 2009, a geração de RSU no Japão foi de cerca de 46,25 milhões de toneladas, com a taxa de geração de 0,99 kg/habitante/dia.

Avalia-se que a redução da geração de resíduos no Japão é resultado da execução bem sucedida de uma série de leis e marcos regulatórios que associam as estratégias nacionais para os 3Rs (reduzir, reutilizar, reciclar)

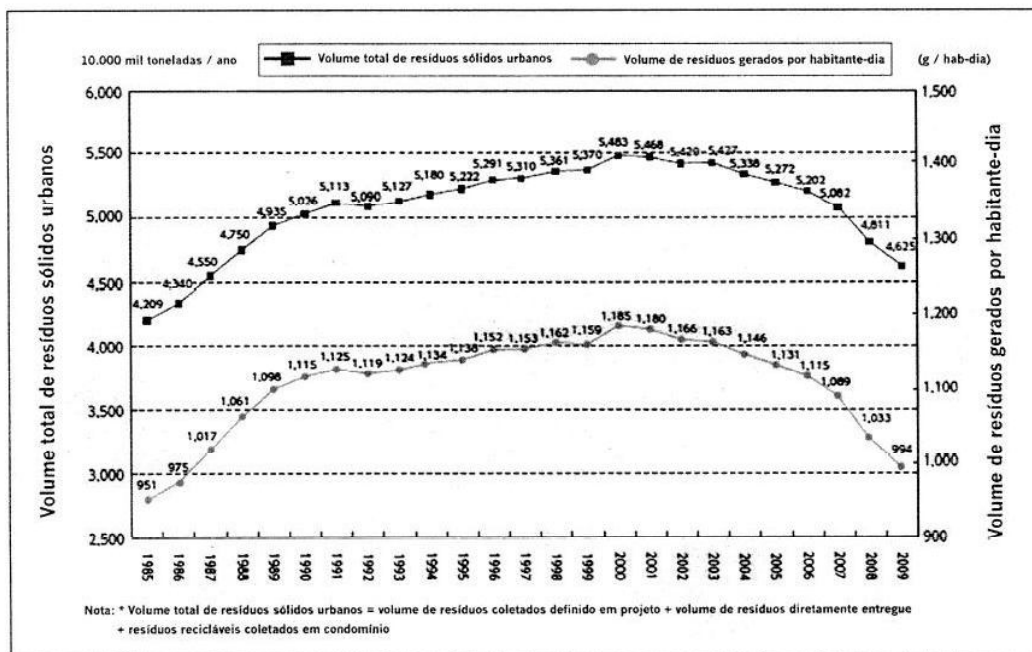


Figura 35 – Variação da geração dos resíduos no Japão no período de 1985 a 2009.

Fonte: MOEJ, 2012.



## b) Composição dos resíduos

A composição dos resíduos no Japão tem se alterado ao longo do tempo devido à mudança no consumo e às preocupações ambientais, conforme apresentado na Figura 36.

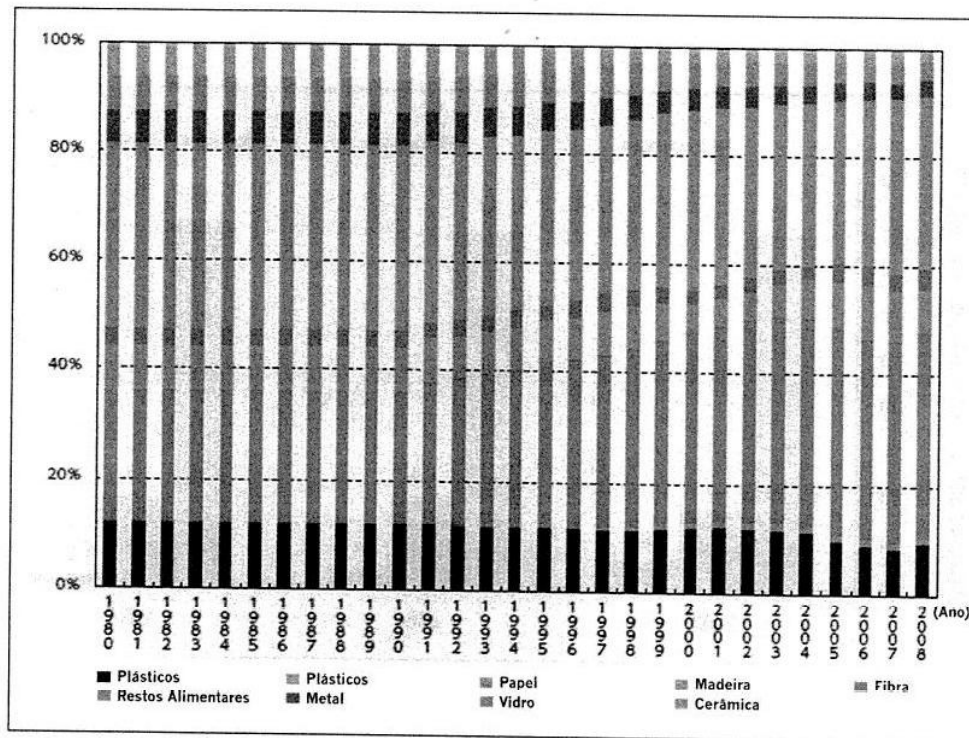


Figura 36 – Composição dos resíduos no Japão no período de 1980 a 2008.  
Fonte: MOEJ, 2012.

Em 2008, a composição dos resíduos no Japão compreendeu cerca de 38% de papel, 31% de restos alimentares (orgânicos), 10% de plástico, 8% de madeira, 4% de fibra, 4% de vidro, 3% de metal e 2% de cerâmica (MOEJ, 2011B).

## c) Tecnologias para tratamento e disposição final dos RSU

No Japão, a diversidade de alternativas tecnológicas é muito grande, entretanto é possível perceber um balizamento pelas legislações para definir as escolhas, os arranjos institucionais, a tendência para segregação, a existência de coleta seletiva e ainda a relevância para instalação de incineradores e até aterros sanitários. As diferenças regionais existem especialmente em termos de desempenho de reciclagem, uso de plantas de combustão de resíduos e geração de energia, e de propriedade (público x privado) das etapas de um sistema de gestão de resíduos sólidos em particular.

A tecnologia da incineração é o principal tratamento de resíduos sólidos urbanos no Japão nos últimos anos, conforme pode ser observado na Figura 37. A técnica, embora consiga reduzir o volume total de resíduos destinado ao aterro sanitário, apresenta-se como um tratamento dispendioso financeiramente. Os aterros sanitários são geralmente utilizados para a disposição de resíduos não inflamáveis e resíduos após tratamento intermediário, por exemplo, as cinzas de incineradores.

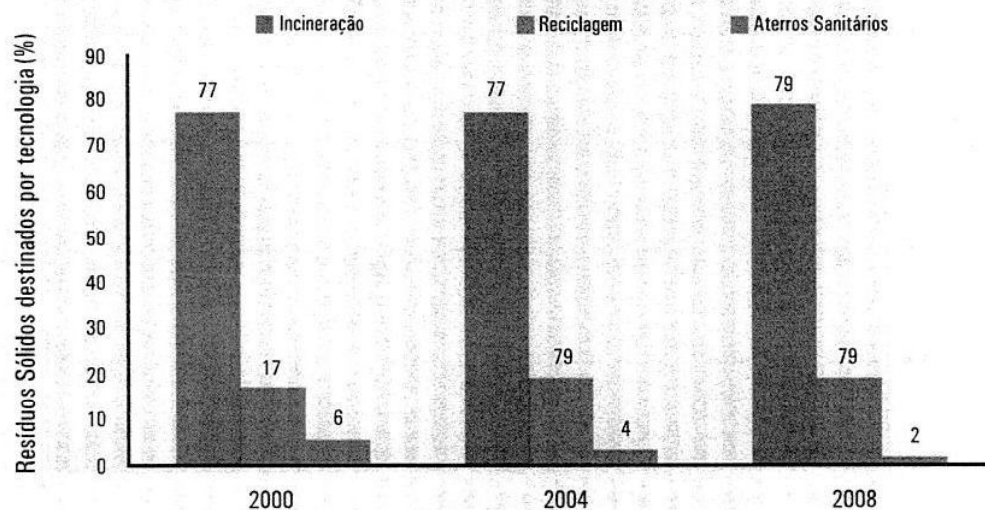


Figura 37 – Comparação de tratamento de resíduos sólidos urbanos no Japão durante o ano 2000 a 2008.  
Fonte: Modificado a partir MOEJ, 2011.

## 5.2 Brasil

O Brasil é o país mais populoso da América Latina, com cerca de 201 milhões de habitantes e o quinto do mundo em extensão territorial, aproximadamente 8,5 milhões de km<sup>2</sup>. Em 2012, o país teve um PIB de R\$ 4,403 trilhões, apresentando-se como sexta maior economia do mundo. É dividido em 5 regiões de desenvolvimento: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, com 26 Estados, 1 Distrito Federal e 5.570 municípios (IBGE, 2013).

Em âmbito nacional, os dados mais atuais na área de resíduos são apresentados pelo PNSB (IBGE, 2010), na versão preliminar do PNRS (que está em consulta pública desde setembro de 2011), ABRELPE (2012) e ABRELPE (2011), SNIS (2010), além de alguns dados presentes em revistas e artigos. É importante enfatizar que a maioria desses trabalhos foi realizada utilizando metodologias diferentes, o que pode gerar distorções entre os dados relativos ao mesmo ano e regiões.



### a) Geração de resíduos

A geração total de RSU no Brasil em 2011 foi de 61.936.368 toneladas (ABRELPE, 2012). Observando-se os dados de 2011 (61.936.368 toneladas) comparativamente aos de 2010 (60.868.080 toneladas) e 2009 (57.011.136 toneladas), verificou-se um crescimento da geração em 6,8% (ano de 2009 para 2010) e 1,8% (ano de 2010 para 2011).

Quanto à geração per capita de resíduos por região, conforme dados de 2012 da ABRELPE, observa-se na Figura 38 que cada habitante da Região Sudeste gera em média 1,225 Kg de RSU/dia, seguido da Região Centro-Oeste (1,153 Kg de RSU/dia), Região Nordeste (1,014 Kg de RSU/dia), Região Norte (0,965 Kg de RSU/dia) e Região Sul (0,838 Kg de RSU/dia).

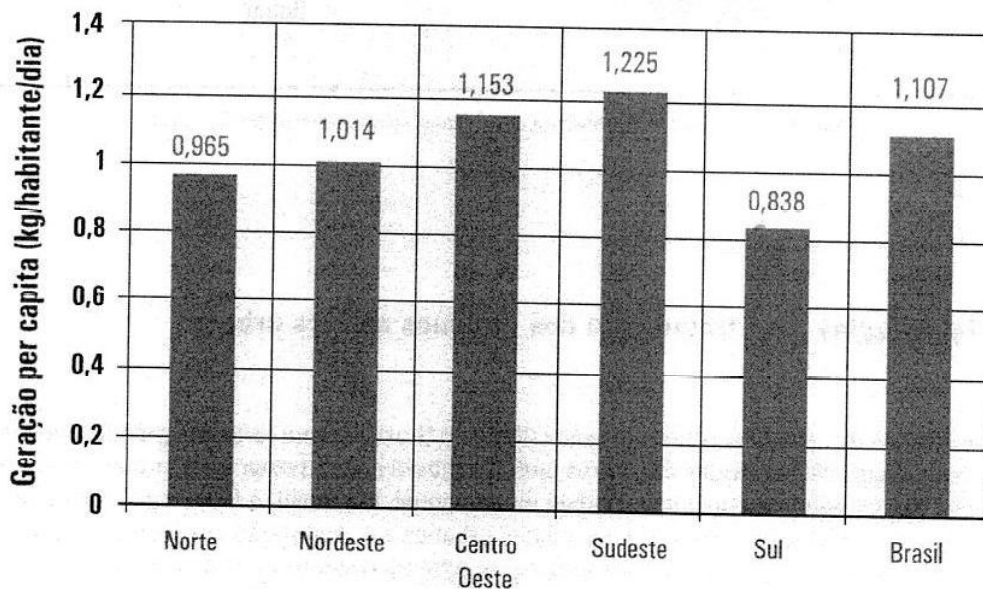


Figura 38 – Geração per capita de RSU em cada região no Brasil com base nos dados RSU coletados pela ABRELPE (2012).

### b) Composição dos resíduos

A Figura 39 apresenta a composição gravimétrica média de resíduos sólidos urbanos no Brasil (Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2011) *apud* ABRELPE, 2012). É importante enfatizar que a composição gravimétrica pode variar de um município para outro, bem como por período do ano, visto que está diretamente relacionada a hábitos e aspectos culturais e econômicos, dentre outros, da população.



## Composição Gravimétrica (%)

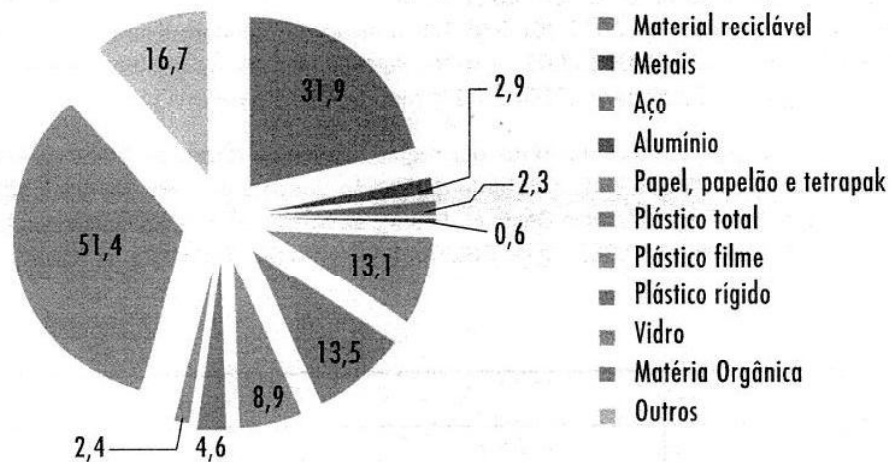


Figura 39 – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos (PNRS, 2011).

### c) Tecnologias para tratamento dos resíduos sólidos urbanos

O tratamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil sempre teve uma grande influência das tecnologias desenvolvidas em outros países, embora não se possa afirmar que houve uma adoção por completa de qualquer modelo internacional. No Brasil, a tecnologia amplamente adotada para destinação dos resíduos sólidos urbanos é a disposição em aterros sanitários. Salienta-se ainda que existem aproximadamente 42% de resíduos que não são tratados e são descartados inadequadamente em aterros controlados e lixões, conforme dados da ABRELPE 2012.

Com a criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei N° 12.305 de 2010 regulamentada pelo Decreto 7.404 de 2010), espera-se que nos próximos anos exista uma mudança no panorama da gestão dos RSU, passando da condição de uso de práticas inadequadas de aterramento (como os lixões e aterros controlados) para o uso de tecnologias de tratamento e disposição final (como os aterros sanitários, triagem, reciclagem, compostagem e incineração) adequadas para a realidade de cada local.

Um dos pontos importantes para se analisar o modelo de gestão de RSU no país consiste em analisar as formas e os serviços de coleta implementados. Segundo IBGE (2008), o serviço de coleta de RSU no Brasil ainda está longe da situação ideal, visto que apresenta um índice de coleta de 89%, enquanto no Japão e no Canadá esse mesmo índice é de 100%, na União Europeia (UE) é de 99% e nos Estados Unidos (EUA) é de 95%.



A Tabela 3 apresenta a quantidade de RSU gerada que foi coletada e o índice de coleta nas áreas urbanas em cada região do País. Percebe-se que a Região Sul e a Região Sudeste apresentam os melhores índices de coleta. Em termos nacionais, a Região Nordeste apresenta o menor índice de coleta (76,17%); cerca de 55,5% dos resíduos não coletados no Brasil estão nessa região.

Tabela 3 - Quantidade de RSU coletados por regiões do Brasil.

REGIÃO	RSU (t/dia)		RSU não coletados		ÍNDICE DE COLETA (ÁREAS)
	GERADOS	COLETADOS	T/DIA	%	
NORTE	13.754	11.585	2.169	15,77%	84,23%
NORDESTE	51.689	40.021	11.668	22,57%	77,43%
CENTRO-OESTE	16.055	14.788	1.267	7,89%	92,11%
SUDESTE	98.215	95.142	3.073	3,13%	96,87%
SUL	21.345	19.752	1.593	7,46%	92,54%

Fonte: ABRELPE, 2012.

Se avaliarmos em função da quantidade de domicílios particulares com acesso a coleta na zona rural ou urbana dos municípios, este índice é ainda pior, como pode ser observado na Figura 40.

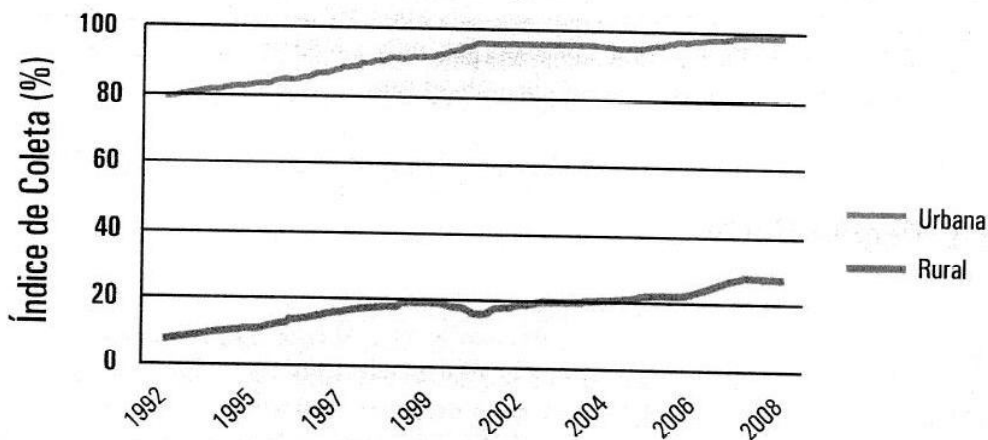


Figura 40 – Percentual de domicílios particulares permanentes com acesso à coleta de RSU, nos anos de 1992 a 2008. Fonte: IBGE, 2008.

Em termos de coleta seletiva, apenas 28% dos municípios apresentam algum tipo de iniciativa. Entretanto, apenas 1,4% dos RSU são reciclados, o que corresponde a um percentual muito baixo quando comparado com o da Europa (45%), Estados Unidos (34%) e Japão (19%). Dos 5.565 municípios do Brasil, apenas 443 (7,9%) apresentam iniciativas com coletas diferenciadas, e a grande maioria está localizada nas regiões Sul e Sudeste.

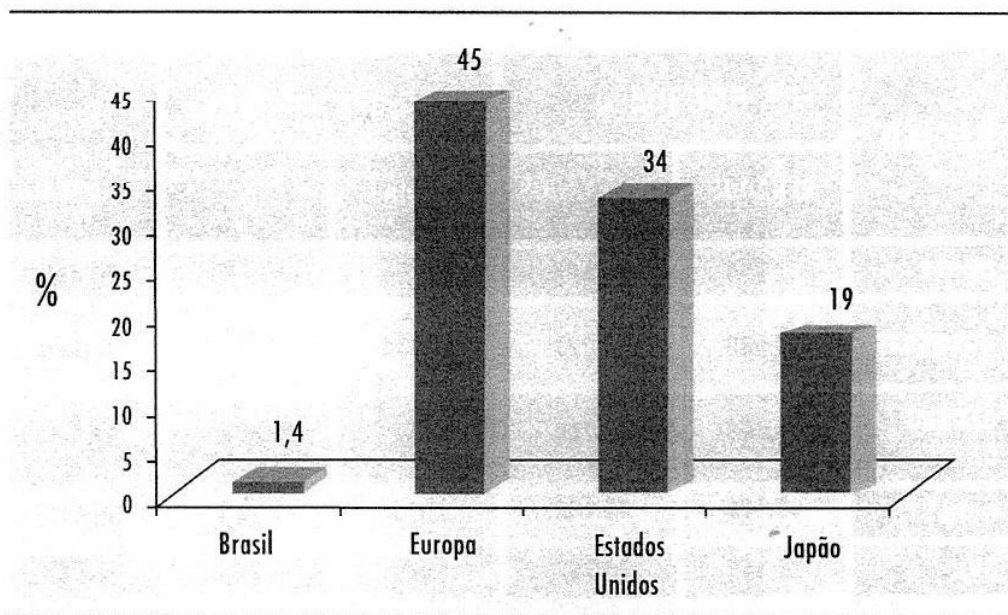


Figura 41 – Comparação dos percentuais de reciclagem de Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão.

A situação da gestão de resíduos sólidos urbanos nas regiões geográficas do país é descrita a seguir com dados obtidos por meio de fontes secundárias, com destaque para o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2011, publicado pela ABRELPE em 2012, e para a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008, publicada pelo IBGE em 2010, além do conhecimento e experiência da equipe de Pesquisa envolvida neste projeto.

## 5.2.1 Região Norte

A Região Norte do Brasil é constituída pelos Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins, que somam 16.318.163 habitantes (IBGE 2012), em uma superfície de 3.869.637,9 km<sup>2</sup> (cerca de 43% do território nacional), resultando em uma densidade populacional de apenas 3,77 habitantes por quilômetro quadrado. Representa cerca de 5,3% do PIB do Brasil em 2010.

O cenário da gestão de RSU nesta região é bastante diferenciado de outras regiões do país.



Apesar da alta taxa de urbanização da população e da existência de duas cidades com mais de 1,5 milhões de habitantes, a conectividade entre as cidades ainda é bastante baixa, resultando na aplicação de soluções isoladas para o manejo e o tratamento dos resíduos sólidos.

Os principais atores envolvidos na gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) na Região Norte estão ligados aos setores públicos. Alguns serviços, como a coleta de materiais recicláveis, são prestados por cooperativas, associações ou catadores independentes.

A gestão dos serviços de manejo de RSU é realizada predominantemente de forma direta pelos municípios, conforme verificado.

Quanto à execução dos serviços, os municípios de Rio Branco, Macapá, Santana, Manaus e Belém, e os municípios de maior porte dos Estados do Pará e do Amazonas executam os serviços de coleta, transporte, tratamento e destinação final com auxílio de empresas contratadas, já os municípios de pequeno a médio porte, realizam esses serviços pela própria prefeitura.

Quanto aos aspectos financeiros da gestão de RSU, verifica-se que a maior parte dos municípios da região não realiza a cobrança de taxas pela prestação de serviços de manejo e limpeza pública. Quando a taxa é cobrada, não cobrem os custos da atividade.

Os Anexos III, IV e V apresentam, respectivamente, os principais atores, o perfil institucional e os aspectos financeiros da gestão de RSU nos Estados da Região Norte.

A quantidade de RSU coletados nos 7 Estados da Região Norte em 2011 foi de 13.754 t/dia e corresponde a 6,4% da geração total do Brasil, com a per capita de 0,965 kg/hab.dia (ABRELPE, 2012). A geração de RSU por Estado está apresentada na Tabela 4.

Na Região Norte, os municípios seguem basicamente a concepção tradicional de gestão de resíduos adotada em todo país, com coleta porta-a-porta nas regiões urbanizadas, transporte através de caminhões compactadores e destinação final para aterros sanitários, controlados ou lixões.

**Tabela 4 – População e Geração dos RSU nos Estados da Região Norte.**

<b>ESTADO</b>	<b>População Urbana (hab.) IBGE, 2011</b>	<b>Geração de RSU (t/dia ) (ABRELPE, 2012)</b>
Acre	733.559	516
Amapá	669.526	501
Amazonas	3.483.985	3.071
Pará	7.581.051	5.625
Rondônia	1.562.409	1.181
Roraima	450.479	328
Tocantins	1.383.445	1.068
<b>Região Norte</b>	<b>15.864.454</b>	<b>12.290</b>

Fonte: ABRELPE, (2012); IBGE (2011).



## Principais tecnologias e rotas tecnológicas de RSU da Região Norte

Enquanto a coleta regular domiciliar é amplamente observada nos municípios da Região Norte, a coleta seletiva está presente em menos da metade (46,5% dos municípios declaram ter algum sistema de coleta seletiva em funcionamento). De uma maneira geral, é realizada porta-a-porta apenas em municípios de maior porte. Nos demais, as iniciativas são variadas e operadas principalmente por catadores autônomos ou com baixo grau de organização.

A compostagem é quase inexistente nos estados da região, e quando feita é realizada através do processo convencional de leiras reviradas. Os lixões ainda representam quase a totalidade da forma de destinação final. A Figura 42 apresenta a localização das unidades de triagem e compostagem existentes na Região Norte.

Não há plantas de aproveitamento energético por meio da incineração ou digestão anaeróbia implantadas na Região Norte.

Para o atendimento da meta estabelecida na PNRS de eliminação dos lixões até 2014, existem muitas ações a serem desenvolvidas, entre elas, a definição de tecnologias adequadas aos pequenos municípios isolados, com baixa arrecadação, alto índice pluviométrico e extensas áreas de várzea.

86

As cidades maiores tendem a utilizar os aterros de grande porte, como tecnologia adequada para o tratamento e disposição final dos resíduos e a contratação de empresas terceirizadas para a construção e operação desses empreendimentos.

Existem duas experiências de obtenção de Certificado de Emissões Reduzidas estabelecidas pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio da coleta e queima controlada do biogás nos aterros municipais de Manaus e Belém. No entanto, os aterros não dispõem de tecnologia para o aproveitamento energético do biogás.

Quanto à destinação final dos resíduos na Região Norte, apesar de existirem dados contraditórios nas diferentes bases de dados pesquisadas, os levantamentos efetuados nesta Pesquisa mostram a existência de apenas 2 aterros sanitários, devidamente licenciados nos órgãos ambientais.

A Figura 43 apresenta a forma de disposição final dos resíduos na região. É importante frisar que os aterros sanitários foram considerados como disposição final adequada e os lixões e aterros controlados como disposição final inadequada, conforme preconiza a Política Nacional de Resíduos Sólidos.