



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

LUIS HENRIQUE NUNES QUEZADO

**AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS  
PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO  
DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Fortaleza

2010

LUIS HENRIQUE NUNES QUEZADO

AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS  
PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO  
DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Trabalho de final de curso submetido à  
Coordenação do Curso de Engenharia Química  
da Universidade Federal do Ceará  
como requisito parcial para graduação em Engenharia Química

Orientador: Prof. Dr. João José Hiluy Filho

Fortaleza

2010

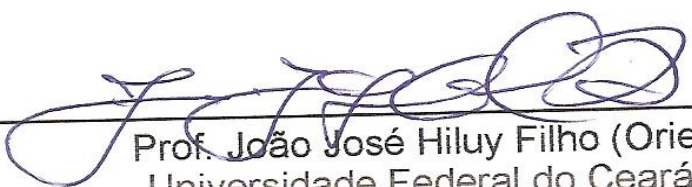
LUIS HENRIQUE NUNES QUEZADO

AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA APROVEITAMENTO  
ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Monografia submetida à Coordenação do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Químico

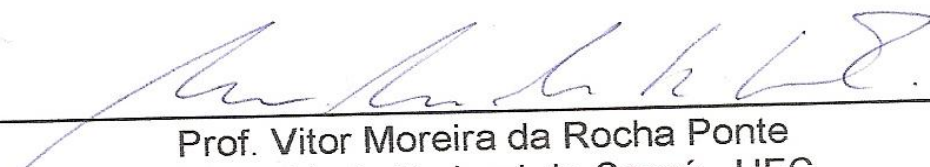
Aprovada em 29 / 11 / 2010

COMISSÃO EXAMINADORA



---

Prof. João José Hiluy Filho (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará - UFC



---

Prof. Vitor Moreira da Rocha Ponte  
Universidade Federal do Ceará - UFC



---

Prof. William Magalhães Barcellos  
Universidade Federal do Ceará - UFC

Dedico o presente trabalho a **Humberto Alves Quezado** (in memorian), meu pai e meu eterno exemplo. Pois graças a ele adquiri valores como ética, perseverança e honestidade que constituem meu caráter e definem meu ser.

Obrigado pai. Onde o senhor estiver sei que sempre estará me auxiliando no meu caminho.

## AGRADECIMENTOS

Em especial, agradeço a:

- Deus, pelo dom da vida e tudo que me proporciona diariamente.
- Minha mãe, Maria do Socorro Nunes Quezado, que com seu jeito meigo de ser, conseguiu me proporcionar o estudo bem como sempre me apoiou nesse caminho.
- Minha irmã, Amanda Emília Nunes Quezado, que sempre estava disposta a me auxiliar e conversar nos momentos difíceis.
- Meu irmão, Luis Humberto Nunes Quezado, por fazer parte do meu caminho, principalmente nos momentos de lazer e conversas descontraídas.
- Minha irmã, Alexsandra de Lima, por sempre servir como exemplo a ser seguido, sempre estudiosa e me dizendo para não desistir.
- Talita Xavier Lima, pelo apoio constante a cada novo desafio e pela cumplicidade vivenciada em nossa união.
- O meu mestre e orientador, professor Dr. João José Hiluy Filho, a todas as suas conversas, discussões e ensinamentos passados, que foram decisórios para a retomada da motivação pelo curso. O que proporcionou a realização deste trabalho.
- Os outros docentes do Curso de Graduação em Engenharia Química da UFC, por estarem presentes no meu caminho, de forma positiva ou negativa, pois de uma forma ou de outra acabaram por desenvolver meu senso crítico que muito utilizei neste trabalho.
- Todos os meus outros amigos, colegas de classe e companheiros que sempre me apoiaram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

## **Resumo**

A explosão populacional dos centros urbanos, bem como o crescente aumento do padrão de renda, vem gerando enormes quantidades de resíduos sólidos, decorrentes das múltiplas atividades desenvolvidas nas grandes cidades. A maioria dos países desenvolvidos equacionou boa parte desses problemas através da educação ambiental, legislação e políticas específicas, gestão pública e desenvolvimento de tecnologias apropriadas. Países como o Brasil, entretanto, apresentam uma indefinição no que se refere ao destino correto do lixo produzido, normalmente encaminhado a lixões, ocasionando sérios problemas ambientais. O presente trabalho consiste no diagnóstico da viabilidade técnica de aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos sob o aspecto de diversas tecnologias, elaborado a partir da avaliação qualitativa e quantitativa do potencial de energia gerado por estas tecnologias, tendo em vista sua aplicabilidade como processo de mitigação de impacto.

**Palavras-Chave:** Lixo Urbano, Aproveitamento Energético, Reciclagem, Compostagem, Aterro Sanitário, Incineração.

## **Abstract**

The increase in population growth in the large conurbations, together with the increase in levels of income, are responsible for generating large quantities of solid waste, caused by the various activities in these large urban centers. The majority of the developed countries have tried to solve many of these problems through environmental education, legislation, the introduction of specific policies, public management and development of appropriate technologies. Countries like Brazil, however, only have a vague idea of what to do with generated waste, which is normally sent to dumps, and creates serious environmental problems. This study consists of a diagnosis of the technical viability of the production of energy from such solid waste, using various types of technology, derived from the qualitative and quantitative evaluation of potential energy generation using these technologies, in view of their optimum use in limiting their impact on the environment.

**Keywords:** Solid Urban Waste, Energetic Use, Recycling, Composting, Landfill, Waste-to-Energy Plants.

*"Nem tudo o que enfrentamos  
pode ser mudado. Mas nada pode ser  
mudado enquanto não for enfrentado."*

James Baldwin

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CEMPRE – Compromisso Empresarial para a Reciclagem

CEWEP – Confederation of European Waste-to-Energy Plants

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CTL – Central Termoelétrica de Lixo

DBO – Demanda Biológica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

FAE – Fontes Alternativas de Energia

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

MAE – Mercado Atacadista de Energia

MDL – Mecanismos de Desenvolvimento Limpo

NBR – Norma Brasileira

PCI – Poder Calorífico Inferior

PNRS – Plano Nacional de Resíduos Sólidos

RCE – Reduções Certificada de Emissão

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

Sisnama – Sistema Nacional de Meio Ambiente

SNVS – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

Suasa - Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária

USEPA – United States Environmental Protection Agency

WTE – Waste-to-Energy

## Lista de Figuras

|                                                                                                               |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Figura 1 – Mapa do Protocolo de Quioto em 2009 .....                                                          | pág 13 |
| Figura 2 – Composição gravimétrica dos resíduos depositados na célula da Chesf, no Aterro da Muribeca-PE..... | pg 22  |
| Figura 3 – Aterro Sanitário com Aproveitamento Energético do Biogás.....                                      | pg 29  |
| Figura 4 – Esquema de Funcionamento do Projeto de Aproveitamento Energético no Aterro Bandeirantes – SP ..... | pg 30  |
| Figura 5 – Metodologia da Compostagem.....                                                                    | pg 35  |
| Figura 6 – Evolução das Fontes Emissoras de Dioxinas e Furanos nos EUA.....                                   | pg 38  |
| Figura 7 – Exemplo de Usina de Incineração.....                                                               | pg 41  |
| Figura 8 – Esquema de Funcionamento de uma planta de Incineração.....                                         | pg 41  |
| Figura 9 – Arranjo de Consórcios para Usina de Incineração.....                                               | pg 42  |
| Figura 10 – Potencia Instalada de Incineração em diversos Países.....                                         | pg 42  |

## Lista de Tabelas

|                                                                                                  |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Tabela 1 - Origem, possíveis classes e responsável pelos resíduos.....                           | pg 18 |
| Tabela 2 - Composição gravimétrica média de alguns países.....                                   | pg 21 |
| Tabela 3 – Composição do RSU – Poder Calorífico Inferior .....                                   | pg 23 |
| Tabela 4 – Composição média do biogás – São Paulo.....                                           | pg 24 |
| Tabela 5 - Características químicas e físico-química do gás de aterro.....                       | pg 28 |
| Tabela 6 – Vantagens e Desvantagens do projeto de Aterros Sanitários.....                        | pg 31 |
| Tabela 7 – Economia Resultante da Reciclagem do Lixo.....                                        | pg 32 |
| Tabela 8 - Análise Comparativa entre Materiais Reciclados e Impactos.....                        | pg 33 |
| Tabela 9 - Vantagens e Desvantagens da Reciclagem.....                                           | pg 33 |
| Tabela 10 - Classificação da Compostagem.....                                                    | pg 34 |
| Tabela 11 - Vantagens e Desvantagens da Compostagem.....                                         | pg 36 |
| Tabela 12 - Premissas para o cálculo de geração de energia elétrica por Incineração.....         | pg 39 |
| Tabela 13 – Países utilizadores da Incineração nos anos 90.....                                  | pg 39 |
| Tabela 14 – Fração de RSU Incinerados e Recuperação Energética em alguns Países nos anos 90..... | pg 40 |
| Tabela 15 - Vantagens e Desvantagens da Incineração.....                                         | pg 43 |

# Sumário

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1. Introdução</b>                                                | 12 |
| 1.1 A Problemática dos Resíduos Sólidos Urbanos - RSU               | 12 |
| 1.2 Os RSU no contexto mundial                                      | 12 |
| 1.3 Os RSU no Brasil                                                | 13 |
| 1.4 Objetivos do Trabalho                                           | 14 |
| 1.5 Justificativa                                                   | 14 |
| <b>2. Revisão Bibliográfica</b>                                     | 15 |
| 2.1 Resíduos Sólidos                                                | 15 |
| 2.1.1 Caracterização dos Resíduos Sólidos                           | 16 |
| 2.1.1.1 Quanto à natureza física: secos ou molhados.                | 17 |
| 2.1.1.2 Quanto à composição química: orgânico ou inorgânico         | 17 |
| 2.1.1.3 Quanto ao risco potencial ao ambiente:                      | 17 |
| 2.1.1.4 Quanto à origem:                                            | 19 |
| 2.1.1.4.1 Domiciliar:                                               | 19 |
| 2.1.1.4.2 Comercial:                                                | 19 |
| 2.1.1.4.3 Serviços públicos:                                        | 19 |
| 2.1.1.4.4 Hospitalar:                                               | 19 |
| 2.1.1.4.5 Portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários: | 20 |
| 2.1.1.4.6 Industrial:                                               | 20 |
| 2.1.1.4.7 Radioativo:                                               | 20 |
| 2.1.1.4.8 Agrícola:                                                 | 20 |
| 2.1.1.4.9 Entulho:                                                  | 20 |
| 2.1.2 Análise de Propriedades dos Resíduos Sólidos                  | 21 |
| 2.1.2.1 Composição Gravimétrica:                                    | 21 |
| 2.1.2.2 Peso Específico:                                            | 22 |
| 2.1.2.3 Teor de Umidade:                                            | 22 |
| 2.1.2.4 Compressividade:                                            | 22 |
| 2.1.2.5 Capacidade Calorífica ou Poder Calorífico:                  | 23 |
| 2.1.2.6 Biogás:                                                     | 23 |
| 2.1.2.7 Chorume/Lixiviado:                                          | 24 |
| 2.1.2.8 Destinação Final (Lei Federal 12.305/2010):                 | 24 |
| 2.1.2.9 Disposição Final:                                           | 24 |
| 2.1.2.10 Rejeitos (Lei Federal 12305/2010):                         | 25 |

|       |                                                                                  |           |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2   | Tecnologias Disponíveis e Formas de Tratamento.....                              | 25        |
| 2.2.1 | Confinamento Subterrâneo (Aterro Sanitário) .....                                | 25        |
| 2.2.2 | Reciclagem .....                                                                 | 25        |
| 2.2.3 | Compostagem.....                                                                 | 26        |
| 2.2.4 | Co-Processamento.....                                                            | 26        |
| 2.2.5 | Incineração .....                                                                | 26        |
| 2.2.6 | Plasma.....                                                                      | 27        |
| 2.2.7 | Parque Tecnológico .....                                                         | 27        |
| 3.    | <b>Avaliação Comparativa de Tecnologias para Aproveitamento Energético .....</b> | <b>28</b> |
| 3.1   | Aterro Sanitário .....                                                           | 28        |
| 3.2   | Reciclagem .....                                                                 | 31        |
| 3.3   | Compostagem.....                                                                 | 34        |
| 3.4   | Incineração.....                                                                 | 36        |
| 4.    | <b>Conclusões e Perspectivas.....</b>                                            | <b>44</b> |
| 5.    | <b>Referências .....</b>                                                         | <b>46</b> |

## 1. Introdução

### 1.1 A Problemática dos Resíduos Sólidos Urbanos - RSU

Os RSU constituem-se seguramente num problema de âmbito mundial, pois representam em sua grande maioria impactos ambientais, demandando soluções que envolvem elevados custos e mudanças de infra-estrutura.

Desde a intervenção do modelo capitalista a qual pertencem a grande maioria das sociedades, sobretudo nos centros urbanos, o consumo tornou-se algo bem mais acentuado do que na idade antiga. O desenvolvimento de tecnologias para a produção em massa de produtos descartáveis vem causando um grande impacto junto à população, implicando numa crescente procura por bens e ocasionando um acentuado problema ambiental.

### 1.2 Os RSU no contexto mundial

De forma global, a implantação de tecnologias para o reaproveitamento dos resíduos ocorreu primeiramente nos países mais desenvolvidos. Tal implantação levou a um início da consciência global para racionalização do consumo e melhora nas tecnologias de reciclagem e aproveitamento energético. Isso culminou em constantes conflitos de interesse entre empresários e ambientalistas. Tal impasse foi amenizado através do Protocolo de Quioto, que é o resultado coercitivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudanças Climáticas. Vários eventos ambientais ocorreram até sua criação, tais como a *Toronto Conference on the Changing Atmosphere* no Canadá e a ECO-92 no Rio de Janeiro.

O Protocolo de Quioto foi negociado no Japão em 1997. Porém, só entrou em vigor em fevereiro de 2005, após a Rússia o ter ratificado em novembro de 2004, atingindo assim os 55% dos países que produzem 5% das emissões. Este Protocolo visa uma redução dos gases de efeito estufa com o intuito de minimizar o impacto ambiental na atmosfera e reduzir a temperatura global. Tal feito provoca uma variação na economia global, e portanto, alguns países estão relutantes em ratificá-lo. Um panorama global retratando este protocolo pode ser observado na figura1.



Outro ponto a ser levado em consideração é a Política Nacional de Resíduos Sólidos que foi implantada recentemente sob a Lei Federal 12305/2010, e prevê uma mudança significativa no que diz respeito à atual gestão de resíduos no Brasil.

#### 1.4 Objetivos do Trabalho

O presente trabalho referencia pontos de interesse atual e contextualizados, apresentando técnicas de mitigação de impactos e aproveitamento energético de RSU. Além disso, possibilita a análise crítica das tecnologias disponíveis e comparação das vantagens e desvantagens inerentes a cada tecnologia se implantada no Brasil, e mais especificamente no Estado do Ceará.

#### 1.5 Justificativa

Os RSU representam problemas presentes em qualquer sociedade. E, certamente, são pontos de interesse, pois sua eliminação pode se tornar complicada dependendo do material que é composto e, eventualmente, podem causar sérios danos aos seres humanos e ao meio ambiente se acondicionados de forma incorreta. Para tanto, um estudo específico mostrando como mitigar este impacto e aproveitar energeticamente o que já vem sendo descartado é de importância significativa na realidade atual do planeta.

Segundo Calderoni, *“O risco de racionamento de energia no país tem sido discutido pelos especialistas e, embora não haja um total consenso sobre esta questão, numerosos trabalhos publicados recentemente alertam para o perigo de sofrermos restrições no fornecimento de energia, possivelmente já em 2001, sobretudo com a confirmação da retomada do crescimento econômico a taxas da ordem de 4% ao ano.”*. Com relação ao potencial energético, afirma ainda que *“Com esse novo modelo institucional do setor elétrico, tornou-se possível a produção de energia elétrica a partir do lixo com o envolvimento da iniciativa privada e passaram a ser viáveis parcerias entre empresas e prefeituras. E é muito significativa a contribuição que essa nova forma de se gerar energia pode trazer.”*

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1 Resíduos Sólidos

Decorrente a implantação da Lei Federal 10438/2002 certas diretrizes foram tomadas favorecendo, através de incentivos, a utilização de Fontes Alternativas de Energia - FAE. Dentre essas diretrizes uma de caráter mais direto estabelece que 10% da matriz energética brasileira deve ser advinda de FAE pelos próximos 20 anos a partir da execução dessa lei. Com isso houve um crescimento na área de pesquisa nesse setor. Assim, enquadrando os resíduos sólidos nessa categoria é possível obter além do aproveitamento energético, uma mitigação dos impactos ambientais que condiz com a Lei Federal 12305/2010, recentemente instaurada e que institui o Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS.

Calderoni, 2003, diz que, *“A produção de energia elétrica era monopólio estatal até bem pouco tempo no Brasil. As recentes mudanças institucionais introduzidas no setor elétrico, com a criação da ANEEL e a instituição do Mercado Atacadista de Energia (MAE) deram origem a um novo modelo.”*. Isso mostra que devido ao mercado de energia em alta, o aproveitamento energético de FAE pode ser lucrativo, adicionando ao aproveitamento dos resíduos um fator monetário ao invés apenas do cunho ambientalista.

Além disso, reforça o cunho econômico do reaproveitamento dos resíduos quando explicita o ganho tanto do poder público quanto do privado em: *“Para as indústrias, haveria um tríplice ganho: poderiam contar com uma fonte adicional e permanente de suprimento de energia, tendo, potencialmente, uma alternativa adicional para a disposição dos resíduos não perigosos que geram, além dos ganhos econômicos decorrentes dessa nova forma de geração de energia e disposição de resíduos. Para os municípios, a economia seria muito grande. Seus gastos com a implantação e a operação de aterros sanitários seriam quase inteiramente evitados. Além disso, seriam reduzidas as distâncias percorridas pelos caminhões de coleta, outra forma importante de se economizar e, ao mesmo tempo, melhorar o tráfego urbano. E tudo isso, sem a necessidade de investimentos por parte das Prefeituras, uma vez que tudo poderia ser feito através de terceirização, pela concessão dos serviços a empresas.”*

Para um melhor entendimento do presente trabalho, faz-se necessário um conhecimento aprofundado acerca do ponto gerador do problema, os resíduos sólidos em especial os urbanos nos centros populacionais.

Por definição, segundo a ABNT (1987), os resíduos sólidos são *“restos das atividades humanas consideradas como inúteis, indesejáveis ou descartáveis. Em geral, apresentam-se sobre estado sólido, semi-sólido e semi-líquido, desde que não seja passível de tratamento convencional.”* Sabendo que toda atividade humana gera algum tipo de resíduo, percebe-se claramente que um tratamento inapropriado para tal material ocasiona um efeito exponencial de degradação ambiental e riscos à saúde.

De acordo com o Manual de Saneamento da Fundação Nacional de Saúde, de forma mais abrangente os resíduos sólidos são *“materiais heterogêneos, (inertes, minerais e orgânicos) resultante das atividades humanas e da natureza, os quais podem ser parcialmente utilizados, gerando, entre outros aspectos, proteção à saúde pública e economia de recursos naturais. Os resíduos sólidos constituem problemas sanitário, econômico e, principalmente, estético”*.

Já a Lei Federal 12.305/2010 traz a definição mais atual e completa. Diz que os resíduos sólidos constituem *“material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semisólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviável em face da melhor tecnologia disponível”*.

### 2.1.1 Caracterização dos Resíduos Sólidos

Para melhor realizar seu processo de gestão, e consequentemente a escolha do eventual tratamento, é importante conhecer como se distribuem os grupos dos resíduos sólidos. São várias as maneiras classificá-los. As mais comuns são quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente e quanto à natureza ou origem (IPT/CEMPRE, 1995), porém com a nova PNRS a ser instaurada de acordo com a Lei Federal 12305/2010, algumas destas definições foram aprimoradas e, também, estão listadas a seguir:

#### 2.1.1.1 Quanto à natureza física: secos ou molhados.

Os resíduos sólidos podem ser classificados devido a sua natureza física entre secos e molhados. Os secos são os resíduos isentos de umidade e passíveis de reciclagem, em sua maioria são inorgânicos. Já os resíduos molhados possuem umidade de alguma maneira impossibilitando reciclagem, podem ser orgânicos ou até mesmo resíduos inorgânicos contaminados, como no caso de papéis higiênicos utilizados, guardanapos sujos, filtros de papel utilizados, etc.

#### 2.1.1.2 Quanto à composição química: orgânico ou inorgânico.

A composição química infere propriedades diferentes para compostos orgânicos e inorgânicos. Os resíduos ditos orgânicos são compostos por moléculas de carbono e provem de restos de alimentos, dejetos humanos e carcaças de animais. Esse tipo de material é altamente biodegradável, não sendo passível de reciclagem. Confinados em aterros sanitários são consumidos por bactérias anaeróbias e produzem o biogás e o chorume, que serão tratados adiante. Os de natureza inorgânica são compostos como plástico, papel, e diversos outros materiais de origem inorgânica que podem ser recicláveis.

#### 2.1.1.3 Quanto ao risco potencial ao ambiente:

Classe I (perigosos), Classe IIA (não-inertes), Classe IIB (inertes).

Todo resíduo sólido impacta o meio ambiente de uma determinada forma. Sendo assim, foi criada uma classificação para isso, principalmente baseada entre critérios como reatividade, toxicidade, periculosidade entre outros.

Portanto, os resíduos podem ser classificados como de Classe I, quando são considerados perigosos, ou seja, apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, exigindo tratamento e disposição especiais em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Os de Classe IIA são os resíduos que não apresentam periculosidade, porém não são inertes; podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. São basicamente os resíduos com as características do lixo doméstico.

E os de Classe IIB, ou inertes, são aqueles que, ao serem submetidos aos testes de solubilização (NBR-10.007 da ABNT), não têm nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água. Isto significa que a água permanecerá potável quando em contato com o resíduo. Muitos destes resíduos são recicláveis. Estes resíduos não se degradam ou não se decompõem quando dispostos no solo (se degradam muito lentamente). Estão nesta classificação, por exemplo, os entulhos de demolição, pedras e areias retirados de escavações.

Devido a essa definição de classes, podem-se mapear os pontos de geração, avaliá-los quanto a classe e então delegar qual órgão deve ser responsável por esse resíduo de acordo com o quadro a seguir:

| Origem                                      | Possíveis Classes | Responsável        |
|---------------------------------------------|-------------------|--------------------|
| Domiciliar                                  | 2                 | Prefeitura         |
| Comercial                                   | 2, 3              | Prefeitura         |
| Industrial                                  | 1, 2, 3           | Gerador do resíduo |
| Público                                     | 2, 3              | Prefeitura         |
| Serviços de saúde                           | 1, 2, 3           | Gerador do resíduo |
| Portos, aeroportos e terminais ferroviários | 1, 2, 3           | Gerador do resíduo |
| Agrícola                                    | 1, 2, 3           | Gerador do resíduo |
| Entulho                                     | 3                 | Gerador do resíduo |

Tabela 1 - Origem, possíveis classes e responsável pelos resíduos

Segundo a Lei Federal 12305/2010, a classificação quanto à periculosidade se restringe apenas entre perigosos e não perigosos. Resíduos perigosos são *“aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica”*. Consequentemente, os resíduos que não se enquadram nessa definição são os não perigosos, simplificando a análise em apenas duas classificações. Porém, o conhecimento das classes definidas na NBR ainda é de interesse técnico para nível de comparação e para auxiliar na definição das tecnologias utilizáveis.

#### 2.1.1.4 Quanto à origem:

Domiciliares, comerciais, industriais, de serviços de saúde, de construção e demolição, especiais, entre outros.

Outra forma de especificar o tipo de resíduo em questão se dá pela sua origem, ou seja, o lugar onde este resíduo foi gerado. Tal avaliação permite prever determinadas singularidades nos resíduos. Atualmente, existem inúmeras subdivisões para origem dos resíduos, porém aqui serão mencionadas apenas as de maior relevância no contexto atual e, além disto, terá o enfoque no tipo de resíduo que será trabalhado no presente trabalho, o urbano, ou seja, aquele resíduo proveniente de instalações domiciliares, comerciais e de serviços públicos. Portanto, algumas classificações de resíduos são:

##### 2.1.1.4.1 Domiciliar:

Oriundo dos consumos residenciais, constituído por restos de alimentos (tais como cascas de frutas, verduras, etc.), produtos deteriorados, jornais, revistas, garrafas, embalagens em geral, papel higiênico, fraldas descartáveis e uma grande diversidade de outros itens. Pode conter alguns resíduos tóxicos, normalmente como baterias e/ou pilhas, além de alguns casos como lâmpadas, mas este tipo de resíduo varia diretamente com o grau de escolaridade e educação da população de estudo, que será abordado adiante no presente trabalho.

##### 2.1.1.4.2 Comercial:

Originado dos diversos estabelecimentos comerciais e de serviços, tais como supermercados, estabelecimentos bancários, lojas, bares, restaurantes, etc.

##### 2.1.1.4.3 Serviços públicos:

Originados dos serviços de limpeza urbana, incluindo todos os resíduos de varrição das vias públicas, limpeza de praias, galerias, córregos, restos de podas de plantas, limpeza de feiras livres, etc., constituído por restos de vegetais diversos, embalagens, etc.

##### 2.1.1.4.4 Hospitalar:

Descartados por hospitais, farmácias, clínicas veterinárias (algodão, seringas, agulhas, restos de remédios, luvas, curativos, sangue coagulado, órgãos e tecidos removidos, meios de cultura e animais utilizados em testes, resina sintética, filmes fotográficos de raios X). Em função de suas características, merece um cuidado especial

em seu acondicionamento, manipulação e disposição final. Deve ser incinerado e os resíduos da incineração levados para aterro sanitário.

#### 2.1.1.4.5 Portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários:

Resíduos sépticos, ou seja, que contêm ou potencialmente podem conter germes patogênicos. Basicamente originam-se de material de higiene pessoal e restos de alimentos, que podem hospedar doenças provenientes de outras cidades, estados e países.

#### 2.1.1.4.6 Industrial:

Originado nas atividades dos diversos ramos da indústria, tais como: o metalúrgico, o químico, o petroquímico, o de papelaria, da indústria alimentícia, etc. O lixo industrial é bastante variado, podendo ser representado por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papel, madeira, fibras, borracha, metal, escórias, vidros, cerâmicas. Nesta categoria, inclui-se grande quantidade de lixo tóxico. Esse tipo de lixo necessita de tratamento especial pelo seu potencial de envenenamento.

#### 2.1.1.4.7 Radioativo:

Resíduos provenientes da atividade nuclear (resíduos de atividades com urânio, cézio, tório, radônio, cobalto), que devem ser manuseados apenas com equipamentos e técnicas adequados.

#### 2.1.1.4.8 Agrícola:

Resíduos sólidos das atividades agrícolas e pecuárias, como embalagens de adubos, defensivos agrícolas, ração, restos de colheita, etc. O lixo proveniente de pesticidas é considerado tóxico e necessita de tratamento especial.

#### 2.1.1.4.9 Entulho:

Resíduos da construção civil: demolições e restos de obras, solos de escavações. O entulho é geralmente um material inerte, passível de reaproveitamento, atualmente ele é triturado para ser reaproveitado como insumo de indústrias cimenteiras.

Atualmente, os aterros sanitários devem acondicionar resíduos de origem urbana, comercial e de serviços públicos possibilitando uma especificação no estudo a esse tipo de resíduos. Porém, adiante serão abordadas outras tecnologias a respeito de outros

resíduos existentes e a possibilidade de seu reaproveitamento energético ou simplesmente a mitigação deste impacto.

### 2.1.2 Análise de Propriedades dos Resíduos Sólidos

Para um melhor entendimento do aproveitamento energético dos resíduos faz-se necessário o conhecimento de alguns termos largamente utilizados na definição desses materiais. São eles:

#### 2.1.2.1 Composição Gravimétrica:

Indica um percentual dos materiais que compõem os resíduos em estudo. Para sua realização, normalmente é feito o processo de quarteamento associado a uma análise estatística. Segundo Santos (2009), com o conhecimento dessa composição é possível prever diversas propriedades através de métodos matemáticos, como o utilizados pela USEPA, Banco Mundial ou IPCC, ou através de softwares comerciais como o Landgen®.

Exemplos de composições gravimétricas médias de alguns países estão na tabela 2:

| MATERIAL      | BRASIL | ALEMANHA | HOLANDA | EUA  |
|---------------|--------|----------|---------|------|
| Mat. Orgânica | 65,0   | 61,2     | 50,3    | 35,6 |
| Vidro         | 3,0    | 10,4     | 14,5    | 8,2  |
| Metal         | 4,0    | 3,8      | 6,7     | 8,7  |
| Plástico      | 3,0    | 5,8      | 6,0     | 6,5  |
| Papel         | 25,0   | 18,8     | 22,5    | 41,0 |

Fonte: Adaptado de Monteiro (2001).

Tabela 2 - Composição gravimétrica média de alguns países

No Brasil, a composição gravimétrica do Estado de Pernambuco pode ser observada na figura 2, Que indica tendência a uma maior composição referente aos materiais orgânicos nos aterros.

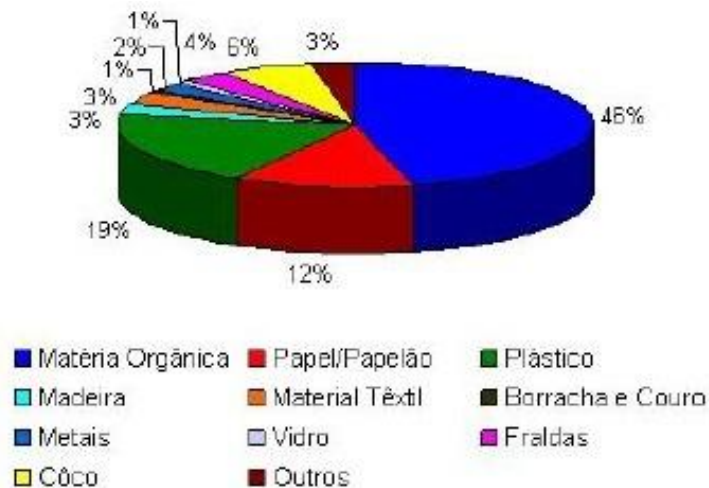


Figura 2 – Composição gravimétrica dos resíduos depositados na célula da Chesf, no Aterro da Muribeca-PE (Adaptado de MARIANO ET AL., 2007)

#### 2.1.2.2 Peso Específico:

É o peso dos resíduos em função do volume por eles ocupado, expresso em  $\text{kg/m}^3$ . Sua determinação é fundamental para o dimensionamento de equipamentos e instalações.

#### 2.1.2.3 Teor de Umidade:

Esta característica tem influência decisiva, principalmente nos processos de tratamento e destinação do lixo. Varia muito em função das estações do ano e da incidência de chuvas. O teor de umidade é necessário para a predição de geração de biogás que, por exemplo, segundo Maciel (2003) se este valor estiver inferior a 40% os microorganismos presentes no aterro sanitário não degradarão o material.

#### 2.1.2.4 Compressividade:

Também conhecida como grau de compactação, indica a redução de volume que uma massa de lixo pode sofrer, quando submetida a uma pressão determinada. A compressividade do lixo situa-se entre 1:3 e 1:4 para uma pressão equivalente a  $4 \text{ kg/cm}^2$ . Tais valores são utilizados para dimensionamento de equipamentos compactadores.

### 2.1.2.5 Capacidade Calorífica ou Poder Calorífico:

Por definição, é a grandeza física que determina o calor que é necessário fornecer a um corpo para produzir neste uma determinada variação térmica. Também está relacionada com as interações intermoleculares, a estabilidade de uma fase, a condutividade térmica e a capacidade de armazenar energia. Ou seja, a capacidade calorífica é necessária para saber a quantidade de energia armazenada naquele resíduo e, portanto, poder projetar aparatos para o beneficiamento energético desses materiais.

Tal informação é relevante quando se trata de aproveitamento energético, como no caso do Estado de São Paulo que, dispõe de aterros sanitários com aproveitamento energético, conforme a tabela 3:

| Proporção (%)       |            | Poder calorífico específico (kJ/kg) (PCE) | Poder calorífico proporcional (kJ/kg) (PCP=PCE x %) |
|---------------------|------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Orgânicos           | 48         | 5.706                                     | 2739                                                |
| Metais ferrosos     | 3          | 0                                         | 0                                                   |
| Metais não-ferrosos | 2          | 0                                         | 0                                                   |
| Papel               | 16         | 13941                                     | 2231                                                |
| Papelão             | 6          | 13702                                     | 822                                                 |
| Plásticos           | 12         | 30478                                     | 3657                                                |
| Vidro               | 2          | 0                                         | 0                                                   |
| Outros              | 11         | 6643                                      | 731                                                 |
| <b>TOTAL</b>        | <b>100</b> | <b>-</b>                                  | <b>10.180</b>                                       |

Tabela 3 - Composição do RSU - Poder Calorífico Inferior (Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2006) Obs: poder calorífico proporcional = 10.180 kJ/kg RSU = 2.431 kcal/kg RSU.

Essa tabela indica que os materiais orgânicos apresentam o segundo maior valor de poder calorífico inferior (PCI), porém estão presentes em maior quantidade, o que torna viável seu aproveitamento. Já os materiais plásticos, apesar de possuírem o maior PCI dentre os demais são passíveis de um aproveitamento mais nobre através de processos de reciclagem.

### 2.1.2.6 Biogás:

Gás proveniente da biodegradação dos resíduos através de microorganismos. Este gás é basicamente composto por gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>), é altamente danoso ao meio ambiente, porém possui uma grande capacidade de geração de energia através de combustão.

Esse gás pode sofrer diversas variações na composição e vazão de geração de acordo com as características dos resíduos aterrados, tais como composição gravimétrica e teor de umidade. Um exemplo de composição pode ser visto a seguir:

| Componente                       | Participação (% molar) |
|----------------------------------|------------------------|
| Metano (CH <sub>4</sub> )        | 55                     |
| Gás carbônico (CO <sub>2</sub> ) | 40                     |
| Outros gases                     | 5                      |

Tabela 4 - Composição média do biogás – São Paulo (USEPA, 1997)

#### 2.1.2.7 Chorume/Lixiviado:

O chorume é um líquido resultante da degradação da matéria orgânica, altamente poluente, possuindo elevadas DBO e DQO. O termo mais utilizado é lixiviado, pois além do chorume bruto, o efluente líquido de um aterro sanitário carrega consigo a água percolada através de infiltrações na camada de cobertura. É necessário um controle do lixiviado para que este não afete cursos de rios próximos nem águas subterrâneas. Além disso, é preciso um tratamento específico antes de descartá-lo. Normalmente, no Brasil utiliza-se da técnica de lagoas de estabilização.

#### 2.1.2.8 Destinação Final (Lei Federal 12.305/2010):

Destinação Final Ambientalmente Adequada, consiste na destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e minimizar os impactos ambientais diversos.

#### 2.1.2.9 Disposição Final:

Segundo a NBR 8843, consiste no conjunto de unidades, processos e procedimentos que visam ao lançamento de resíduos sólidos no solo, garantindo a proteção da saúde pública e a qualidade do meio ambiente. Uma definição mais atual retrata a disposição final ambientalmente adequada pelos termos da Lei Federal 12305/2010 como a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e a segurança e minimizar os impactos ambientais adversos.

#### 2.1.2.10 Rejeitos (Lei Federal 12305/2010):

São resíduos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

### 2.2 Tecnologias Disponíveis e Formas de Tratamento

Segundo a NBR 8843, entende-se por Tratamento o “conjunto de unidades, processos e procedimentos que alteram as características físicas, químicas ou biológicas dos resíduos sólidos e conduzem a minimização do risco à saúde e a qualidade do meio ambiente.”

Atualmente, para uma melhor mitigação de impacto ambiental e aproveitamento dos resíduos, diversas tecnologias são utilizadas. A seguir será possível observar diferentes formas de tecnologias, umas já implementadas e outras em fase de estudo. No Brasil, diversos desses métodos são pouco utilizados devido a alguns fatores que serão abordados ao longo do presente trabalho.

#### 2.2.1 Confinamento Subterrâneo (Aterro Sanitário)

O aterro sanitário é uma grande porção de terra que, após aplicação de técnicas de engenharia, é capaz de confinar os resíduos sólidos de uma determinada região através de um aterramento. Diferentemente dos lixões e aterros controlados, um aterro sanitário possibilita impermeabilização do solo e controle das emissões gasosas reduzindo os impactos ambientais provenientes dessa tecnologia.

Para a correta construção de um aterro alguns procedimentos devem ser seguidos, tais como: a correta escolha do local de construção, implantação do sistema de impermeabilização, o processo de captação dos efluentes e uma boa operação.

#### 2.2.2 Reciclagem

O processo de reciclagem se dá pela reutilização do material inorgânico, seja de forma direta ou através de processamento físico ou químico para o beneficiamento do material.

A reciclagem não promove a geração de energia a partir do material descartado, mas, reaproveita este para minimizar um novo gasto de energia. Esta economia pode ser significativa tanto no quesito impacto ambiental como no fator financeiro das indústrias.

### 2.2.3 Compostagem

O princípio da compostagem se dá através de um processo de decomposição aeróbia dos resíduos orgânicos. Diferentemente da produção de biogás, que se dá por via anaeróbia, esta técnica visa à produção de adubo orgânico.

### 2.2.4 Co-Processamento

O co-processamento é uma das formas de tratamento muito utilizadas no Brasil principalmente nos resíduos de construção e demolição ou pneus. A resolução CONAMA nº264/99 define *“Co-processamento de resíduos em fornos de produção de clínquer é a técnica de utilização de resíduos sólidos industriais a partir do processamento desses como substituto parcial de matéria prima ou de combustível no sistema forno de produção de clínquer na fabricação de cimento”*.

Vale ressaltar que, segundo Pinto (2009), *“A Resolução nº 264 do CONAMA, de 24 de agosto de, 1999 regulamenta o licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de co-processamento de resíduos passíveis de serem utilizados como substituto de matéria prima do clínquer (materiais mineralizados e ou fundentes) e ou de combustível (para ganhos de energia), excetuando-se os resíduos: domiciliares brutos, os resíduos de serviço de saúde, os radioativos, explosivos, organoclorados, agrotóxicos e afins”*, e dá outras providências: *“No caso de resíduos urbanos, pode-se observar que a grande aplicação deste processo se dá aos resíduos pneumáticos”*

### 2.2.5 Incineração

Baseia-se no tratamento térmico dos resíduos com aproveitamento energético, ou não. Na câmara de combustão os resíduos são incinerados à aproximadamente 900°C. Que se utilizando uma caldeira de recuperação consegue absorver a energia dos resíduos transmiti-la para o tubulão e consequentemente gerar uma grande quantidade de vapor que, normalmente, será direcionado a uma turbina para geração de energia elétrica. No processo de incineração, segundo o Grupo KOMPAC, *“As cinzas e escórias constituem cerca de 10% em volume (ou 20% em peso) do lixo original carregado em uma planta Lixo\Energia.”*

### 2.2.6 Plasma

No método por plasma os resíduos são também tratados termicamente. Porém aqui o aproveitamento energético é desprezível, pois a maior parte da energia é gasta durante o processo já que a temperatura dos resíduos é elevada para, aproximadamente 1600°C, fazendo com que seu volume seja reduzido em 100%. Ou seja, o processo de tratamento térmico por plasma visa apenas o feito de mitigação de impacto sem aproveitamento energético.

### 2.2.7 Parque Tecnológico

O parque tecnológico é um foco de pesquisa para alguns estudiosos do ramo que indica a utilização de tecnologias mescladas para um beneficiamento dos resíduos. Em um parque tecnológico estão presentes usina de incineração, centro de compostagem, centro de mudas, aterro sanitário em menor escala, estação de tratamento de efluentes, dentre outras técnicas necessárias dependendo da localidade. Um parque tecnológico é um método para ser aplicado a médio ou longo prazo devido ao grande volume de análises que devem ser feitas e um projeto robusto proveniente destas análises. Além disso, o custo de manutenção de um parque tecnológico é consideravelmente elevado em relação às demais.

### 3. Avaliação Comparativa de Tecnologias para Aproveitamento Energético

O presente capítulo trata de uma análise comparativa acerca da capacidade de geração ou minimização de perdas inerentes a algumas tecnologias relacionadas ao aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos.

#### 3.1 Aterro Sanitário

Segundo Lima (1995), *“Conversão biológica dos resíduos como recuperação de energia pode ser definida como um processo de decomposição ou de transformação da matéria orgânica, por ação de microrganismos em substâncias mais estáveis, como o dióxido de carbono, água, gás metano, gás sulfídrico, mercaptanas e outros componentes minerais.”*

Portanto, o método de aproveitamento energético em um aterro sanitário baseia-se na captação do biogás gerado na decomposição dos resíduos ali confinados para que esse gás seja em seguida utilizado como combustível.

Para que este combustível seja vantajoso é necessário que possua uma boa capacidade calorífica e, de acordo com Lima (1995), *“Um aterro energético pode produzir, teoricamente, 370 a 400 Nm<sup>3</sup> de gás por tonelada de resíduos aterrados, com um poder calorífico de 5.800 kcal/Nm<sup>3</sup>, isto é, 22% mais alto do que o gás liquefeito de petróleo (GLP), e ainda, 60% de metano e 40% de dióxido de carbono.”*

Essa composição pode ser observado através da Tabela 5:

| Tabela 5 - Características químicas e físico-químicas do gás de aterro. |                            |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Componentes Valores                                                     |                            |
| CH <sub>4</sub>                                                         | 61,00%                     |
| CO <sub>2</sub>                                                         | 36,70%                     |
| Ar (O <sub>2</sub> + N <sub>2</sub> )                                   | 1,40%                      |
| H <sub>2</sub> S                                                        | 10-3 %                     |
| Poder calorífico superior                                               | 5.810 kcal/Nm <sup>3</sup> |

Fonte: Lima (1995).

O esquema exposto na figura 3 possibilita a visualização de um projeto de aterro sanitário com captação de biogás. O sistema apresenta desde a captação, a geração até a transmissão de energia elétrica.

A captação de biogás é realizada através de dutos posicionados ao longo das camadas dispostas de resíduos. Estes dutos direcionam o biogás para uma central onde ocorre o aproveitamento energético propriamente dito. Essa conversão é feita, normalmente, por meio de um motor ciclo Otto de quatro tempos que, segundo Macedo (2009), possui maior rendimento e menor custo, ou seja, uma melhor relação custo benefício dentre os motores passíveis de utilização.



Figura 3 - Aterro Sanitário com Aproveitamento Energético do Biogás (Jucá, 2003)

Além disso, vale a pena ressaltar a importância com os cuidados para garantir a qualidade do biogás já que estes interferem diretamente no custo de implantação e manutenção de empreendimento dessa natureza. Tais cuidados podem ser a impermeabilização da camada de cobertura, através de terreno argiloso ou mantas plásticas, a escolha de um material resistente para a construção dos dutos, o controle da umidade em cada nível, o recobrimento constante dos materiais para minimização da sua exposição, dentre outros fatores.

Para retratar a realidade brasileira, pode-se observar o exemplo de alguns aterros. De forma mais específica, no Estado do Ceará, o Aterro Municipal Oeste de Caucaia (ASMOC) mostra um potencial de geração pouco explorado, possuindo, atualmente, apenas um sistema rústico de queima para redução da emissão de metano, 21 vezes mais poluente que o dióxido de carbono.

Alguns estudos recentes (Xavier 2010), mostram que o ASMOC, com sua extensão de 78,47 hectares e captação de resíduos sólidos provenientes do município de Fortaleza, capital do estado, e Caucaia num valor total de 770mil toneladas no ano de 2006, o que proporcionaria, através de uma taxa média de  $7\text{m}^3/\text{ton}/\text{ano}$  (El-Fadel 1997), uma emissão de, aproximadamente,  $5390000\text{m}^3/\text{ano}$ , que utilizando a taxa de conversão de  $1,43\text{KW}/\text{m}^3$  de biogás (Cardoso 2001), proporcionaria uma geração de 7707MW de energia elétrica. Vale ressaltar que esse potencial atualmente está sendo desperdiçado.

Já o aterro Bandeirantes, localizado na região metropolitana de São Paulo, é um dos exemplos mais bem sucedidos nacionalmente quanto aos projetos adequados aos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) implantados em Aterro Sanitário. Possui uma boa eficiência de aproveitamento energético. Com uma área total de  $1.400.000\text{ m}^2$  o aterro Bandeirantes está desativado desde março de 2007, tendo operado durante 28 anos e recebido até 2006 cerca de 36 milhões de toneladas de resíduos. (CETREL, 2008).

A atividade de captação de biogás no aterro Bandeirantes para aproveitamento energético foi iniciada em 2004 após estudos de viabilidade e instalação de uma usina termelétrica a biogás em 2003, proporcionando a transformação em energia após o tratamento para remoção de umidade e pré-filtragem, de acordo com a figura 4.

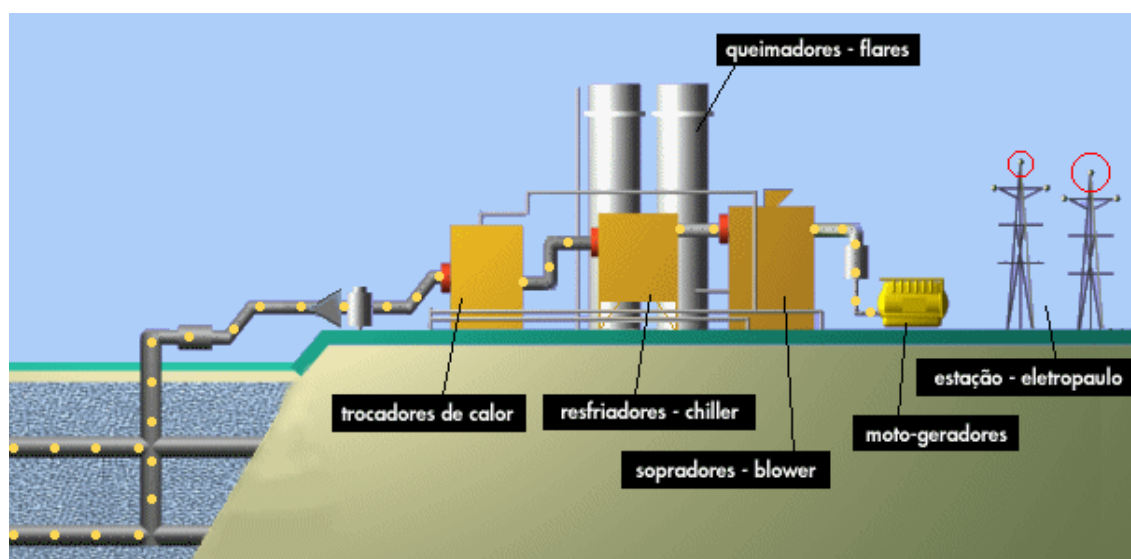


Figura 4 - Esquema de Funcionamento do Projeto de Aproveitamento Energético no Aterro Bandeirantes - SP (CETREL, 2008)

Esse projeto, possibilita uma geração de, aproximadamente, 170mil MWh de energia elétrica por ano e, conseqüentemente, proporciona ao Estado de São Paulo uma comercialização de 1.262.793 reduções certificadas de emissão (RCE) ou, simplesmente, créditos de carbono.

Para uma melhor compreensão dessa tecnologia a tabela 6 fornece uma listagem de suas vantagens e desvantagens.

| Tabela 6 – Vantagens e Desvantagens do projeto de Aterros Sanitários                                  |                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Vantagens                                                                                             | Desvantagens                                                                        |
| Recebem os RSU praticamente da maneira como são recolhidos, através das estações de transbordo;       | Exige grandes áreas para implantação;                                               |
|                                                                                                       | Impossibilita o uso da área por muitos anos após o fechamento do aterro;            |
| Emissão de carbono distribuída no tempo, uma vez que o ciclo de vida de um aterro é de média 40 anos; | Exige topografia adequada;                                                          |
|                                                                                                       | Exige captura e o tratamento do lixiviado;                                          |
| Geram biogás que pode ser capturado e aproveitado;                                                    | Após capacidade esgotada, exige ainda cuidados e manutenção por pelo menos 30 anos. |
| Dispõem o lixo de maneira adequada ambientalmente;                                                    | Gera menor quantidade de energia elétrica ao longo do tempo;                        |
| Tratamento de baixo custo;                                                                            | Provoca grande movimentação de terra e resíduos;                                    |

Fonte: Adaptado de Paro (2008)

### 3.2 Reciclagem

O aproveitamento energético via reciclagem é indireto. Ou seja, ao invés de se produzir energia utilizando este material, ele será reutilizado no processo produtivo minimizando gastos de energia e material para a confecção de um novo produto.

Por exemplo, durante um processo de reciclagem de alumínio para produzir uma nova lata de bebida, é possível uma redução de até 95% no gasto de energia, proporcionando uma economia significativa e uma mitigação do impacto oriundo da captação de nova matéria prima.

O processo de reciclagem varia dependendo do material a ser reciclado, mas baseia-se em algumas etapas que identificam o processo. Tais etapas são a coleta, separação, revalorização e transformação.

As etapas de coleta e separação estão incluídas em programas de coleta seletiva que devidamente implementados possibilitam uma segregação eficiente dos materiais, porém adicionam um custo significativo, principalmente para cofres públicos.

A etapa de revalorização incide para adicionar valor agregado a um item descartado pela sociedade. Tal como o plástico que outrora era vendido por um preço irrisório e atualmente, com o incremento de indústrias recicladoras de plástico, sobretudo na confecção de tecidos, obteve um aumento de preço significativo.

A última fase, dita transformação, baseia-se na utilização do material segregado e revalorizado como matéria prima de um novo produto. Alguns produtos reciclados podem ser utilizados para a mesma finalidade, outros não. As embalagens de alimentos, por exemplo, após sofrerem reciclagem, podem embalar outros produtos, mas não outros alimentos.

Calderoni (1997), na tabela 7, retrata a realidade do Estado de São Paulo realizando cálculos relacionando custos inerentes e o potencial econômico da utilização dessa técnica.

Tabela 7 - Economia Resultante da Reciclagem do Lixo

em R\$ milhões de setembro de 1996 (R\$ 1=US\$1)

| ECONOMIA | G       | = | V                    | -V                   | -C                  | +W                  | +M                        | +H                            | +A                            |
|----------|---------|---|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|          | Ganho   | = | Venda de recicláveis | Venda de recicláveis | Custo da Reciclagem | Economia de Energia | Economia de Matéria Prima | Economia de Recursos Hídricos | Economia de Custos Ambientais |
| POSSÍVEL | 5.835,9 | = | 1.273,3              | -1.273,3             | -382,0              | 1.338,9             | 4.170,7                   | 704,0                         | 4,5                           |
| OBTIDA   | 1.191,6 | = | 363,3                | -363,3               | -109,0              | 340,3               | 735,6                     | 223,9                         | 0,8                           |
| PERDIDA  | 4.644,5 | = | 744,4                | -744,4               | -273,0              | 998,6               | 3.435,1                   | 480,1                         | 3,7                           |

Fonte: Sabetai Calderoni, "Os Bilhões Perdidos no Lixo", Ed. Humanitas, 1997,

Além do valor econômico que é um dos fatores de forte convencimento no ramo empresarial, outro ponto a ser considerado diz respeito ao teor comparativo inerente ao processo de reciclagem e outras formas de dispêndio de energia, matéria prima ou algum tipo de impacto ambiental. Isso pode ser visto na Tabela 8.

| Tabela 8 - Análise Comparativa entre Materiais Reciclados e Impactos |                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Material/Energia                                                     | Equivalência                                                                       |
| Uma tonelada de Papel Reciclado                                      | Redução de 3m <sup>3</sup> de espaço disponível nos aterros sanitários             |
|                                                                      | 3 eucaliptos e 32 pinus<br>(árvores usadas na produção de celulose)                |
|                                                                      | Gasto de 2mil litros de água.<br>O processo tradicional gasta 100mil litros/ton    |
| Energia para reciclagem de uma garrafa de vidro                      | Energia para manter uma lâmpada de 100W ligada durante 4h                          |
| Energia economizada reciclando uma lata de alumínio                  | Energia necessária para manter um aparelho de televisão ligado durante 3h          |
| Uma tonelada de aço reciclado                                        | Economia de 1140kg de ferro, 454kg de carvão e 18kg de cal, sem perda de qualidade |

Fonte: Adaptado de Abipet, Umicore, Reciclanip, Limpurb e Programa de Educação Ambiental do Projeto Metropolitano de Salvador

Vale ressaltar que o processo de reciclagem diminui a poluição do ar em 75%, a poluição da água em 35% e reduz o consumo de energia em até 64%.

Mesmo tendo conhecimento desse potencial o Brasil pouco utiliza este recurso. Atualmente, recicla apenas cerca de 30% de seu consumo de papel.

Com relação ao vidro que é 100% reciclável, o país recicla somente cerca de 14,2% do que produz e consome.

A Tabela 9 elaborada possibilita uma listagem relacionando vantagens e desvantagens inerentes à utilização da reciclagem.

| Tabela 9 - Vantagens e Desvantagens da Reciclagem                                                                 |                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vantagens                                                                                                         | Desvantagens                                                                                        |
| Extensão de vida útil do material e valorização de matérias-primas;                                               | Custos de coleta, transporte e reprocessamento;                                                     |
| Redução de consumo energético;                                                                                    |                                                                                                     |
| Aumento de vida útil dos Aterros Sanitários e redução do uso de outras instalações de tratamento mais poluidoras; | Mercado flutuante de materiais reciclados;                                                          |
| Conservação dos recursos naturais;                                                                                |                                                                                                     |
| Conscientização Ambiental;                                                                                        |                                                                                                     |
| Redução da poluição atmosférica e da poluição dos recursos hídricos;                                              | Maior custo de produtos advindos de material reciclado em relação aos advindos de materiais virgens |
| Segmento de mercado promissor.                                                                                    |                                                                                                     |

### 3.3 Compostagem

A compostagem visa o ganho energético através da renovação do solo por intermédio da adubação. Este método utiliza apenas materiais orgânicos, porém apesar da restrição, ele é viável tendo em vista que a composição dos RSU é em torno de pelo menos 60% de materiais orgânicos.

Para o correto processamento através da compostagem, alguns fatores devem ser avaliados. Inicialmente uma classificação dos materiais, conforme a tabela 10 a seguir.

| Tabela 10 - Classificação da Compostagem |                         |                    |
|------------------------------------------|-------------------------|--------------------|
| Classificação da Compostagem             | Quanto a Biologia       | Aeróbio            |
|                                          |                         | Anaeróbio          |
|                                          |                         | Misto              |
|                                          | Quanto a Temperatura    | Criofílico         |
|                                          |                         | Mesofílico         |
|                                          |                         | Termofílico        |
|                                          | Quanto ao Ambiente      | Aberto             |
|                                          |                         | Fechado            |
|                                          | Quanto ao Processamento | Estático/Natural   |
|                                          |                         | Dinâmico/Acelerado |

Fonte: Lima (1995)

Apesar do senso comum de que os materiais orgânicos são passíveis de compostagem estar correto, deve-se ressaltar que nem todo material orgânico deve ser compostado. Isso aplica-se a materiais que, mesmo de origem orgânica, promovem algum tipo de dano ao processo, tais como os não putrescíveis, os de difícil decomposição, os poluentes e alguns por questão de higiene.

Dentre os não compostáveis podem-se destacar as carnes, peixes, gorduras, queijos, plantas infectadas, fezes de animais domésticos, papel higiênico e fraldas, que originalmente o senso comum acredita que são passíveis de compostagem.

De forma análoga, os materiais não pertencentes às categorias supracitadas são passíveis de compostagem, ou seja, praticamente todo lixo de cozinha é facilmente putrescível, bem como o lixo de jardim.

Após a pré-seleção do material a ser compostado inicia-se o processo que é subdividido em duas etapas, o tratamento físico e o tratamento biológico.

O tratamento físico restringe-se a todo o processamento para a preparação do material a ser compostado. E é subdividido em três fases, iniciando pela triagem, seguido da trituração e finalizando com a homogeneização do material.

O tratamento biológico inicia-se através de uma fermentação ou digestão do material, também conhecida por fase de bioestabilização ou semicura.

Nessa etapa é necessário o controle de umidade e temperatura para que se mantenha a atividade biológica dos microorganismos presentes. Por fim, a fase de maturação ou cura, é, simplificada, uma degradação do material restante até que o composto adquira uma coloração negra, denominado de ponto de humificação.

Este método é resumidamente descrito na figura 5.

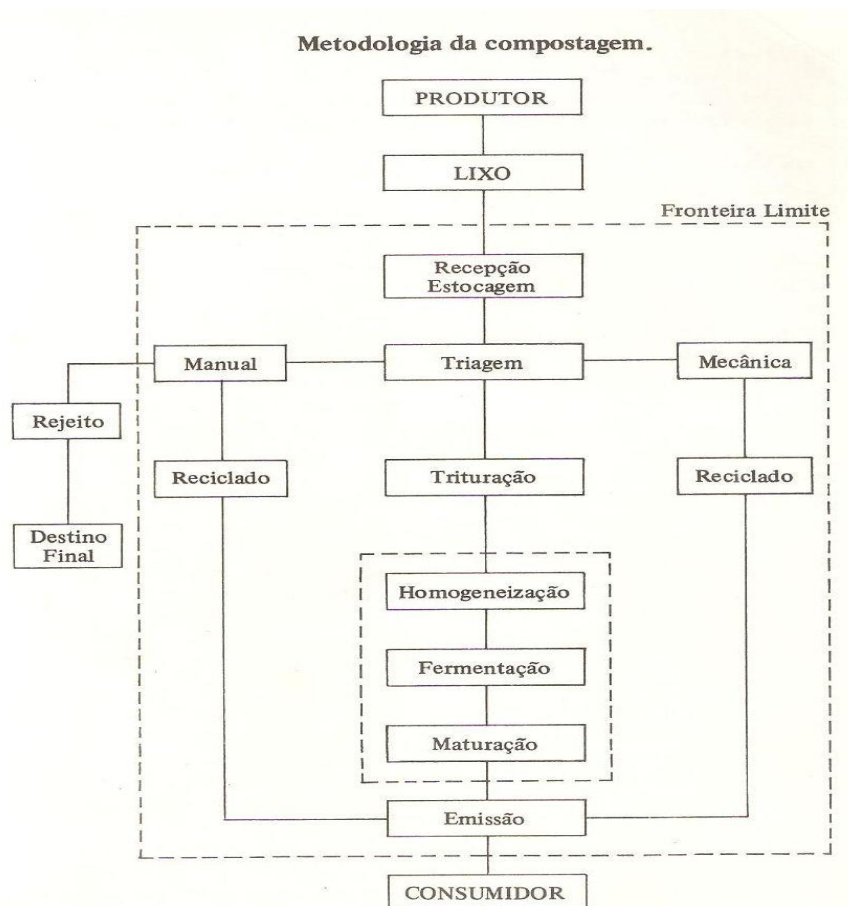


Figura 5 - Metodologia da Compostagem. Fonte: Lima (1995)

O material resultante desse processamento, segundo Lima (1995) é uma fonte de macronutrientes, pois possui, normalmente, valores de nitrogênio total em torno de 0,9% a 1,7%, fósforo total de 0,3% a 0,5% e potássio total de 0,7% a 1,4%, entre outros compostos.

A empresa Ache Tudo e Região (2010) fez um levantamento da situação atual da compostagem no Brasil, relatando que “As usinas de compostagem associadas às usinas de reciclagem começaram a ser instaladas no Brasil em 1963. Atualmente, temos apenas 8 unidades de compostagem em todo o Brasil, com 30 bioestabilizadores, em São Paulo (SP), Santo André (SP), São José dos Campos (SP), Belém (PA), Belo Horizonte (MG), Boa Vista (RR), Brasília (DF) e Rio de Janeiro (RJ). A capacidade total de processamento é de aproximadamente 3000 toneladas de lixo por dia.”

A tabela 11 elaborada apresenta as principais vantagens e desvantagens inerentes ao processo de compostagem.

| Tabela 11 - Vantagens e Desvantagens da Compostagem                     |                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Vantagens                                                               | Desvantagens                                                   |
| Baixo Custo e fácil implantação, possível de ser realizado no domicílio | Não possui viés econômico                                      |
| Revitalização do Solo                                                   | Liberação de biogás e lixiviado sem tratamento                 |
| Redução de impacto advinda de resíduos orgânicos                        | Possível proliferação de vetores                               |
| Minimização de material enviado para Aterros Sanitários                 | Propagação de odores desagradáveis                             |
| Sem dispêndio de energia elétrica                                       | Demora no tratamento, em média, 120 dias                       |
| Aumenta a vitalidade das plantas, e reduz o risco de pragas             | Descontrole em uma das fases pode tornar o composto inadequado |

### 3.4 Incineração

A tecnologia de incineração (WTE) utiliza o poder calorífico do material para gerar energia elétrica. Na escala comercial, essa tecnologia pode ser aplicada sob diferentes formas: combustão em grelha, combustão em câmaras múltiplas, combustão em leito fluidizado e combustão em corpo rotativo. Como o próprio nome sugere, são diferenciadas entre si através da forma como a combustão é aplicada sobre os materiais a serem incinerados.

Muitos pesquisadores recriminam a utilização da incineração devido à emissão de dioxinas e furanos inerentes ao processo. As dioxinas são solventes orgânicos altamente tóxicos, carcinogênicos e teratogênicos. Os furanos são compostos orgânicos, inflamáveis, tóxicos e possivelmente cancerígenos.

Portanto, os processos de combustão e produtos químicos podem gerar esses compostos (WHO/EURO, 1987 apud ASSUNÇÃO, 1999), o que leva à reflexão a respeito das queimas incontroladas nos lixões em temperaturas baixas.

Porém, ao contrário do que parece, estas emissões são amenizadas através de técnicas para controle da poluição do atmosférica. Isso acontece ao utilizar-se de uma etapa de resfriamento rápido (*quenching*), que é muito importante para minimizar a formação das dioxinas e furanos, reduzindo o volume dos gases.

Em seguida os gases sofrem um tratamento posterior de remoção de particulados, remoção de gases ácidos e eliminação de névoa (*demister*) antes do lançamento na atmosfera. Segundo a *Confederation of European WastetoEnergy Plants* (CEWEP) (2008), na União Européia, em meados do ano de 1998, 18 plantas de incineração na Suíça emitiam, aproximadamente, 100g de dioxinas por ano. Por exemplo, as atuais 29 plantas existentes na Suécia emitem juntas, 0,7g de dioxinas por ano.

É interessante retratar que tal preocupação possui um embasamento correto, tendo em vista que o aprimoramento técnico foi desenvolvido ao longo dos anos. Pode-se subdividir a incineração em quatro gerações:

1º Geração (1950-1965): A principal função nesta época era a redução de volume do lixo. Com isso o tratamento dos efluentes gasosos restringia-se apenas a torres de água de refrigeração sobre a câmara de combustão. A concentração de poeira atingia níveis de 1000mg/Nm<sup>3</sup>. As principais plantas situavam-se em Berna (1954), Bruxelas (1957) e Lausanne (1959)

2º Geração (1965-1975): Com o início das proteções ambientais, iniciou-se o processo de aprimoramento no tratamento dos efluentes gasosos. Nessa época apareceram os primeiros incineradores de câmara dupla, que proporcionavam uma melhor eficiência na queima e reduziam as emissões a 100mg/Nm<sup>3</sup>. Em paralelo surgem o interesse pela recuperação de energia, plantas de grande capacidade e Babcock com o sistema de grelhas rolantes.

3º Geração (1975-1990): Ocorre um aumento na performance energética e normas ambientais. Implementam-se os sistemas complexos para lavagem de gases, reduzindo a emissão dos gases ácidos com a neutralização de HCl, SO<sub>x</sub>, HF e metais pesados. Houve melhoria nos processos de combustão de materiais orgânicos e nas caldeiras, além do crescimento no número de centros de tratamento com cogeração de energia.

4º Geração (1990-Atual): Crescimento dos “Movimentos Verdes”, melhora no tratamento dos gases buscando a emissão Zero. Os sistemas avançam com o intuito de remover NOx, dioxinas e furanos. Os resíduos finais tornam-se inertes após sofrerem tratamento específico, possibilitando uma disposição final adequada. Ocorre melhora no pré-tratamento do lixo, possibilitando um material mais homogêneo, baixando a umidade e melhorando o poder calorífico. A sofisticação no processo de combustão se dá através de sistemas de turbilhamento, secagem, ignição e controle da combustão. Além da automatização do processo.

Nos Estados Unidos, um estudo do EPA (2002) foi levantado demonstrando a evolução das fontes emissoras de dioxinas e furanos, que é visto na figura 6. O aprimoramento tecnológico da incineração já possibilita um controle eficaz na emissão desses poluentes.

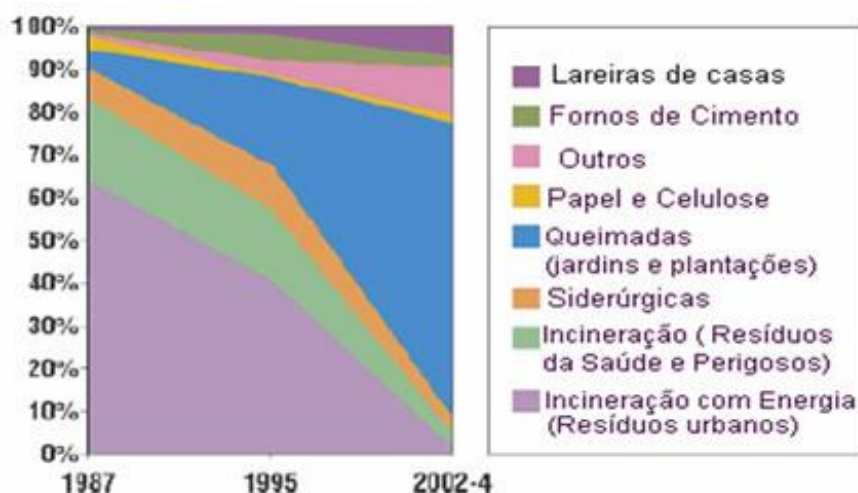


Figura 6 - Evolução das Fontes Emissoras de Dioxinas e Furanos nos EUA

Fonte: EPA – Office of Air Quality Planning & Standards, 2002

No Estado do Ceará, e em muitas outras localidades brasileiras, a utilização de incineradores serve apenas como processamento de resíduos perigosos, tais como os sépticos e alguns produtos químicos. Isso faz da planta apenas uma forma adicional de tratar resíduos e não uma usina de aproveitamento energético. Além de criar a imagem de uma tecnologia danosa, tendo em vista que, os materiais encaminhados para lá são ditos perigosos e o processamento em si é oneroso para as empresas.

Porém, outros locais do Brasil apresentam estudos mais aprofundados nesta área, tal como Paro (2008) relatou em seu estudo sobre o Estado de São Paulo, possibilitando um cálculo específico do potencial de geração partindo de algumas hipóteses subavaliadas para proporcionar uma avaliação mais coerente cobrindo as margens de flutuação.

| Tabela 12 - Premissas para o cálculo de geração de energia elétrica por Incineração |                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Premissas para o cálculo                                                            |                                                                                                      |
| Combustível: resíduo sólido urbano com PCI = 10.000 kJ/kg                           | Caldeira de RSU @ 100bar, 525°C                                                                      |
| Alimentação: 57 ton resíduo/hora, equivalente a 500.000 ton/ano                     | Turbogerador de condensação, para geração de energia elétrica com toda a energia disponível no vapor |
| Vida útil: 20 anos                                                                  | Modelamento com software GateCycle GE Energy                                                         |

Fonte: Adaptado de Paro 2008

O estudo realizado por Paro (2008) fez comparações entre a utilização de biogás de aterros sanitários e a incineração, sendo por isso utilizado a vida útil de 20 anos, tendo em vista que a emissão de biogás nos aterros possui variação ao longo do tempo.

Portanto, aplicando as premissas no programa de simulação obteve-se um potencial de geração de 4.134.720.000 kWh ao longo dos 20 anos, ou seja, 206736 MWh/ano.

Devido à sua elevada capacidade de geração de energia, diversos países já haviam implantado esta tecnologia em meados dos anos 90, como se vê na tabela 13.

Tabela 13 - Países utilizadores da Incineração nos anos 90 (www.wtert.com.br)

| País        | População (milhões) | Geração de lixo (milh.t/a) | No. de incineradores | % incinerado | Recuperação de energia |
|-------------|---------------------|----------------------------|----------------------|--------------|------------------------|
| Suíça       | 7                   | 2,9                        | 29                   | 80           | 80 %                   |
| Japão       | 123                 | 44,5                       | 1893                 | 72           | Principais             |
| Dinamarca   | 5                   | 2,6                        | 32                   | 65           | 100%                   |
| Suécia      | 9                   | 2,7                        | 21                   | 59           | 100%                   |
| França      | 56                  | 18,5                       | 100                  | 41           | 68% da capac.          |
| Holanda     | 15                  | 7,1                        | 9                    | 39           | 50% das usinas         |
| Alemanha    | 61                  | 40,5                       | 51                   | 30           |                        |
| Itália      | 58                  | 15,6                       | 51                   | 17           | 30% da capac.          |
| USA         | 248                 | 180,0                      | 168                  | 19           | 75 % das usinas        |
| Espanha     | 38                  | 11,8                       | 21                   | 15           | 24 % das usinas        |
| Reino Unido | 57                  | 35,0                       | 7                    | 5            | 25 % da capac.         |

Nesta tabela observa-se além dos países e do número de incineradores implantados, a sua capacidade de aproveitamento energético. Mesmo nos anos 90, onde a tecnologia ainda não estava tão avançada já se podiam obter recuperações de 100% de energia captada pela planta.

A Tabela 14, a seguir, mostra em alguns países a fração de resíduos incinerados e o percentual de recuperação energética dos resíduos na mesma época.

| <i>Country</i> | <i>% Municipal waste incinerated</i> | <i>No. of plant</i> | <i>% Incinerated municipal waste including energy recovery<sup>4</sup></i> | <i>% Sewage sludge incinerated</i> |
|----------------|--------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Canada         | 9                                    | 17                  | 7                                                                          | n/a                                |
| USA            | 16                                   | 168                 | n/a                                                                        | n/a                                |
| Japan          | 75                                   | 1900                | *                                                                          | n/a                                |
| Sweden         | 55                                   | 23                  | 86                                                                         | 0                                  |
| Denmark        | 65                                   | 38                  | *                                                                          | 19                                 |
| France         | 42                                   | 170                 | 67                                                                         | 20                                 |
| Netherlands    | 40                                   | 12                  | 72                                                                         | 10                                 |
| Germany        | 35                                   | 47                  | n/a                                                                        | 10                                 |
| Italy          | 18                                   | 94                  | 21                                                                         | 11                                 |
| Spain          | 6                                    | 22                  | 61                                                                         | n/a                                |
| UK             | 7                                    | 30                  | 33                                                                         | 7                                  |

Tabela 14 - Fração de RSU Incinerados e Recuperação Energética em alguns Países nos anos 90 (www.wtert.com.br)

É importante ressaltar que, o Japão, por exemplo, nos anos 90, já incinerava 75% dos RSU possuindo 1900 usinas de incineração e que na Suécia era possível um aproveitamento energético de 86% do material incinerado.

No Brasil, um caso de sucesso no ramo de incineração é a Usina Verde, situada no Estado do Rio de Janeiro. Na verdade um módulo de equipamentos que podem incinerar até 150 toneladas de lixo por dia ocupa área de cerca 12000 m<sup>2</sup>, gerando 2,8 MW de energia elétrica para comercialização. Para se ter uma idéia, pelos padrões brasileiros, esse número atende cerca de 180 mil pessoas, e fornece energia elétrica para mais de 14 mil residências.

Um exemplo de funcionamento de uma usina de incineração pode ser visto na figura 7.

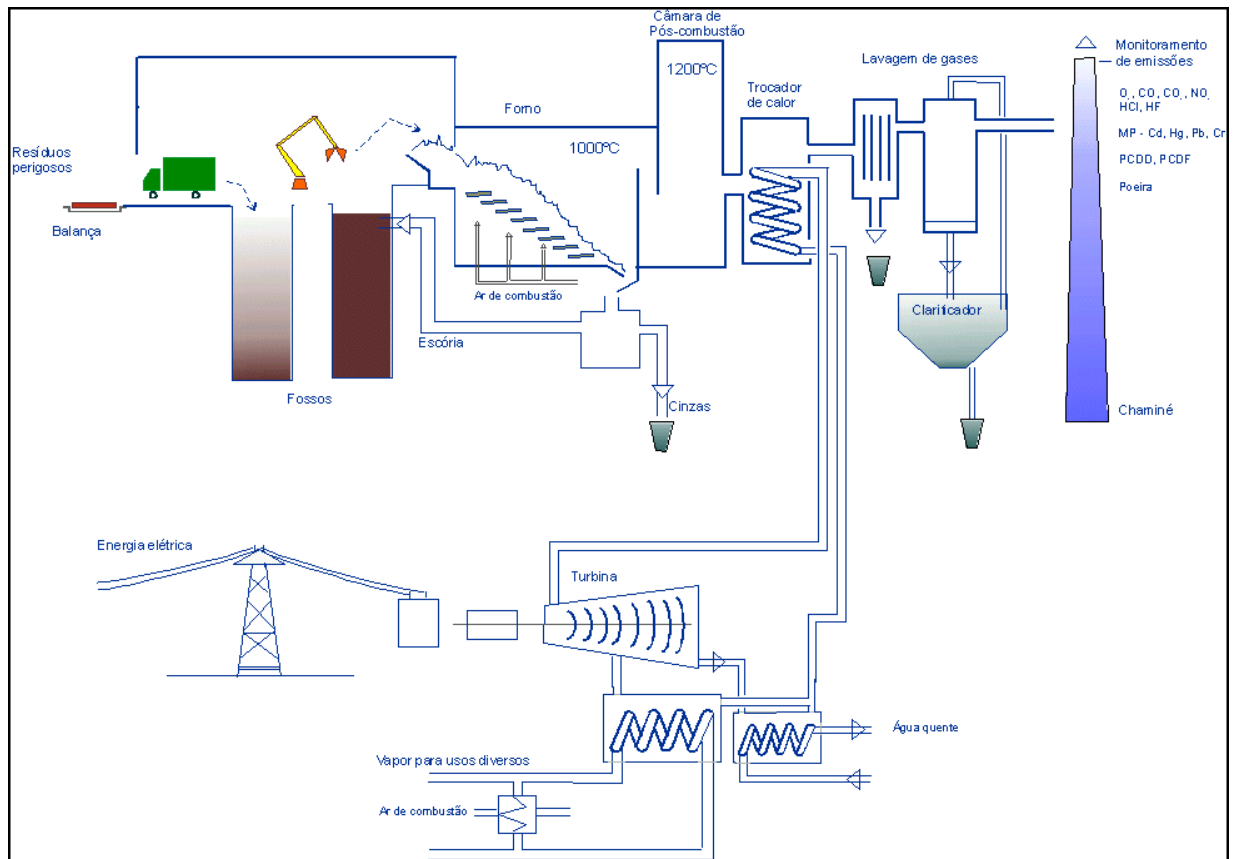


Figura 7 - Exemplo de Usina de Incineração (Grupo Kompac, 2007)

As etapas seqüenciadas podem ser aplicadas em um diagrama de bloco para uma visualização direta do processo, apresentado na figura 8.

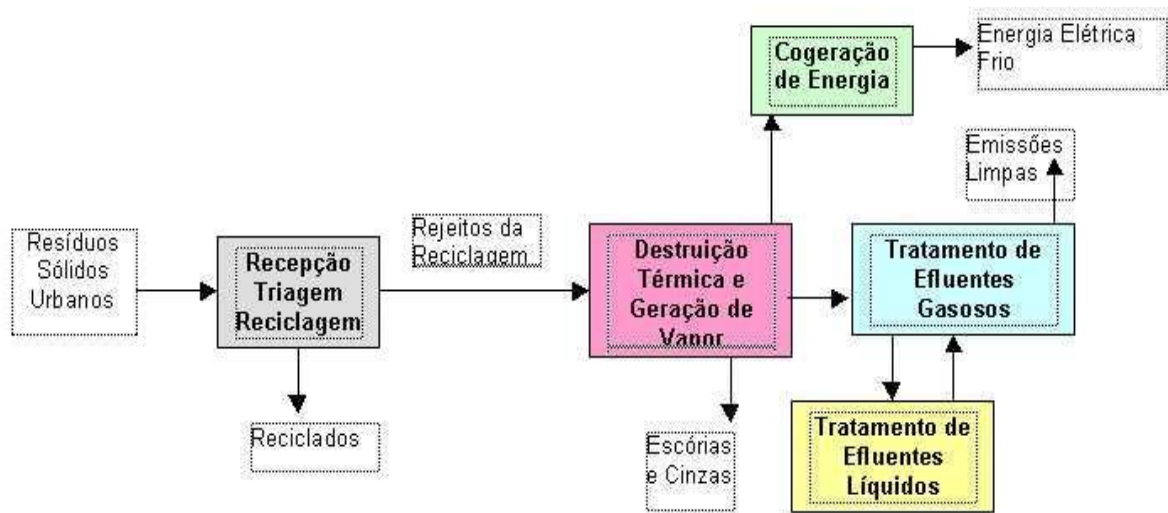


Figura 8 – Esquema de Funcionamento de uma planta de Incineração (Hiluy, 2007)

É importante ressaltar que o funcionamento de uma usina de incineração depende, além dos controles internos, da logística externa. Comumente denominada de arranjo de consórcio, uma exemplificação do procedimento pode ser observado na figura 9.

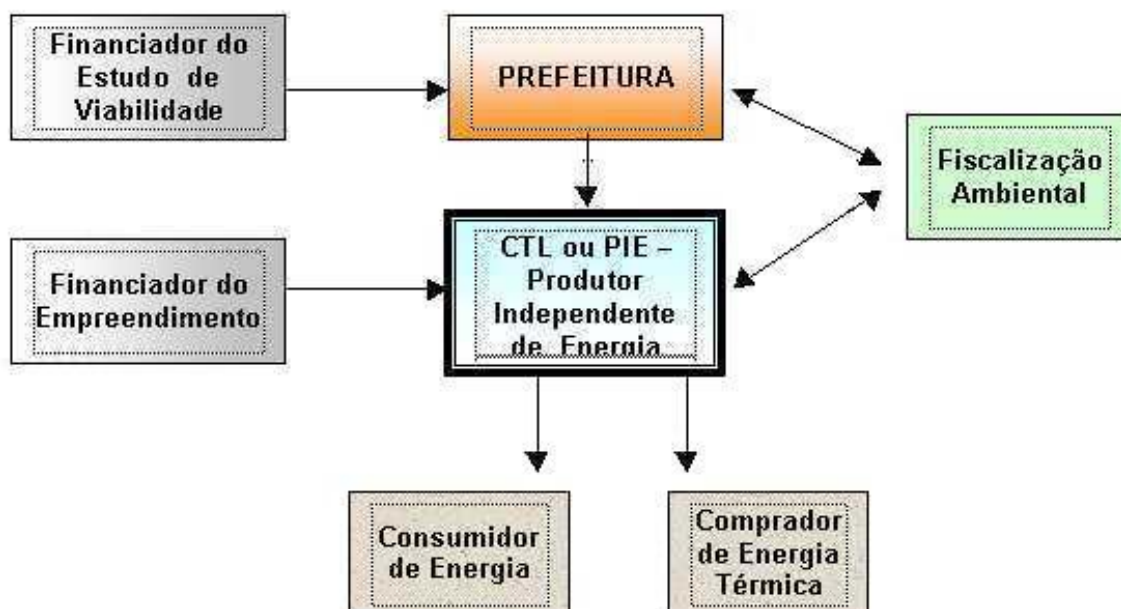


Figura 9 - Arranjo de Consórcios para Usina de Incineração (Hiluy, 2007)

Dados relativos à potência instalada mais recentes encontram-se na figura 10.

Figura 10 – Potencia Instalada de Incineração em diversos Países

| PAIS/ REGIÃO                                                                                                                                                                                                     | INSTALAÇÕES EM OPERAÇÃO | CAPACIDADE DE TRATAMENTO (TON/ANO RSU) | POTENCIA INSTALADA                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------|
| UNIÃO EUROPEIA                                                                                                                                                                                                   | 301 instalações         | 50,2 milhões                           | 8800 MW<br>(30% energia elétrica e 70% térmica) |
| Observações: Mais de 20% do Lixo Urbano destinados em plantas com recuperação de energia. Holanda, Suíça e Dinamarca já tratam assim mais de 40% do lixo urbano.<br>Fonte: European Incineration Profile, 2000   |                         |                                        |                                                 |
| JAPÃO                                                                                                                                                                                                            | 189 instalações         | 39 milhões                             | 847 MW<br>(energia elétrica e térmica)          |
| Observações: 79% do Lixo Urbano é destinado em mais de 1900 instalações de tratamento térmico. O Governo projeta produção de 4170 MW com 'combustível' lixo em 2010.<br>Fonte: Natural Resources & Energy Agency |                         |                                        |                                                 |
| EUA                                                                                                                                                                                                              | 98 instalações          | 29,4 milhões                           | 2760 MW<br>(90% energia elétrica e 10% térmica) |
| Observações: 13% do total de Lixo Urbano é tratado em plantas com recuperação de energia.<br>Fonte: ISWA, Julho de 2002                                                                                          |                         |                                        |                                                 |
| FATOR RELEVANTE: a partir de 1995, 49 plantas de geração de energia à partir do lixo foram instaladas na Ásia, 19 na Coreia do Sul, 19 em Taiwan, 7 na China e 4 em Singapura.                                   |                         |                                        |                                                 |

Fonte: Usina Verde (2010)

Portanto, avaliando a tecnologia de incineração, é possível compor a tabela 14, levantando as vantagens e desvantagens dessa tecnologia.

| Tabela 15 - Vantagens e Desvantagens da Incineração                                                             |                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vantagens                                                                                                       | Desvantagens                                                                                                                                      |
| Reduz 70 - 75% da massa e cerca de 90% do volume dos RSU                                                        | Necessita tratamento do lixo urbano para retirada de metais, vidro, redução de umidade nos resíduos de alimentos, antes do envio para incineração |
| Não exige grandes áreas como o aterro, apenas a área da usina                                                   | Pode emitir poluentes como CO, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , material particulado, dioxinas e furanos.                                      |
| Ausência de chorume                                                                                             |                                                                                                                                                   |
| Elimina emissões de CH <sub>4</sub>                                                                             |                                                                                                                                                   |
| Gera significativa quantidade de energia elétrica, reduzindo a queima de combustíveis fósseis em termelétricas. |                                                                                                                                                   |

Fonte: Adaptado de Paro (2008)

#### 4. Conclusões e Perspectivas

A partir das informações e avaliações contidas nesse trabalho, é possível elaborar uma comparação entre as tecnologias citadas.

A utilização mais nobre dos métodos de tratamento dos resíduos é a reciclagem, onde ocorre reaproveitamento dos materiais, sem ter que extrair-se mais matéria prima, ou pelo menos em menor quantidade, o que minimiza os danos ambientais. Além disso, através da revalorização do material, é possível perceber uma economia de energia tendo em vista que o material reprocessado carrega consigo uma quantidade de energia proveniente dos processamentos anteriores e do próprio material.

Outro ponto que se deve ressaltar é que apesar do ganho energético não ser diretamente perceptível pela população, a economia de energia é significativa para empresa e, além disso, ela fica contida no material de forma duradoura ao invés de ser simplesmente convertida em eletricidade e utilizada rapidamente. É importante ainda destacar que os bens e materiais revalorizados através da reciclagem podem possuir uma durabilidade elevada.

Em se tratando do reaproveitamento energético, principalmente para os materiais orgânicos, é imprescindível optar pela vertente que se quer trabalhar. Ou seja, definir a prioridade da utilização do material. Existe necessidade de readubação? Existe falta de espaço para aterramento? O recurso disponível é suficiente para determinada tecnologia? Essas são algumas questões que devem ser elaboradas a respeito do que se pretende executar em relação ao destino dos Resíduos Sólidos Urbanos.

No caso da compostagem, existe o grave problema da liberação de gases, líquidos e odores não controlados. Porém, existe o ganho energético através da revitalização do solo. Outro ponto negativo em relação a esta tecnologia é o tempo. Um processo de compostagem completo despende, em média, 3 a 4 meses, e que, para torná-lo viável necessita a implantação de varias quantidades de material simultaneamente. Entretanto isso implica no risco da perda de controle do processo, proporcionando uma grande emissão de poluentes.

No caso dos aterros sanitários, torna-se interessante levar em consideração o fator custo no sentido lato, ou seja, considerando toda a logística desde a coleta até o destino final, tendo em vista que este é um dos pontos críticos dessa tecnologia.

Atualmente, no Brasil a dificuldade para migrar desta para outras técnicas encontra-se basicamente devido ao alto custo em relação às outras demais, já que, devido a existência de uma matriz hidrelétrica consolidada e de baixo custo, a energia elétrica de mais alto valor dificilmente tornar-se-ia competitiva no mercado. Além disso, a existência de grande espaço físico proporciona ao Brasil a aplicabilidade dessa técnica que, mesmo não sendo a mais correta e, normalmente, de péssima implantação e controle, ainda vem sendo a mais utilizada.

No que diz respeito à incineração, foi possível constatar que o ponto crítico de aceitabilidade da tecnologia, que é a emissão de gases poluentes, é totalmente passível de solução, o que já vem sendo executado em inúmeras unidades instaladas nos diversos países. Dentre as técnicas apresentadas, com a correta operação, é possível que esta seja a que proporciona o maior aproveitamento energético e o menor grau de impacto. Porém, vale ressaltar que o custo de implantação e a manutenção de uma planta de incineração é elevado, o que nos últimos tempos tem-se tornado o maior obstáculo a se transpor, afora os aspectos políticos envolvidos sempre nas questões ligadas aos RSU.

Nos dias atuais, o Brasil, devido a sua vasta extensão territorial, se vangloria e pode optar pela utilização de Aterros Sanitários, o que vem sendo inclusive estimulado. Porém, a constante implantação dessa técnica irá, certamente, num futuro não tão distante, devido à problemas de logística ou disponibilidade energética, fazer com que o país tenha que optar por técnicas menos impactantes e de tamanho reduzido, como é o caso da Incineração.

Porém, diante dessa grande extensão territorial, no Brasil não se pode indicar como solução definitiva uma única tecnologia. Portanto, são necessários estudos específicos em cada localidade para a possível implantação da metodologia mais apropriada. A possibilidade da aplicação simultânea de diversas tecnologias é o que, atualmente, se denomina de Parque Tecnológico.

As questões acerca da gestão dos resíduos sólidos urbanos e da demanda energética certamente permanecerão em evidência nas próximas décadas, necessitando de constantes aprimoramentos no que diz respeito às pesquisas e inovações tecnológicas.

## 5. Referências

ALVES, I. R.F.S. **Análise Experimental do Potencial de Geração de Biogás dos Resíduos Sólidos Urbanos**, Dissertação de Mestrado, UFPE, 134p. 2008.

CALDERONI, S. **Os Bilhões Perdidos no Lixo**, Ed. Humanitas, 1997.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM – CEMPRE. **Manual de Gerenciamento Integrado**. São Paulo-SP, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 2000.

Grupo Kompac – Energia e Meio Ambiente. **PROJETO RECIFE ENERGIA - Destinação Final de Resíduos Urbanos - Geração de Energia Renovável com Combustível Derivado dos Resíduos – CDR**. Kogenergy International. 2007. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/noticentro/2007/10/recife\\_energia.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/noticentro/2007/10/recife_energia.pdf).

HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica**. Dissertação de Mestrado, UFRJ, 190p. 2004.

HILUY, J. J; BARCELLOS, W. M. **Estudo Preliminar de Viabilidade Técnico-Econômico Para Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos da Região Metropolitana de Fortaleza**. 2007. Fortaleza, CE.

HINRICHS, R.A., KLEINBACH, M. e REIS, L. B. **Energia e Meio Ambiente** - Tradução da 4ª Edição Norte-Americana, Ed Cengage Learning Sp 2010

[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/residuos/classificacao,\\_origem\\_e\\_caracteristicas.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/residuos/classificacao,_origem_e_caracteristicas.html) . Acesso em 09/10/2010 16:00.

[http://www.onu-brasil.org.br/doc\\_quito.php](http://www.onu-brasil.org.br/doc_quito.php). Acesso em 09/10/2010 16:14.

<http://www.usinaverde.com.br/>. Acesso em 09/10/2010 16:25

<http://www.wtert.com.br/home2010/>. Acesso em 09/10/2010 16:10

KRAEMER, M. E. P. **A questão ambiental e os resíduos industriais**. Disponível em: <http://br.monografias.com/trabalhos/residuos-industriais/residuos-industriais.shtml#clases> Acesso em 09/10/2010.

LIMA, L.M.Q. **Tratamento de Lixo**, 3º Ed., São Paulo: Hemus Editora Ltda. 1991.

LIMA, L.M.Q. **Tratamento e biorremediação**. São Paulo: Hemus Editora Ltda, 1995

MACIEL, F. J. **Estudo da Geração, Percolação e Emissão de Gases no Aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca/PE**. Tese, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil, 2003.

MACIEL, F. J.; JUCÁ, J. F. T. **Análises para Controle Ambiental dos Gases Produzidos no Aterro de Resíduos Sólidos de Muribeca**. In: VI Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.

**Manual de Saneamento da Fundação Nacional de Saúde**. p.203 do Capítulo 4 – Resíduos Sólidos.

MELO, V. L. A.; JUCÁ, J. F. T. **Estudos de referência para diagnóstico ambiental em aterros de resíduos sólidos**. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, 2000.

MONTEIRO, J. H. P. [ et al]. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM. 2001

MOTA, S. Introdução à Engenharia Ambiental. 3ª ed., Rio de Janeiro: ABES, 2003.

PARO, A. C.; COSTA, F. C.; COELHO, S. T. **Estudo comparativo para o tratamento de resíduos sólidos urbanos: Aterros sanitários x Incineração**. Revista Brasileira de Energia, Vol. 14, No. 2, 2o Sem. 2008, pp. 113-125.

PINTO, F. A. R. **Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais**. Fortaleza: ABES, 2009.

SANTOS, G. O. **Análise Histórica do Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos de Fortaleza como Subsídio às Práticas de Educação Ambiental**. Monografia de Especialização, Universidade Estadual do Ceará - UECE, Fortaleza, 2007.

SANTOS, G. O; HILUY, J. J. **Estudo da Geração de Biogás no Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia - ASMOC-CE**. 2009. Fortaleza, CE.

ZAFAR, S. **Waste-to-Energy (WTE) Conversion a Global Perspective**, 2008 disponível em <http://www.scribd.com/doc/5482653/WastetoEnergy-Plants-Global-Perspectives>.