

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL E
NEGÓCIOS NO SETOR ENERGÉTICO

LILIANE SILVA DE SOUZA

RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS
TRATAMENTOS VIÁVEIS E O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO

SÃO PAULO

2012

LILIANE SILVA DE SOUZA

**RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS
TRATAMENTOS VIÁVEIS E O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO**

Monografia para a conclusão do Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo.

Orientador: Enga. Roseli A. de Lima

SÃO PAULO

2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E A DIVUGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESTES QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Souza, Liliane Silva

Resíduos Sólidos Urbanos – Tratamentos Viáveis e o Aproveitamento Energético / Liliane Silva de Souza; orientadora: Roseli A. de Lima – São Paulo, 2012.

57 f.il.; 30 cm

Monografia (Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor de Energético) do Instituto de Eletrotécnica e Energia Universidade de São Paulo

1. Gestão Ambiental 2. Resíduos Sólidos Urbanos 3. Aterro Sanitário 4. Incineração 5. Energia Elétrica

Dedicatória:

À minha família e amigos, por todo o apoio e compreensão para o vencimento de mais esta etapa.

Agradecimentos:

Agradecimentos a todos que direta e indiretamente não só enriqueceram e possibilitaram a execução deste trabalho, bem como contribuíram para a ampliação do meu conhecimento.

Agradecimento em especial a orientadora, Roseli A. Lima, cuja ajuda e orientação possibilitou a elaboração deste trabalho.

RESUMO

Souza, L.S. **Resíduos Sólidos Urbanos – Tratamentos viáveis e o aproveitamento energético. 2012.** 59f. Monografia (Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor de Energético) do Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

O objeto deste estudo é a discussão do tratamento de resíduos sólidos urbanos mais viável, através da análise de duas tecnologias de tratamento, sendo uma o aproveitamento energético do biogás gerado em aterro sanitário e a outra a recuperação de energia através da incineração, apresentando inclusive, uma síntese dos custos socioambientais pertinentes. A metodologia utilizada caracterizou-se pelo levantamento bibliográfico que serviu de base para a realização da análise das duas tecnologias. Destaca-se que o foco principal deste trabalho é a discussão e proposição da tecnologia que parece ser a mais viável para o tratamento do resíduo sólido urbano, considerando as políticas de gestão de resíduos sólidos e os custos ambientais.

Palavras-Chave: Resíduos Sólidos Urbanos, Gás de Aterro, Incineração, Energia Elétrica

ABSTRACT

Souza, L.S. Solid Waste - Treatment viable and energy use. 2012. 59f. Monograph (Specialization in Environmental Management and Business in the Department of Energy) Eletrotécnica and the Institute of Energy, University of São Paulo, São Paulo, 2012

The object of this study is to discuss the treatment of municipal solid waste more feasible, through the analysis of two treatment technologies, one of the energetic use of biogas generated in landfills and other energy recovery through incineration, presenting even a summary of relevant environmental costs. The methodology was characterized by literature that served as the basis for performing the analysis of the two technologies. It is noteworthy that the main focus of this paper is to discuss and propose the technology that seems to be the most feasible for the treatment of municipal solid waste, considering the policies of solid waste management and environmental costs.

Keywords: Urban Solid Waste, Landfill Gas, Incineration, Energy

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação dos resíduos sólidos em função da atividade de origem	13
Figura 2: Sistema de Coleta de Gás de Aterro Sanitário	24
Figura 3: Evolução típica da produção de biogás em aterro sanitário.....	26
Figura 4: Esquema de uma planta de recuperação de energia.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Destino do RSU em diversos países.....	16
Tabela 2: Formas de disposição de resíduos sólidos urbanos no Brasil.....	18
Tabela 3: Aproveitamento energético com RSU.....	23
Tabela 4: Vantagens e Desvantagens de Aterros Sanitários	32
Tabela 5: Impactos Ambientais do Método de Gerenciamento do Lixo – Aterro	33
Tabela 6: Custos do Sistema de Coleta (US \$ 1994)	35
Tabela 7: Custos médio de investimento para a recuperação de Gás de Lixo em US\$/kWe	36
Tabela 8: Vantagens e Desvantagens de Incineradores.....	38
Tabela 9 - Impactos Ambientais do Método de Gerenciamento do Lixo – Incineração	38
Tabela 10: Principais custos ou externalidades decorrentes da disposição de resíduos em aterro e incineração	40
Tabela 11: Totalização dos Custos.....	41
Tabela 12: Análise comparativa dos impactos atmosféricos.....	48
Tabela 13: Análise comparativa dos impactos no Solo.....	49
Tabela 14 : Impactos considerados para a análise dos custos socioambientais	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivo.....	10
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1	Resíduos Sólidos	12
2.2	Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos	13
2.2.1	Panorama Internacional da gestão de resíduos sólidos urbanos.....	14
2.2.2	Panorama Nacional da gestão de resíduos sólidos urbanos	16
2.2.3	Educação Ambiental como ferramenta para a efetivação da Gestão de RSU.....	20
2.3	Panorama da geração de energia elétrica.....	21
2.3.1	Insumos Energéticos	21
2.3.2	A recuperação de energia a partir do RSU.....	22
2.3.2.1	A recuperação do gás metano ou Gás do Lixo (GDL)	23
2.3.2.2	Incineração com recuperação de energia – WTE.....	27
2.3.3	Sustentabilidade dos Projetos.....	31
2.3.3.1	Biogás ou Gás do Lixo (GDL)	31
2.3.3.1.1	Aspectos Ambientais.....	31
2.3.3.1.2	Aspectos Socioambientais.....	33
2.3.3.1.3	Aspectos Econômicos	34
2.3.3.2	Incineração com recuperação de energia.....	36
2.3.3.2.1	Aspectos Ambientais.....	36
2.3.3.2.2	Aspectos Socioambientais.....	39
2.3.3.2.3	Aspectos Econômicos	39
2.3.4	Custos Socioambientais	40
2.4	A reciclagem e a geração de energia	41
2.5	Legislação Pertinente	42
3	METODOLOGIA.....	47
4	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	48
4.1	Identificação e Análise dos Impactos Ambientais.....	48
4.2	Identificação e Análise dos impactos socioambientais das duas tecnologias	50
4.3	Identificação e Análise dos impactos econômicos das duas tecnologias.....	50
5	CONCLUSÃO.....	52
6	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, o aumento das áreas urbanas e o desenvolvimento de novas tecnologias, aliado ao crescimento industrial, são alguns fatores que têm contribuído para a mudança de padrões de consumo, para o aumento da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) e, conseqüentemente, para a diminuição das áreas disponíveis e adequadas para a implantação de aterros sanitários, ocasionando, inclusive o aumento nos custos do transporte.

Neste cenário, a administração pública, os institutos de pesquisa e de educação e uma parte do setor privado, tem se mobilizado no desafio de encontrar soluções seguras, ambientalmente eficientes e socialmente corretas para a geração e tratamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU).

Por outro lado, temos um problema energético, onde o consumo crescente, muitas vezes descontrolado, os impactos ambientais e sociais causados pelas fontes de energias tradicionais, também mobilizam os setores público e privado, no desafio de conseguir encontrar alternativas para a sua geração.

A utilização dos resíduos sólidos urbanos (RSU) na geração de energia, assim como a reciclagem aparecem no mercado transformador como alternativa viável para a minimização dos problemas ambientais e, ainda, com a perspectiva de gerar dividendos aos investidores deste segmento.

Diante do exposto, a proposta deste trabalho justifica-se por apresentar as tecnologias mais utilizadas para a recuperação de energia, utilizando como matéria prima, os resíduos sólidos urbanos, através da análise dos custos socioambientais.

1.1 Objetivo

Apresentar, através da análise de duas tecnologias utilizadas no tratamento de resíduos sólidos urbanos, a recuperação do gás do lixo e a incineração, a mais viável para a recuperação de energia, em função dos custos ambientais, verificando as vantagens e desvantagens de cada uma, levando em consideração o cenário mundial e nacional, a legislação, os aspectos ambiental, social e econômico.

Este trabalho foi elaborado em cinco capítulos, incluindo a introdução, onde são apresentados a justificativa e o objetivo da pesquisa. No segundo capítulo tem-se a revisão de literatura e no terceiro a metodologia aplicada. O quarto capítulo apresenta os resultados e as discussões. No quinto capítulo as conclusões e considerações finais sobre a pesquisa realizada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste item busca-se uma visão global da pesquisa realizada, apresentando informações pertinentes ao trabalho.

2.1 Resíduos Sólidos

Resíduos sólidos são materiais heterogêneos, (inertes, minerais e orgânicos) resultantes 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. (MESQUITA JUNIOR, , 2007).

Para Mesquita Junior (2007), é possível considerar que os resíduos sólidos são constituídos de substâncias que variam de comunidade para comunidade de acordo com os hábitos e costumes da população, número de habitantes do local, poder aquisitivo, variações sazonais, clima, desenvolvimento, nível educacional, variando ainda para a mesma comunidade com as estações do ano.

Quanto a classificação, Matos (2009), explica que os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com a sua natureza física (seco ou molhado), por sua composição química (matéria orgânica ou matéria inorgânica) ou em função de sua origem (fonte geradora), conforme apresentado na figura 1:

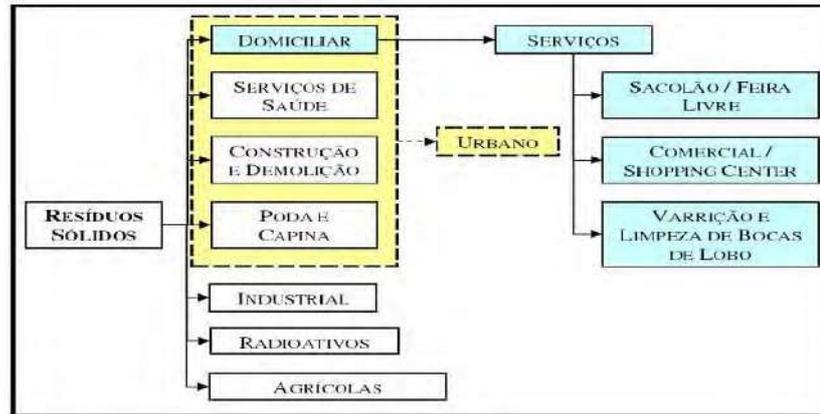


Figura 1: Classificação dos resíduos sólidos em função da atividade de origem

Fonte: (SCHALCH,1992 apud MATOS, 2009)

Pode ser observado na figura acima a diversidade da origem dos resíduos sólidos urbanos e em especial na composição dos resíduos domiciliares.

Já com relação ao tratamento, segundo Winter (2011), a não existência de correto tratamento aos resíduos sólidos pode:

[...] gerar diversos e sérios problemas à sociedade e ao meio ambiente, como poluição atmosférica, odores e gases nocivos, poluição hídrica, contaminação do solo, desvalorização imobiliária das áreas próximas a locais de disposição de resíduos e proliferação de doenças através de vetores associados aos resíduos sólidos. A presença dos resíduos sólidos municipais nas áreas urbanas é muito significativa, gerando problemas de ordem estética, de saúde pública, pelo acesso a vetores e animais domésticos, obstruindo rios, canais e redes de drenagem urbana, provocando inundações e potencializando epidemias e que o lixo urbano é considerado uma grave ameaça à qualidade de vida das populações, além do prejuízo, de caráter socioeconômico, derivado do atual sistema de gestão dos resíduos sólidos municipais.

2.2 Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos

De acordo com o Monteiro et al (2001), o tema da limpeza urbana está assumindo papel de destaque entre as crescentes demandas da sociedade brasileira e das comunidades locais. Seja pelos aspectos ligados à veiculação de doenças e, portanto, à saúde pública; seja pela contaminação de cursos d'água e lençóis freáticos, na abordagem ambiental; seja pelas questões sociais ligadas aos catadores – em especial às crianças que vivem nos lixões – ou

ainda pelas pressões advindas das atividades turísticas, é fato que vários setores governamentais e da sociedade civil começam a se mobilizar para enfrentar o problema, por muito tempo relegado a um segundo plano.

Para Zanta e Ferreira (2003), as diretrizes das estratégias de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos buscam atender aos objetivos do conceito de prevenção da poluição, evitando-se ou reduzindo a geração de resíduos e poluentes prejudiciais ao meio ambiente e à saúde pública. Desse modo busca-se priorizar, em ordem decrescente de aplicação: a redução na fonte, o reaproveitamento, o tratamento e a disposição final. No entanto cabe mencionar que a hierarquização dessas estratégias é função das condições legais, sociais, econômicas, culturais e tecnológicas existentes no município, bem como das especificidades de cada tipo de resíduo.

Winter (2010) concorda e enfatiza a necessidade de um controle com a geração, armazenagem, coleta, transporte, processamento e disposição de forma condizente com os melhores princípios relativos a saúde, economia, de engenharia, conservação, estética e outros aspectos ambientais incluindo planejamento administrativo, financeiro, legal, e soluções de engenharia.

Para melhor entendimento, a sequência apresenta um breve histórico sobre o panorama internacional e nacional da gestão de resíduos sólidos urbanos.

2.2.1 Panorama internacional da gestão de resíduos sólidos urbanos

Segundo Schalch et al (2002), apesar dos países viverem realidades diferentes, observa-se que o enfrentamento dos impasses decorrentes do gerenciamento e da gestão de resíduos passa por diretrizes muito semelhantes.

Cada um à sua maneira resolve satisfatoriamente as questões vinculadas ao tema dos resíduos, envolvendo fatores como: o financiamento dos serviços, a participação da comunidade e as políticas públicas em relação aos resíduos, após o uso, implementadas em cada região ou país. (SCHALCH, V. et al 2002)

Maranho (2008), explica que a gestão de resíduos sólidos passa necessariamente pelo ponto de inflexão no qual houve a substituição de uma abordagem tradicional de tratamento dos resíduos sólidos para a implementação de um sistema de gestão apoiado em políticas ambientais, que englobou novas prioridades as quais estão sendo incorporadas gradativamente pelos diversos países.

Schalc, V. et. al (2002), após análise dos modelos de gestão de resíduos de alguns países da Comunidade Européia, Estados Unidos e Japão, concluiu que:

Todos assumem como metas prioritárias: a **prevenção**, através da redução do volume de resíduos na fonte (com ênfase no desenvolvimento de tecnologias limpas nas linhas de produção e análise do ciclo de vida de novos produtos a serem colocados no mercado); a **reciclagem** e a **reutilização** dos resíduos; a **transformação** através de tratamentos físicos, químicos e biológicos, enfatizando a incineração com aproveitamento de energia, como forma de redução do volume de resíduos, aumentando o período de vida útil dos aterros sanitários.

No entanto, Pavan (2010), faz uma importante ressalva, esclarecendo que o equacionamento e a solução dos problemas relacionados a resíduos urbanos, em todas as etapas do processo, desde a geração até sua disposição final, estão intrinsecamente ligados à população envolvida, ao seu estágio de desenvolvimento, aos hábitos, às condições econômicas e, naturalmente, à disponibilidade de locais e tecnologias adequadas ao tratamento e à disposição final.

De acordo com Sisino et al (2000), a busca por um “gerenciamento adequado” para os resíduos sólidos deve se dar em todos os países, tendo em vista os efeitos globais de comprometimento do ambiente, mas que , não se podem ignorar as diferenças fundamentais de capacidade econômica, disponibilidade de qualificação técnica, características ambientais e demandas por necessidades básicas entre os países desenvolvidos e os países em desenvolvimento.

A Tabela 01 apresenta, por amostragem, as formas de disposição de resíduos sólidos urbanos em vários países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Tabela 1 : Destino do RSU em diversos países

País	Reciclagem	Compostagem	Recuperação Energética (1)	Aterro Sanitário
Holanda	39%	7%	42%	12%
Suíça	32%	11%	45%	13%
Dinamarca	29%	2%	58%	11%
Estados Unidos	24%	8%	13%	55%
Austrália	20%	<< 1%	<1%	80%
Alemanha	15%	5%	30%	50%
Japão	15%	-	78%	7%
Israel	13%	-	-	87%
França	12% (2)	n.i.	40%	48%
Brasil	8%	2%	-	90% (3)
Reino Unido	8%	1%	8%	83%
Grécia	5%	-	-	95% (3)
Itália	3%	10%	7%	80%
Suécia	3%	5%	52%	40%
México	2%	-	-	98% (3)

(1) Basicamente incineração / (2) As estatísticas incluem compostagem / (3) Incluem aterros controlados e lixões

Fonte: BRASIL (2008)

Mesmo considerando uma amostra pequena de países, é possível verificar a predominância da disposição dos resíduos em aterros.

2.2.2 Panorama Nacional da gestão de resíduos sólidos urbanos

Maranho (2008), observa que a falta de confiabilidade dos dados fornecidos pelas prefeituras e de capacitação de seus quadros técnicos dificulta um gerenciamento adequado, assim como a falta de financiamento de programas e projetos e a minimização dos impactos dos resíduos no meio ambiente e na saúde.

Segundo a ABRELPE (2010), por dia, são coletados, no Brasil, mais de 180 mil toneladas de lixo e, a quantidade de RSU destinados inadequadamente cresceu com quase 23 milhões de toneladas de RSU, seguindo para lixões ou aterros controlados (que serão proibidos de existir a partir de 2014), trazendo consideráveis danos ao meio ambiente. Os aterros estão presentes em apenas 39% dos municípios brasileiros, sendo que, aproximadamente 42% dos resíduos totais coletados, não têm destinação adequada. Ainda de acordo com a ABRELPE (2010), 61% dos municípios brasileiros ainda fazem uso de unidades de destinação inadequada de resíduos, encaminhando-os para lixões e aterros controlados, que pouco se diferem dos lixões, uma vez que ambos não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para a proteção do meio ambiente contra danos e degradações.

De acordo com BRASIL (2008), nas principais cidades brasileiras, os vazadouros utilizados estão em fase de encerramento de operação e explica que:

Ao lado da construção de novos aterros e evidenciando o reconhecimento que a solução tradicional apenas transfere o problema para alguns anos à frente sem efetivamente enfrentá-lo, essa situação tem motivado a discussão sobre a aplicação de tecnologias que reduzam a quantidade de lixo a dispor e ainda permitam benefícios adicionais como a obtenção de receitas pela comercialização de coprodutos gerados, como energia elétrica, adubos naturais ou cinzas para a construção civil.

Winter (2011) esclarece que a incineração é uma técnica pouco utilizada no Brasil. Pode-se dizer que está restrita a uma parte dos resíduos hospitalares, a embalagens de agrotóxicos e a certos resíduos industriais perigosos.

A Tabela 02 apresenta as formas de disposição de resíduos sólidos urbanos por regiões do país.

Tabela 2: Formas de disposição de resíduos sólidos urbanos no Brasil

	Brasil (%)	Norte (%)	Nordeste (%)	Sudeste (%)	Sul (%)	Centro Oeste (%)
Vazadouro a céu aberto ou em áreas alagadas	21,3	57,2	48,3	9,8	25,9	22,0
Aterro controlado	37	28,3	14,6	46,5	24,3	32,8
Aterro sanitário	36,2	13,3	36,2	37,1	40,5	38,8
Usina de Compostagem	2,9	0,0	0,2	3,8	1,7	4,8
Usina de triagem	1,0	0,0	0,2	0,9	4,2	0,5
Incineração	0,5	0,1	0,1	0,7	0,2	0,2
Locais não fixos	0,5	0,9	0,3	0,6	0,6	0,7
Outros	0,7	0,2	0,1	0,7	2,6	0,2

Fonte: Pavan, M.C.O., 2010

Segundo, Machado (2002), o gerenciamento dos resíduos sólidos é um processo dinâmico, e que o sucesso de um programa de gestão está diretamente associado à integração do poder público e à participação da sociedade, nos seus vários segmentos. Estas mudanças podem ocorrer de forma impositiva, com a adoção de instrumentos de comando e controle (como a legislação) e econômicos (taxas, impostos, forças de mercado), ou ainda por meio de instrumentos de persuasão como a educação ambiental e a mobilização popular.

As diretrizes para uma gestão socialmente integrada de resíduos deve contemplar programas que visam a implementação dos 3Rs (redução, reutilização e reciclagem) por meio de programas de Coleta Seletiva/Reciclagem e de Educação Ambiental, os quais promovam a efetiva participação e conscientização da sociedade na solução dos problemas. CAIXETA, D.M. (2005)

Para Henriques (2004) a disposição dos resíduos sólidos no Brasil poderia estar em outra situação, caso fosse exigido o cumprimento mínimo da legislação ambiental vigente. A Constituição Federal determina a competência comum da União, dos Estados, do Distrito

Federal e dos Municípios para proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas (art. 23, inciso VI, CF) e destaca o art. 225 da Carta Magna, segundo o qual:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

No mesmo artigo, insere-se o § 3º, segundo o qual,

As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados.

Zanta e Ferreira (2003), complementam que além da Constituição Federal, o Brasil já dispõe de uma legislação ampla (leis, decretos, portarias, etc.),

[...] mas que a falta de diretrizes claras, de sincronismo entre as fases que compõem o sistema de gerenciamento e de integração dos diversos órgãos envolvidos com a elaboração e aplicação das leis possibilitam a existência de algumas lacunas e ambiguidades, dificultando o seu cumprimento e continuam explicando que nas diferentes esferas governamentais, ainda são iniciativas recentes ou inexistem leis específicas de Políticas de Gestão de Resíduos Sólidos que estabeleçam objetivos, diretrizes e instrumentos em consonância com as características sociais, econômicas e culturais de Estados e municípios.

Existem vários fatores para a conversão de resíduos em energia e que normalmente nem todos são considerados, a visão da cidade, os regulamentos de proteção ambiental e de saúde da população, bem como, para aqueles que trabalham nos aterros ou lixões, devem ser considerados, o sistema de coleta e separação dos resíduos perigosos são fatores muito importantes. Por outro lado, as formas de energia e os custos, também são importantes para se selecionar um método de tratamento. Por fim, destaca que a Educação é um dos fatores mais importantes para se melhorar o sistema de manutenção e coleta e promover a melhoria dos métodos de tratamento e tecnologias. (TAHERZADEH, M., 2005)

2.2.3 Educação Ambiental como ferramenta para a efetivação da Gestão de RSU

A educação ambiental (EA) tem se mostrado a chave fundamental, pois propicia a aprendizagem do cidadão sobre seu papel como gerador de resíduos, atingindo escolas, repartições públicas, residências, escritórios, fábricas, lojas, enfim, todos os locais onde os cidadãos geram resíduos, podendo ser praticada de diferentes formas dependendo da proposta de gerenciamento de resíduos sólidos. (SCHALCH, V. et al, 2002)

De acordo com Dias (2003), a Educação Ambiental no gerenciamento do lixo pode estar inserida na corrente de gestão ambiental, ou seja, orientada para a mudança de comportamento ou visando resultados:

As estratégias empregadas terão como objetivo levar a comunidade: a segregar o lixo na fonte geradora, acondicioná-lo de forma diferenciada, participando da coleta seletiva, entregá-lo em postos de recebimento de materiais, evitar desperdícios, reaproveitar seus resíduos sólidos[...]. Da mesma forma, a sociedade deve ter sua participação nas tomadas de decisão, quanto aos aspectos de escolha de alternativas para o gerenciamento de resíduos sólidos [...]. A Educação Ambiental para a mudança de sensibilidade na construção de sociedades sustentáveis deve promover o pensamento sistêmico e uma abordagem holística dos problemas sociais, econômicos e ambientais [...].

Para Caixeta (2005), a Conferência de Tbilisi (1977) foi um marco histórico para a Educação Ambiental (EA) conferindo-lhe enfoques interdisciplinares e da participação ativa e responsável dos indivíduos e da coletividade, com vistas a resolução dos problemas ambientais. No Brasil, a Política Nacional de Educação Ambiental foi instituída pela Lei n.º 9.795, de 27/04/99, que a define como:

Processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimento, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade.

A Educação Ambiental contribuirá como um instrumento básico indispensável a sustentabilidade dos processos de gestão ambiental, desde que, o educador atue como um interprete, evidenciando os aspectos sociais, culturais e políticos, históricos das interações sociedade-natureza. (ZANETI, 2003 apud CAIXETA, D.M., 2005)

Segundo Caixeta (2005), a EA pode promover mudança de comportamento da população, agregando valores de cidadania, consciência ambiental e inserção dos catadores, e que dentro deste contexto, acredita que os projetos de incineração como alternativa para o tratamento térmico dos resíduos sólidos urbanos, com o aproveitamento de energia, devem estar inseridos em um programa de gerenciamento socialmente integrado que contemple a coleta seletiva, os 3Rs e a Educação Ambiental com inserção dos catadores.

2.3 Panorama da geração de energia elétrica

A facilidade com que a energia elétrica pode ser transformada em outras formas de energia, com rapidez e sem poluição, levou a humanidade a uma utilização em massa desta forma de energia, a tal ponto que atualmente a energia elétrica é considerada vital para o desenvolvimento de qualquer país. Em função disto, enormes usinas, utilizando as mais variadas formas de força motriz, suprem os centros de carga por meio de longas linhas de transmissão, enquanto que uma extensa malha de subtransmissão e de distribuição leva a energia aos consumidores (BICHELS, 1998 apud THOMÉ, A.D. 2004).

De acordo com a EXXON MOBIL (2010), no Panorama Energético- perspectivas para 2030, o uso de energia no mundo varia drasticamente, mas equivale a uma média de 200.000 unidades térmicas britânicas (BTU) por dia. Globalmente isto equivale a 25 bilhões de BTU por segundo. Atender a esta demanda de maneira economicamente eficaz e ecologicamente responsável, é um desafio enfrentado por governos, indústrias e consumidores em todo o mundo. Isso exigirá um conjunto integrado de soluções que inclua a expansão de todas as fontes econômicas de energia. Ao mesmo tempo, também será necessário melhorar eficiências e mitigar emissões através do emprego de novas tecnologias e de combustíveis de queima mais limpa.

2.3.1 Insumos Energéticos

Os principais insumos energéticos usados pela indústria no mundo são o petróleo, o gás natural e o carvão. Esses insumos têm apresentado elevadas taxas de crescimento do

consumo, devido, principalmente, ao desempenho das economias emergentes, lideradas pela China e pela Índia. Este crescimento acelerado da demanda de energia já traria, por si só, preocupações quanto ao equacionamento da oferta e ao impacto nos preços. Entretanto, os temas segurança de suprimento e meio ambiente transformaram a energia em tema crítico em âmbito mundial.(CNI, 2007).

Para Castro e Dantas (2010), a redução das emissões de gases do efeito estufa na atmosfera e, por conseguinte a limitação do aquecimento global é condição basilar para a garantia da sustentabilidade da vida na biosfera no médio e longo prazo e:

[...] aponta o setor energético como maior responsável pelo aumento da concentração de gases do efeito estufa à nível mundial e que apesar da diminuta participação no total de emissões brasileiras, devido à relevante participação de fontes renováveis de energia na matriz energética brasileira, o Brasil precisa ter uma posição pró-ativa nas discussões relativas a mitigação do aquecimento global e , sobretudo tomar atitudes e adotar estratégias que venham a reduzir suas emissões.

2.3.2 A recuperação de energia a partir do RSU

Por definição, o termo “resíduo”, sugere um subproduto de um processo, o qual não possui funcionalidade ou valor para determinada instituição ou grupo populacional, os fatores que tornam um produto em um resíduo, de certa perspectiva, não necessariamente fazem deste subproduto algo inútil ou sem valor de outra forma. Tudo depende da função que o utilizador espera deste material. A vantagem de usar um resíduo para gerar energia está no fato de a energia ser um produto amplamente requerido pela população. (LEME, M.M.V. 2010).

De acordo com Calderoni, S. (1999) 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 Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a instituição do Mercado Atacadista de Energia (MAE) deram origem a um novo modelo. Na esteira das alterações normativas já é permitido a qualquer empresa produzir energia e vendê-la, a qualquer consumidor, desde que seja ao menos 3 MW a potência instalada correspondente à energia comercializada. O transporte da energia foi também alvo de nova regulação, não havendo mais obstáculos à sua contratação.

Para BRASIL (2008), a geração de energia elétrica através de RSU já se apresenta hoje alternativas maduras e ressalta que algumas das tecnologias disponíveis nem são tão recetentes, datando da década de 80.

Segundo Moretto, L. et al (2010), é uma realidade internacional evidenciada pela mais de 1700 usinas em funcionamento.

A Tabela 03 apresenta o aproveitamento energético a partir da utilização do RSU.

Tabela 3: Aproveitamento energético com RSU

Tecnologia		T Wh/ano
Gás do Lixo	Ciclo aberto	16,16
	Ciclo Fechado	20,70
INCINERAÇÃO	EPA ⁽¹⁾	30,89
	CENERGIA ⁽²⁾	45,44
	MENEZES ⁽³⁾	0,03

(1) Environmental Protection Agency; (2) Centro de Economia Energética Ambiental; (3) MENEZES, R. A. A.,

Fonte: Henriques, R.M., 2004

Na tabela acima é possível verificar que o potencial de aproveitamento varia de acordo com a evolução tecnológica.

2.3.2.1 A recuperação do gás metano ou Gás do Lixo (GDL)

Para Themelis (2007) apud Leme, M. M. V. (2010), a maior parte do lixo produzido no mundo é despejada em aterros não regulados (lixões ou aterros controlados) e o biogás gerado é emitido diretamente na atmosfera. Estima-se que 1,5 bilhões de toneladas de lixo são despejadas em lixões anualmente, o que corresponde a uma taxa de geração de metano de 75 bilhões de Nm³, considerando-se uma taxa de 50 Nm³ de metano por tonelada de RSU. Hoje, menos de 10% deste potencial é utilizado atualmente.

Segundo Henriques (2004), a tecnologia de gás de lixo advém da necessidade do homem utilizar de maneira proveitosa os gases oriundos da disposição de resíduos em aterros ou lixões. E continua:

Esta tecnologia visa resgatar esses gases e destiná-los a outros fins que não somente a sua emissão descontrolada para a atmosfera. A destinação dos RSU era feita, primeiramente, de maneira aleatória e sem sofrer as implicações das leis sanitárias e ambientais que hoje regem este tipo de atividade. Na atualidade estas restrições institucionais imputam a esta tecnologia desafios no que concerne a extração do gás e sua aplicação dentro de padrões estabelecidos pelos entes reguladores do Estado.

Silva et al (2008), explica que geração de energia a partir do biogás difere de outros empreendimentos termelétricos devido às características peculiares de sua exploração, advindas de atividade de saneamento básico, com constantes cuidados e atividades produtivas extras para sua complementação técnica. De acordo com o relatório do Estudo do potencial de geração de energia renovável proveniente dos aterros sanitários nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil, o biogás é formado pela decomposição de resíduos orgânicos depositados nos aterros e lixões e tem como um dos seus principais componentes o gás metano (CH₄).

De acordo com Willumsen (2001), existem aproximadamente 950 plantas de gás de lixo em todo o mundo, na qual o gás é utilizado com propósito energético, alertando que o número para alguns países deve ser visto com reserva, pois não é possível obter dados exatos de todos os países.

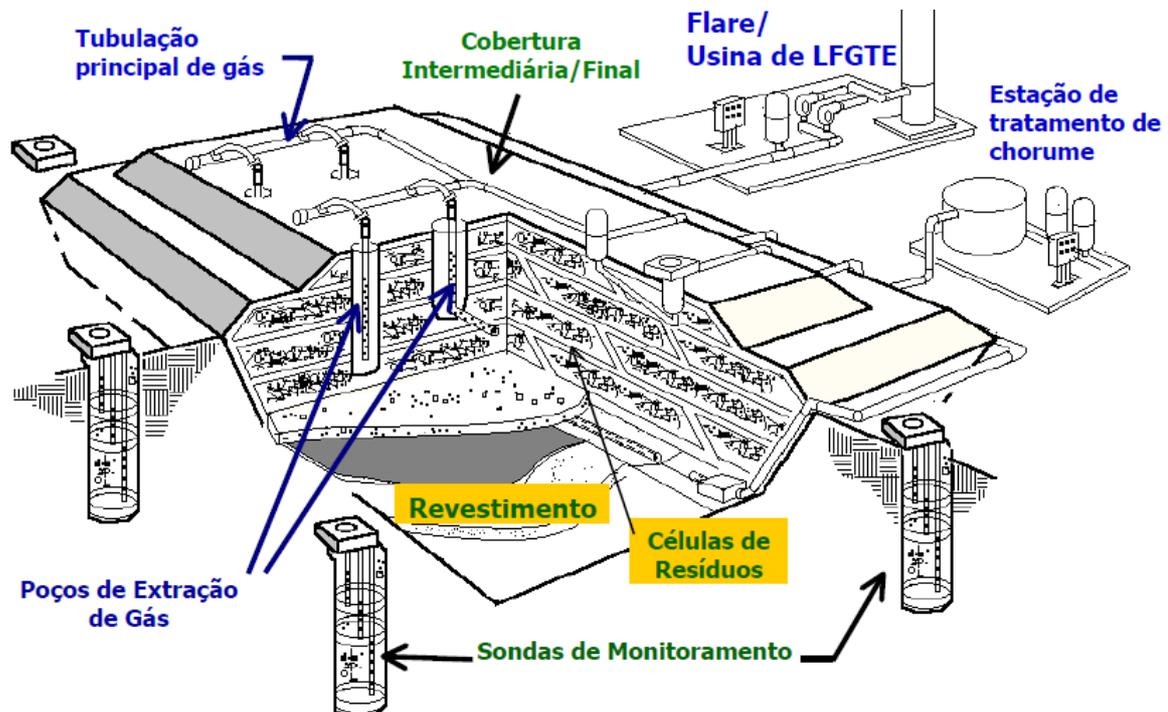


Figura 2: Sistema de Coleta de Gás de Aterro Sanitário

Fonte: (GODLOVE, C. 2010)

Para Henriques (2004), durante os últimos 25 anos as plantas para extração e utilização de gás de lixo vêm se desenvolvendo. Estima-se que os aterros sanitários produzam mundialmente de 20 a 60 Tg (teragramas, ou entre 20 e 60 milhões de toneladas) de metano por ano, como um resultado direto da decomposição orgânica dos componentes do lixo.

Willumsen (2001) explica que este gás contém aproximadamente 50% de metano, que pode ser utilizado para propósitos energéticos e Leone, R.S.(2003) complementa, informando que o restante da composição contém cerca de 45% de CO₂, 3% de nitrogênio, 1% de oxigênio e 1% de outros gases.

Além do biogás, um aterro sanitário também produz chorume que segundo a ABNT é definido como um líquido de cor preta, mal cheirosa e de elevado potencial poluidor, produzido pela decomposição da matéria orgânica contida no solo². Este é resultado da umidade natural do lixo (que se agrava nos períodos de chuva); da água de constituição dos vários materiais; e dos líquidos provenientes da decomposição da matéria orgânica pelos microorganismos. As legislações estaduais obrigam o tratamento do chorume antes de sua emissão em corpos de água, por ser um líquido contaminante que pode diminuir a qualidade da água de lençóis freáticos e de cursos de água mais próximos, causando efeitos negativos de várias ordens, principalmente socioambientais. (VALE, 2007 apud LEME, M.M.V., 2010)

No Brasil, de acordo com Paro et al (2008), os aterros tem sido utilizados como a forma mais econômica e ambientalmente segura para a disposição final de RSU e explica que o princípio construtivo básico constitui-se nas etapas de impermeabilização de uma determinada área superficial do solo através de mantas plásticas, evitando a contaminação do solo pelo chorume; disposição do lixo urbano sobre esta área, cobrindo com uma camada de terra, garantindo a decomposição anaeróbica do qual resulta a formação do biogás. No aterro, devem ser dispostos coletores para a captura do biogás e drenos para a coleta do “chorume”, uma vez que estes resíduos são poluentes e devem ser tratados adequadamente.

Sobre a captura de Biogás Paro et al (2008), acredita que o mesmo tem se tornado economicamente viável por duas motivações: a geração de energia elétrica para consumo próprio do aterro e venda do excedente; a obtenção de créditos de carbono através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) com a redução das emissões de metano (CH₄). A queima do biogás gera créditos de carbono ainda que, a queima do metano tenha como

resultado a emissão de dióxido de carbono (CO₂), o potencial de contribuição deste para o aquecimento global é cerca de vinte e uma vezes inferior ao potencial do metano.

O problema, segundo Leme (2010), é que o volume de biogás gerado por um aterro sanitário não é constante ao longo dos anos. E explica que como o aterro é preenchido gradualmente durante seus anos de operação, cada célula de lixo apresenta produções diferentes de biogás, em função de seu tempo de residência dentro do aterro.

De acordo com Pavan (2010), os aterros controlados são formas de disposição que buscam minimizar os impactos ambientais. Confinam-se os resíduos, cobrindo-os no final de cada dia de trabalho com uma camada de material inerte e, normalmente, utiliza-se algum princípio de engenharia para tratamento e coleta dos líquidos percolados gerados.

Em geral, esse processo não dispõe de impermeabilização de base. Já os lixões ou vazadouros caracterizam-se pela simples descarga dos resíduos. Acarretam vários problemas de saúde à população vizinha do local devido à proliferação de vetores de transmissão de doenças. Além disso, exalam maus odores e contaminam solos, águas superficiais e subterrâneas, através dos líquidos percolados (ou *chorume*) gerados no local. Associam-se também aos lixões o total descontrole quanto ao tipo de resíduos recebidos, podendo-se encontrar nesses locais desde resíduos de origem industrial a restos provenientes de serviços de saúde. Geralmente existem catadores que moram no local e sobrevivem da venda de materiais recicláveis coletados no próprio local. (PAVAN, M.C.O., 2010).

A Figura 03 exemplifica a curva de produção de gás metano típica de aterros sanitários:

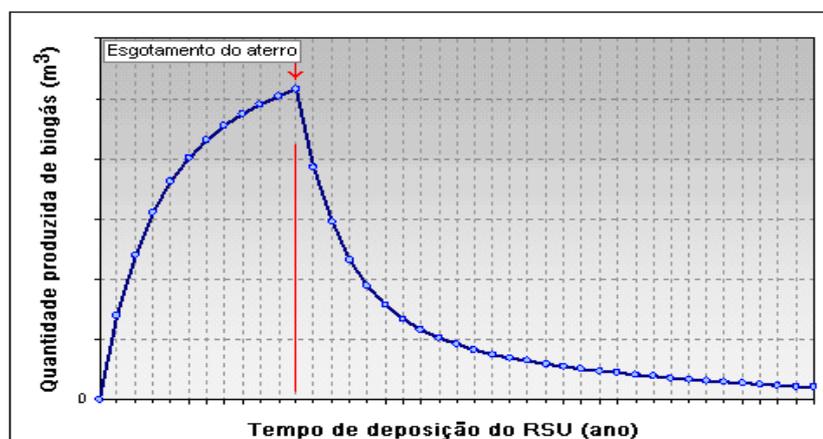


Figura 3: Evolução típica da produção de biogás em aterro sanitário

Fonte: (BRASIL, 2008)

A interpretação desta curva é a semelhante a obtida por PECORA, et al (2009), onde explica que:

A curva tem um comportamento crescente durante o período em que o aterro recebe lixo, pois a cada nova tonelada de lixo depositada, soma-se um novo potencial de geração de biogás. O ponto máximo mostra o último ano de disposição do lixo no aterro e a partir daí a curva é regida pela constante de decaimento, referente à degradação da matéria orgânica no tempo.

Para BRASIL,(2008), o aproveitamento econômico do gás para a geração de energia elétrica fica limitado a uma “janela” de tempo relativamente pequena (entre 12 e 18 anos) em relação ao tempo de duração das emissões e explica que mesmo durante essa “janela”, nem todo o gás produzido é aproveitável para a geração em razão de limitação econômica da potência das unidades geradoras.

Leme (2010) salienta que um fator importante nos aterros é a taxa de recuperação do biogás pelo sistema de drenagem de gases. Este valor é da ordem de 75%, podendo chegar a 90% ou menos de 50% em aterros mal planejados e operados (USEPA, 2008). Esta taxa depende basicamente da tecnologia empregada no aterro. Sistemas avançados são desenvolvidos para impedir tanto a perda do biogás pelas paredes externas do aterro, quanto à entrada de oxigênio atmosférico, o qual inibe as reações anaeróbias no interior da massa de lixo.

Silva et. al (2008), cita que o relatório do Estudo do potencial de geração de energia renovável proveniente dos aterros sanitários nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil, aponta como os melhores locais para implantação de projetos de geração de energia renovável aqueles onde existem programas de coleta seletiva e destinação alternativa de resíduos sólidos e uma população acima de 1 milhão de habitantes. Do ponto de vista econômico é melhor porque há um depósito maior de material inorgânico, fonte do metano, e operacional porque os conflitos relativos à questão dos resíduos sólidos estarão mais bem encaminhados.

2.3.2.2 Incineração com recuperação de energia – WTE

Ribeiro (2010), explica 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 Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a instituição do Mercado Atacadista de Energia (MAE) deram origem a um novo modelo. Na esteira das alterações

normativas já é permitido a qualquer empresa produzir energia e vendê-la, a qualquer consumidor, desde que seja ao menos 3MW a potência instalada correspondente à energia comercializada. O transporte da energia foi também alvo de nova regulação, não havendo mais obstáculos à sua contratação.

Leme (2010), avalia que a incineração é a tecnologia de tratamento que envolve a destruição do lixo pela queima controlada em altas temperaturas acompanhada da geração de calor. O calor da combustão pode ser convertido em energia (água quente, vapor ou eletricidade). A incineração é usual em grandes cidades, pois reduz a quantidade de lixo a ser enviada a aterros e pode estar localizada em zonas urbanizadas

Esta tecnologia tem como principal atrativo sua possibilidade de diminuir para cerca de 4% do volume total de resíduos a ser destinados ao aterro sanitário, além de ser eficiente na conversão de energia com resíduos. As cinzas são os subprodutos deste método e por serem inertes, já existem estudos que mostram a viabilidade de sua aplicação na construção civil, mas frequentemente este é levado para aterros sanitários. (HENRIQUES, R. M., 2004)

Segundo Santos (2011) apud Winter, L.F.O. (2011) a incineração dos resíduos pode ser praticada na sua forma mais simples, sem a recuperação energética, a chamada incineração dedicada. Porém, considerando o crescimento contínuo na busca de novas alternativas para o tratamento dos resíduos sólidos e da procura por novas fontes de energias renováveis, a incineração de RSU se mostra muito promissora, pois se trata de outra forma de destinação dos resíduos sólidos urbanos que ao final do processo gera como produtos energia elétrica e/ou a energia térmica .

Hoje existem diversas tecnologias para a incineração de resíduos. O desenvolvimento destas tecnologias reflete o interesse crescente em superar as dificuldades, e usa este estímulo para propor alternativas que viabilizem esta operação. (BAIRD, 2002 apud HENRIQUES, R.M. 2004)

O funcionamento do processo de incineração com recuperação de energia é semelhante ao de usinas térmicas convencionais de ciclo Rankine e que a capacidade de geração depende diretamente da eficiência da transformação do calor em energia elétrica e do poder calorífico do material incinerado e complementa informando que devido à agressividade dos gases da combustão do lixo, a temperatura do vapor na caldeira deve ser baixa, em geral próxima a

200°C, de modo que o rendimento da geração de energia elétrica se limita, tipicamente, a valores ao redor de 20%. (BRASIL, 2008),

Para Rand. et al (2000), a incineração de resíduos sólidos cumpre dois propósitos, no sistema avançado de gestão de resíduos. Primeiramente, ela reduz a quantidade de resíduos para deposição em aterro sanitário, e ele usa resíduos para produção de energia. Portanto, plantas de incineração de resíduos são geralmente introduzidas em áreas onde a implantação de aterros sanitários está em conflito com outros interesses, tais como o desenvolvimento da cidade, a agricultura e o turismo.

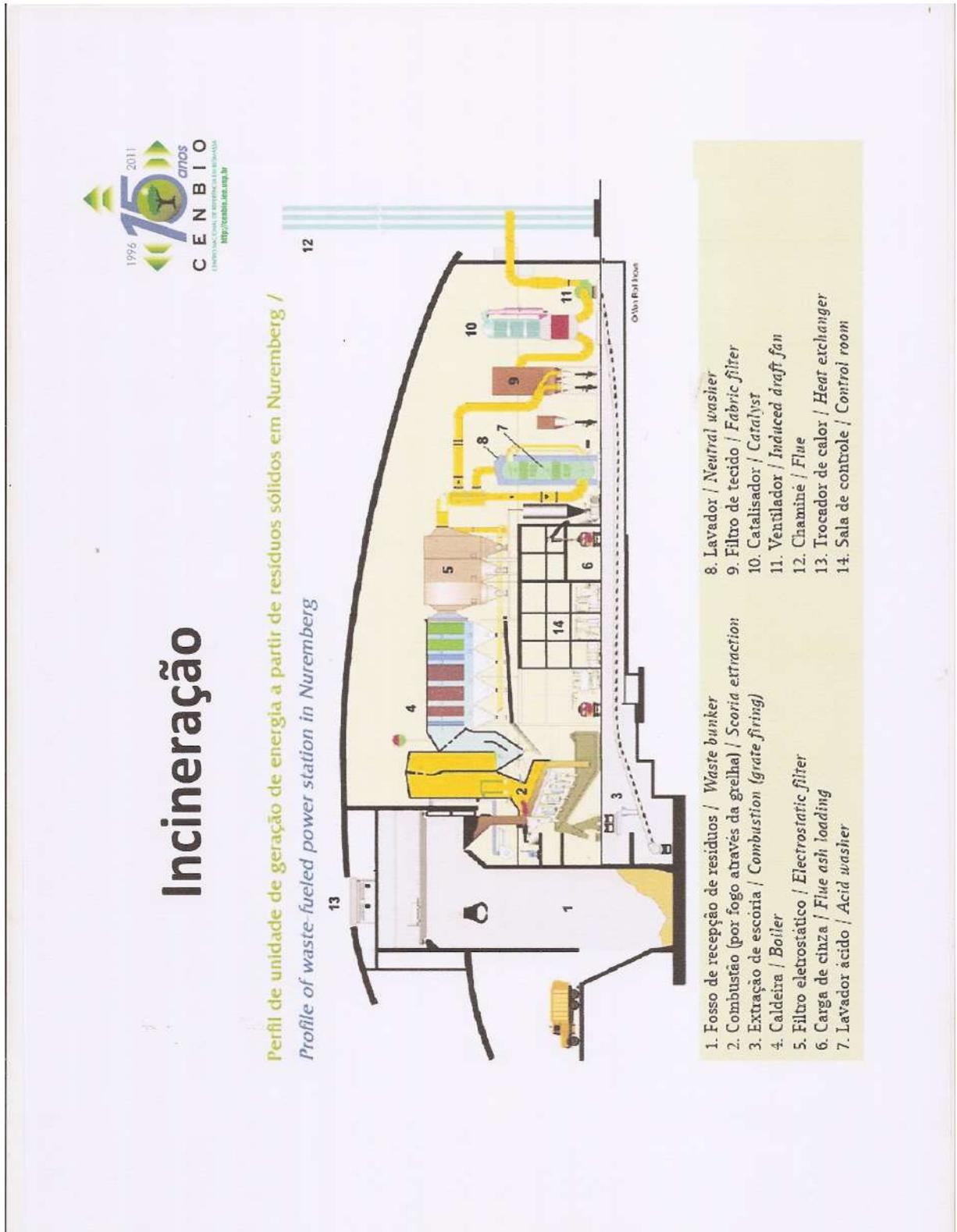


Figura 4: Esquema de uma planta de recuperação de energia

Fonte: (Coelho et al, 2011)

2.3.3 Sustentabilidade dos Projetos

Para Pavan, (2010), a maior contribuição com a implantação de projetos de recuperação de energia a partir de resíduos sólidos urbanos, quando se trata de sustentabilidade ambiental, está relacionada ao esforço global no controle à mudança climática. Esta contribuição se verifica tanto em plantas de incineração com vistas à recuperação de energia, quanto na recuperação de metano gerado em aterros. E destaca que:

[...]os sistemas que geram quantidades importantes de oportunidades de emprego, são mais susceptíveis à aceitação da população local....Outra contribuição importante que a implantação de sistemas desta categoria traz é o exercício de atividade econômica relacionada ao manejo de resíduos sólidos e incentivada por meio da implantação ou ampliação de um sistema de coleta seletiva maduro, que envolva a agregação de valor aos materiais, o que pode (e deve) ocorrer quando a implantação de ambos os sistemas.

Baterlings (2003), explica que para cada uma das opções de tratamento de resíduos vão existir custos e benefícios. No caso de instalações de incineração e aterro, é possível vender a energia recuperada, agregando benefícios financeiros e ambientais.

2.3.3.1 Biogás ou Gás do Lixo (GDL)

2.3.3.1.1 Aspectos Ambientais

Para Henriques (2004) o GDL contém compostos orgânicos voláteis, que são os principais contribuintes para queda do nível de ozônio e que incluem em seu escopo poluentes tóxicos. Quando pouco ou nada é feito para controlá-los, estes compostos são lentamente e continuamente lançados à atmosfera como produto da decomposição do lixo. Quando o GDL é coletado e queimado em um sistema de obtenção de energia, estes compostos são destruídos, evitando a consequente perda ambiental.

Regulamentações governamentais existentes em países industrializados, como nos Estados Unidos e no Reino Unido, exigem que os aterros sanitários coletem suas emissões de GDL. A

tendência, pela evolução da questão ambiental no Brasil, é que estas e novas restrições sejam implantadas, tanto nos países desenvolvidos, quanto nos em desenvolvimento.

Uma vez que o GDL é coletado, o proprietário/operador do GDL tem algumas opções de escolha, tais como: (1) queimar o gás em flares, ou (2) produzir energia para uso próprio ou para venda. As outras soluções resolvem o problema da poluição, mas apenas a segunda recupera o custo de capital pelo valor da energia e ainda substitui o uso de combustíveis fósseis e os impactos ambientais associados a estes. (MUYLAERT, 2000 apud HENRIQUES, 2004).

Como esta técnica está diretamente ligada aos aterros sanitários, Paro, A.C. et al (2008), apresenta as seguintes vantagens e desvantagens ambientais, para um aterro sanitário corretamente construído:

Tabela 4: Vantagens e Desvantagens de Aterros Sanitários

Vantagens	Desvantagens
<p>Recebem os RSU praticamente da maneira como são recolhidos, através das estações de trasbordo;</p> <p>Dispõem o lixo de maneira adequada ambientalmente;</p> <p>Geram biogás que pode ser capturado e aproveitado;</p> <p>Exige a captura e o tratamento do chorume;</p> <p>Emissão de carbono é distribuída no tempo, uma vez que o ciclo de vida de um aterro é de em média 40 anos.</p>	<p>Exige grandes áreas para a implantação;</p> <p>Impossibilita o uso da área por muitos anos após o fechamento</p> <p>Exige topografia adequada;</p> <p>Provoca grande movimentação de terra e resíduo;</p> <p>Gera menor quantidade de energia elétrica ao longo do tempo;</p> <p>Após capacidade esgotada, ainda exige cuidados de manutenção por pelo menos 30 anos.</p>

Fonte: Paro, A.C. et al 2008

A tabela acima caracteriza bem um problema que as grandes cidades estão passando, que é a indisponibilidade de áreas para a implantação de aterros.

Para Henriques (2004), de um modo geral o GDL tem as vantagens de: redução da emissão de metano (um dos gases potencializadores de efeito estufa); baixo custo para o descarte de lixo;

permite utilização para geração de energia ou como combustível doméstico. Algumas de suas desvantagens são:

[...]a ineficiência no processo de recuperação do gás, que permite um aproveitamento de aproximadamente 40% do total de GDL produzido; a inviabilidade de utilização do metano para lugares remotos; o alto custo para atualizar a planta; possibilidades de ocorrência de auto ignição e/ou explosão pelas elevadas concentrações de metano na atmosfera. Os benefícios da utilização do gás de lixo destacam-se à seguir, ressaltando sua importância e a necessidade de seu uso urgente.[...]. O GDL contém compostos orgânicos voláteis, que são os principais contribuintes para queda do nível de ozônio e que incluem em seu escopo poluentes tóxicos. Quando pouco ou nada é feito para controlá-los, estes compostos são lentamente e continuamente lançados à atmosfera como produto da decomposição do lixo. Quando o GDL é coletado e queimado em um sistema de obtenção de energia, estes compostos são destruídos, evitando a conseqüente perda ambiental.

Considerando que a disposição do RSU não acontece somente em aterros sanitários, a exemplo do que acontece no Brasil é que, apresentamos na Tabela 5.

Tabela 5: Impactos Ambientais do Método de Gerenciamento do Lixo – Aterro

AR	Emissões de metano (CH ₄) e odores de Monóxido de Carbono (CO)
ÁGUA	Lixiviação dos sais, pesados, metais, orgânicos biodegradáveis e persistentes para águas subterrâneas
SOLO	Acumulação de substâncias perigosas no solo
PAISAGEM	Restrição de ocupação do solo em outros usos da terra
ECOSSISTEMA	Contaminação e acúmulo de substâncias tóxicas na cadeia alimentar
ÁREAS URBANAS	Exposição a substâncias perigosas

Fonte: Willians, P.T. et al, 2002

2.3.3.1.2 Aspectos Socioambientais

De acordo com BRASIL, (2004), o aspecto social é um dos principais envolvidos em projetos de exploração energética de aterros, uma vez que se trata de lidar com comunidades de catadores de materiais potencialmente recicláveis que encontram nos lixões das grandes cidades a sua sustentação financeira.

Para Henriques (2004), no que diz respeito à relação com a comunidade, reciclagem e catadores um dos aspectos sociais mais degradantes nos serviços de limpeza urbana é a catação de recicláveis nos aterros e lixões, onde pessoas de todas as idades, misturadas ao lixo, entre animais e máquinas, e em condições de insalubridade e risco, lutam pela sobrevivência, mas quando se trata de aterros sanitários, supõe-se que o problema da permanência dos catadores já tenha sido resolvido, uma vez que a legislação ambiental obriga a retirada dessas pessoas para classificar tais empreendimentos como aterros e não como lixões e explica:

“Contudo, a realidade brasileira, em especial nas grandes metrópoles, é bem mais complexa do que a capacidade da legislação em fazer cumprir determinadas orientações. É evidente o conflito que se estabelece entre os catadores, que têm nos aterros/lixões a sua fonte de renda, e os gestores de tais espaços, que amparados e pressionados pela legislação têm que tomar decisões a respeito do futuro dessas populações e do destino final dos resíduos sólidos.”

Pelo BRASIL, (2004), as parcerias entre o Estado, a iniciativa privada e o terceiro setor têm demonstrado que é possível criar novas formas de organização social em que todos os envolvidos na questão podem se beneficiar dos benefícios advindos dessa iniciativa.

A conclusão do BRASIL, (2004), é que os melhores locais para implantação de projetos de geração de energia renovável são aqueles onde existem programas de coleta seletiva e destinação alternativa de resíduos sólidos. Esses locais são vantajosos do ponto de vista econômico, já que possivelmente a quantidade de material inorgânico neles depositado deve ser menor do que essas iniciativas não existem. Também são vantajosos do ponto de vista operacional, uma vez que nesses locais os conflitos inerentes à questão dos resíduos sólidos estarão mais bem encaminhados.

2.3.3.1.3 Aspectos Econômicos

Com o esgotamento natural do sistema de aterros e sem opção, as prefeituras passaram a exportar seus resíduos e toda esta logística custa caro. De acordo o professor Sabetai

Calderoni, do Instituto Ambiente Brasil, em reportagem da Folha de São Paulo em 2010, somente o município de São Paulo, gasta mais de R\$ 1,2 bilhão ao ano com a gestão do lixo.

De acordo com Muylaert (2000) apud Landim e Azevedo (2006), o custo total de um sistema de coleta variará de acordo com fatores específicos do local. Se o aterro for profundo os custos de coleta tenderão a ser altos pelo aumento dos custos dos poços; e estes também aumentarão se houver a necessidade de aumentar o número de poços instalados, além do custo de manutenção da rede já instalada, que está sujeita a danos causados por agentes, A Tabela 8 nos mostra os custos de um sistema de coleta com flare para aterros sanitários de 1, 5, e 10 milhões de toneladas de lixo no local e apresenta os custos conforme a Tabela 6.

Tabela 6: Custos do Sistema de Coleta (US \$ 1994)

Tamanho do lixo do Aterro Sanitário	Fluxo Estimado de Gás (mcf/dia)	Custo de Capital (x1000 US)	Custos de O&M Anual (x1000US)
1 milhão de toneladas métricas	642	628	89
5 milhões de toneladas métricas	2988	2088	152
10 milhões de toneladas métricas	5266	3599	218

Fonte: EPA,1996 apud Henriques, R.M., 2010

BRASIL, (2004), o potencial de geração é limitado nos depósitos de lixo já fechados, pois a forma de operação a que foram submetidos dificulta a qualidade de drenagem do biogás e explica que nos aterros sanitários com mais de cinco anos e com elevada capacidade de captação, se não houver ampliação da área, aumentando a geração de metano, não haverá viabilidade econômica, dado que a curva de biogás será insuficiente para mais de 15 anos.

A tabela 7 apresenta os custos médios de investimento para a recuperação de Gás de Lixo em US\$/kWe

Tabela 7: Custos médio de investimento para a recuperação de Gás de Lixo em US\$/kWe

Componete	Custo em US\$/kWe
Sistema de Coleta	200 - 400
Sistema de Sucção	200 – 300
Sistema de Utilização	850 – 1.200
Planejamento do Projeto	250 - 350
TOTAL	1.550 – 2.250

Fonte: Willumsen, 2001

2.3.3.2 Incineração com recuperação de energia

2.3.3.2.1 Aspectos Ambientais

A forte campanha contrária às Usinas de Incineração de resíduos durante década de 80 resultou na adoção de legislações ambientais com limites extremamente rigorosos para as emissões gasosas, nos EUA, nos países da União Européia e no Japão. Como consequência, observou-se o encerramento das atividades de centenas de plantas de Incineração que não apresentavam conformidade com os novos limites de emissões, ao mesmo tempo em que pesados investimentos foram realizados, objetivando a adequação dos sistemas de tratamento dos gases e vapores da incineração.

Os gases efluentes de um incinerador carregam grandes quantidades de substâncias em concentrações muito acima dos limites das emissões legalmente permitidas e necessitam de tratamento físico/químico para remover e neutralizar poluentes provenientes do processo térmico, mas de acordo com o U.S. Environmental Protection Agency (EPA) – Office of Air Planning & Standards (2002) a incineração controlada dos RSU tornou-se uma fonte menos importante de emissão de dioxinas e furanos, podendo-se que, com a atual tecnologia disponível para incineração, as emissões de dioxinas e furanos são consideradas de baixíssimo impacto.

No processo de incineração os gases e substâncias, formados durante a combustão, são purificados antes de serem lançados na atmosfera, obedecendo a rigorosas normas de proteção ambiental. Os óxidos nitrogenados (NOx) e o monóxido de carbono (CO) são produzidos em qualquer combustão. Através de um controle da queima e de um sistema de tratamento dos gases que saem das câmaras de combustão é possível reduzir essas emissões a valores tecnicamente toleráveis (ROSA et al., 2003).

Henriques (2004) explica que cada etapa da incineração tem um impacto diferente e que segundo estudos prévios realizados pela IEA em 1997 têm mostrado que os maiores impactos ambientais da incineração são produzidos por :

- Construção da planta (barulho, emissão, acidentes, efeito do ecossistema local);
- Coleta e transporte dos RSU (barulho, transporte, emissão, acidentes, odores);
- Impactos secundários do incinerador (barulho, intrusão visual, odor, etc.);
- Transporte e disposição das cinzas de resíduos (incluindo tecnologia do abatimento de resíduo)
- Combustão de resíduos (emissões atmosféricas, incluindo emissões de traços de dioxinas, furanos e metais pesados);

Para Henriques (2004), o impacto mais importante está relacionado com as emissões da combustão dos RSU. As emissões atmosféricas da combustão de resíduo são típicas para a maioria dos combustíveis sólidos, consistindo o dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NOx) e dióxido sulfúrico (SO₂), podendo constituir agressão à saúde e ao meio ambiente se não forem corretamente instalados, operados e mantidos.

Segundo Paro et al (2008), as dioxinas e os furanos são compostos considerados com elevado grau de toxicidade para a vida animal e, em particular, para os seres humanos. Portanto os processos de combustão e os produtos químicos seriam os dois grandes grupos que poderiam gerar dioxinas e furanos, expondo os riscos da queima não controlada de resíduos sólidos nos lixões em baixas temperaturas, e apresenta a tabela 8:

Tabela 8: Vantagens e Desvantagens de Incineradores

Vantagens	Desvantagens
<p>Reduz 70 – 75% da massa e cerca de 90% do volume dos RSU;</p> <p>Incentiva a triagem e reciclagem de materiais, uma vez que alguns deles não podem ser inseridos no incinerador;</p> <p>Não exige grandes áreas como o aterro, apenas a área da usina;</p> <p>Inexiste o chorume;</p> <p>Elimina emissões de CH₄;</p> <p>Gera significativa quantidade de energia elétrica, reduzindo a queima de combustíveis fósseis em termelétricas.</p>	<p>Necessita tratamento do lixo urbano para retirada de metais, vidro, redução de resíduos de alimentos e umidade, antes do envio para incineração;</p> <p>Emite grande quantidade de CO₂, mas tais emissões podem ser compensadas com as respectivas reduções nas termelétricas;</p> <p>Pode emitir poluentes com CO, Sox, Nox, material particulado, dioxinas e furanos, caso medidas mitigadoras não sejam tomadas.</p>

Fonte: Paro,A.C. et al (2008)

Henriques (2004) explica que:

[...] um processo de incineração não pode existir sem estar interconectado a um sistema tecnologicamente avançado de depuração de gases e de tratamento e recirculação dos líquidos de processo. Os gases efluentes de um incinerador carregam grandes quantidades de substâncias em concentrações muito acima dos limites das emissões legalmente permitidas e necessitam de tratamento físico/químico para remover e neutralizar poluentes provenientes do processo térmico e que além dos impactos citados, existem os impactos secundários que podem incluir odor dos resíduos, barulho, intrusão visual, vento espalhar o lixo, sobrecarga do tráfego, estigma social e atração de moscas e animal daninhos e os impactos em ecossistema pois planta de incinerador ocupará uma área de terra e isto resultará em uma perda e mudança de hábitat para espécies locais. Além disso, atividades de planta podem perturbar ecossistemas locais.

Resumindo podemos dizer que a utilização da incineração provoca os impactos ambientais apresentados na Tabela 9:

Tabela 9 - Impactos Ambientais do Método de Gerenciamento do Lixo – Incineração

AR	Emissões SO ₂ , NO _x , HCl, HF, NMVOC, CO, CO ₂ , N ₂ O, dioxinas, furanos e metais pesados (Zn, Pb, Cu, As))
ÁGUA	Deposição de substâncias perigosas nas águas superficiais
SOLO	Deposição de cinzas e escórias
PAISAGEM	Intrusão Visual e restrição de ocupação do solo em outros usos da terra
ECOSSISTEMA	Contaminação e acúmulo de substâncias tóxicas na cadeia alimentar
ÁREAS URBANAS	Exposição a substâncias perigosas

Fonte: Willians, Paul T. Et al, 2002

2.3.3.2 Aspectos Socioambientais

Aqui a necessidade do tratamento do lixo urbano para retirada de metais, vidro etc, apontado no item 4.1.2 como uma desvantagem para o sistema, aparece como vantagem. De acordo com o BRASIL, (2008), no campo social a reciclagem tem sido apontada freqüentemente como atividade geradora de emprego e renda, em especial para a população de renda mais baixa.

2.3.3.3 Aspectos Econômicos

De acordo com Rand (2000), a incineração de resíduos envolve elevados custos de investimento com os elevados custos de operação e manutenção. Assim, o custo do tratamento do líquido resultante por tonelada métrica de resíduos incinerados é bastante elevado em comparação com outra alternativa, geralmente o aterro.

Embora a opção de incineração tenha investimento inicial muito superior ao aterro sanitário, as tarifas de lixo dela decorrentes são menores, o que indica um menor custo de administração do lixo no longo prazo para o poder público. A opção de incineração elimina o RSU quase imediatamente, o que representa a redução do passivo em resíduos que o aterro representa, o que exige cuidados de até 40 anos após a deposição final dos resíduos. (PARO, A.C. et al, 2008)

Com relação aos custos, Pavan (2010), explica que os volumes de investimentos para a usina de incineração com recuperação de energia variam de US\$ 100.000 a US\$ 140.000/t/dia de RSU incinerado, produzindo de 500 a 600 KWh de energia elétrica/tonelada de RSU incinerado. E os valores de O&M encontram-se em cerca de US\$ 12/ t de RSU tratado. Estes valores oscilam em função do poder calorífico dos RSU e do equipamento de controle adotado.

Enquanto que SÃO PAULO (2006) apud Paro et al (2008), descreve que uma usina de incineração com capacidade de processamento de 500.000 toneladas RSU/ano, teria um custo inicial de investimento da ordem de R\$ 563 milhões e taxas de coleta de lixo variando entre R\$ 50,00 e R\$ 71,00/ton de lixo.

2.3.4 Custos Socioambientais

Para Rand (2000), é importante para determinar os custos sociais de resíduos tratamento, a fim de projetar a combinação mais adequada. Uma das maiores dificuldades em encontrar esses custos sociais é a estimativa dos custos ambientais associados eliminação dos resíduos. Isso requer uma avaliação da quantidade de poluição real que ocorre. E concluí que a avaliação econômica ou análise de ciclo de vida de eliminação de resíduos, por exemplo, poderia ser útil a este respeito.

Tolmasquim (2003) apud Landim e Azevedo (2006), complementa dizendo ser uma barreira na análise de viabilidade das diferentes opções tecnológicas tradicionais e alternativas para a geração de energia elétrica ou, ainda, para as opções (tradicionais ou alternativas) para a disposição e o aproveitamento dos resíduos sólidos a não-contabilização dos custos ambientais e da saúde.

De acordo com a Comissão Europeia - European Commission, DG Environment - COWI no estudo denominado A Study on the Economic Valuation of Environmental Externalities from Landfill Disposal and Incineration of Waste, os principais custos ou externalidades decorrentes da disposição de resíduos em aterro e incineração são apresentados na Tabela 9:

Tabela 10: Principais custos ou externalidades decorrentes da disposição de resíduos em aterro e incineração

NEGATIVO	Custos de emissões no ar, solo e água
POSITIVOS	Custos referentes a mitigação ou supressão de poluição. Ex. Recuperação de energia.

Fonte: COWI, 2000

Já Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo através do EMAE apresentou em 2011 uma quantificação dos custos ambientais e de saúde – (Tabela 10), esclarecendo que não foram considerados os seguintes impactos:

- Adensamento de tráfego: Maiores para aterros devido ao maior trajeto
- Passivos pós-encerramento: Praticamente inexistentes para UREs e muito grandes para aterros
- Odores, impacto visual, desvalorização no entorno (*disamenities*): Maiores para aterros
- Presença de vetores e organismos patogênicos: Praticamente exclusivos de aterros

Tabela 11: Totalização dos Custos

Custos marginais de danos para UTTR e aterro com capacidade de 1.200 t/dia (R\$ mil/ano)					
Compostos	Custo marginal da emissão (R\$/ton)	UTTR	Aterro (1)		
			Queima de Biogás com flare	Queima do biogás em motor ciclo Otto	
Escória	1,80	144	Não aplicável	Não aplicável	
Chorume	7,50	Não aplicável	794	794	
CO ₂	44,00	9.152	6.685	6.685	
Cinzas Leves	160,00	2.800	Não aplicável	Não aplicável	
CO	1.000,00	21	24	271	
Metano	1.352,00	5	13.259	13.259	
COV	2.710,00	3	149	149	
Nox	11.561,00	2.994	1.468	5.526	
HCl	14.300,00	73	51	51	
SO ₂	15.115,00	258	243	243	
MP	47.040,00	109	546	546	
Cd + Tl e compostos	443.000,00	2	Não disponível	Não disponível	
Pb+As+Co+Ni+Cr+Mn+Sb+Cu+ V e Compostos	830.000,00	37	Não disponível	Não disponível	
HF	5.190.000,00	1.868	1.868	1.868	
Hg e compostos	10.720.000,00	75	1.286	1.286	
Dioxinas e Furanos	1.670.000.000,00	11	351	73	
Custos anuais (R\$ mil/ano)		17.550	26.726	30.743	

(1) Biogás coletado: 50% do potencial total de geração

Fonte: EMAE (2011)

De acordo com os dados acima, verificamos a recuperação de energia através da incineração proporciona menor custo ambiental, salientando que os dados não contemplam todos os impactos.

2.4 A reciclagem e a geração de energia

Para Galvão et al (2003), tendo em vista os inúmeros trabalhos que ilustram a relação entre conservação de energia e o tratamento dos RSU e os benefícios da reciclagem de lixo para solução dos problemas acima citados, os setores de energia e de saneamento poderiam se relacionar, atuando de acordo com princípios de desenvolvimento sustentável. Existem materiais com altos potenciais de conservação de energia associada a sua reciclagem, como por exemplo, o plástico e o alumínio.

A produção de 1 tonelada de alumínio a partir da bauxita consome cerca de 16 MWh de energia, enquanto que, se for produzido a partir de alumínio reciclado, seriam necessários

apenas 0,8 MWh de energia. Na produção de uma tonelada de barras de aço, a utilização de sucata, consome cerca de 1,8 MWh de energia, enquanto que a produção a partir de minério de ferro, consome cerca de 6,8 MWh. Para o papel, a economia de energia é 714% e, no caso do vidro, a economia é de 13% (Kanayama, 1999 apud Galvão, L.C.R. et al, 2003).

Galvão (2003), destaca que a economia de energia resultante da reciclagem de lixo para o Brasil poderia ser cerca de 37 TWh anualmente, cerca de 14% do consumo de energia elétrica no Brasil em 1995, cerca de 270 TWh, considerando-se que o potencial hidráulico inventariado no Brasil, segundo Energético Nacional de 1996, é de 92,9 GWh ano, para produção de 37 TWh, uma usina de aproximadamente 12 GW, equivalente a uma Itaipu, é necessária, e continua:

Estes dados dão uma dimensão estimada da potencialidade de economia de energia. Há que ressaltar, no entanto, que a obtenção dessa economia não é trivial.

O aproveitamento de materiais recicláveis como insumo pelas indústrias representa redução no consumo de energia, denominada conservação de energia, em virtude de evitar a transformação dos recursos naturais em bens intermediários (polpa de celulose, lingotes de metais, resina plástica, insumos do vidro) a serem utilizados na obtenção de produtos. A seleção dos recicláveis pode ser feita depois de coletado o lixo, o que reduz a qualidade e dificulta ampliar a taxa de reciclabilidade atual ou após a coleta de resíduos já selecionados (coleta seletiva).

2.5 Legislação Pertinente

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da Norma Brasileira Registrada (NBR) 10004 (2004), de forma similar, define Resíduos Sólidos como sendo:

Resíduos no estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

O mesmo documento apresenta a seguinte classificação dos resíduos sólidos, quanto a seus riscos potenciais ao meio ambiente:

- Resíduos Classe I - se enquadram os resíduos perigosos, de acordo com os critérios de periculosidade estabelecidos pela Norma (inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade);
- Resíduos Classe IIA - resíduos não perigosos e não inertes, podendo apresentar propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Estão inclusos nesta categoria os papéis, papelão, restos de vegetais e outros;
- Resíduos Classe IIB - se enquadram os resíduos não perigosos e inertes. São as rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são decompostos facilmente.

A Constituição Federal, promulgada em 1988, estabelece em seu artigo 23, inciso VI, que “compete à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer das suas formas”. No artigo 24, estabelece a competência da União, dos Estados e do Distrito Federal em legislar concorrentemente sobre “(...) proteção do meio ambiente e controle da poluição” (inciso VI) e, no artigo 30, incisos I e II, estabelece que cabe, ainda ao poder público municipal “legislar sobre os assuntos de interesse local e suplementar a legislação federal e a estadual no que couber”.

- A Lei Federal n.º 6.938, de 31/8/81, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, institui a sistemática de Avaliação de Impacto Ambiental para atividades modificadoras ou potencialmente modificadoras da qualidade ambiental, com a criação da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA). A AIA é formada por um conjunto de procedimentos que visam assegurar que se realize exame sistemático dos potenciais impactos ambientais de uma atividade e de suas alternativas. Também no âmbito da Lei no 6.938/81 ficam instituídas as licenças a serem obtidas ao longo da existência das atividades modificadoras ou potencialmente modificadoras da qualidade ambiental (IPT/Cempre, 2000).
- A Lei de Crimes Ambientais (Brasil, n.º 9605 de fevereiro de 1998) dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e dá outras providências. Em seu artigo 54, parágrafo 2.º, inciso V, penaliza o lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos. No parágrafo 3.º do mesmo artigo, a lei penaliza quem deixar de adotar, quando assim o exigir a autoridade competente, medidas de precaução em caso de risco de dano ambiental grave ou irreparável.

- Resolução Conama n.º 005, de 31 de março de 1993 – Dispõe sobre o tratamento de resíduos gerados em estabelecimentos de saúde, portos e aeroportos e terminais ferroviários e rodoviários.
- Lei ordinária 787, de 1997 – Dispõe sobre o Programa de Prevenção de Contaminação por Resíduos Tóxicos, a ser promovido por empresas fabricantes de lâmpadas fluorescentes, de vapor de mercúrio, vapor de sódio e luz mista e dá outras providências;
- Resolução Conama n.º 237, de 19 de dezembro de 1997 – Estabelece norma geral sobre licenciamento ambiental, competências, listas de atividades sujeitas a licenciamento, etc;
- Resolução Conama n.º 257, de 30 de junho de 1999 – Define critérios de gerenciamento para destinação final ambientalmente adequada de pilhas e baterias, conforme especifica;
- Resolução Conama n.º 283/2001 – Dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde. Esta resolução visa aprimorar, atualizar e complementar os procedimentos contidos na Resolução Conama n.º 05/93 e estender as exigências às demais atividades que geram resíduos de serviços de saúde.
- Quando o assunto é tratamento térmico, temos a Resolução CONAMA n.º 316, publicada em 29 de outubro de 2002, disciplina os processos de tratamento térmico de resíduos e cadáveres, estabelece procedimentos operacionais, limites de emissão e critérios de desempenho, controle, tratamento e disposição final de efluentes resultantes destas atividades. Essa Resolução considera tratamento térmico como todo e qualquer processo cuja operação seja realizada acima da temperatura mínima de 800° C (art. 2º, inciso III).
- Os artigos 22, 23 e 24 desta Resolução referem-se ao tratamento dos resíduos de origem urbana:

Art. 22. O sistema de tratamento térmico de resíduos de origem urbana, ao ser implantado, deve atender os seguintes condicionantes, sem prejuízo de outras exigências estabelecidas no procedimento de licenciamento e legislações complementares:

I - área coberta para o recebimento de resíduos;

II - sistema de coleta e tratamento adequado do chorume.

Art. 23. Os resíduos de origem urbana, recebidos pelo sistema de tratamento térmico, deverão ter registro das informações relativas à área de origem e quantidade.

Parágrafo único. As câmaras deverão operar à temperatura mínima de oitocentos graus Celsius, e o tempo de residência do resíduo em seu interior não poderá ser inferior a um segundo.

Art. 24. A implantação do sistema de tratamento térmico de resíduos de origem urbana deve ser precedida da implementação de um programa de segregação de resíduos, em ação integrada com os responsáveis pelo sistema de coleta e de tratamento térmico, para fins de reciclagem ou reaproveitamento, de acordo com os planos municipais de gerenciamento de resíduos.

Por ser uma atividade com elevado potencial de impacto, foi estabelecido na Resolução n.º 316/02 a exigência de estudos, tanto para uma análise de alternativas tecnológicas, de acordo com o conceito de melhor técnica disponível (art.4), quanto para o processo de licenciamento das unidades de tratamento térmico de resíduos, como Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), análise de Risco, dentre outros (art. 26), estabelecendo também parâmetros de projeto, procedimentos operacionais, sistemas de monitoramento e limites máximos de emissão para os poluentes atmosféricos.

Fazem parte, ainda, da Resolução n.º 316/02, cinco anexos:

- Anexo I - Fatores de Equivalência de Toxicidade - FTEQ ou fatores tóxicos equivalentes para dioxinas e furanos;
 - Anexo 2 - Plano do Teste de Queima;
 - Anexo 3 - Plano de Contingência;
 - Anexo 4 - Plano de Emergência e
 - Anexo 5 - Plano de Desativação.
-
- Resolução CONAMA n.º 264, de 26 de agosto de 1999, que dispõe sobre o licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividade de co-processamento de resíduos na fabricação de cimento;
 - Resolução CONAMA n.º 283, de 12 de julho de 2001, que dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde;
 - Resolução CONAMA n.º 05/89 que estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar, instituiu o Programa Nacional de Qualidade do Ar – PRONAR e especificou as

diretrizes para a rede de monitoramento e inventário das fontes emissoras e poluentes atmosféricos. Ainda com relação à qualidade do ar;

- Resolução CONAMA n.º 03/90 definiu os padrões primários e secundários para SO₂
- (dióxido de enxofre), CO (monóxido de carbono), O₃ (ozônio), NO₂ (dióxido de nitrogênio), partículas em suspensão, partículas inaláveis e fumaça.

Lei nº 12.305/10 – Política Nacional de Resíduos Sólidos, aprovada em agosto de 2010, institui a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, e a logística reversa como forma de melhorar o aproveitamento de materiais e destinação correta de resíduos. A implementação da logística reversa será obrigatória na cadeia de produtos como agrotóxicos; pilhas e baterias; pneus; óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista e produtos eletroeletrônicos e seus componentes. A lei proíbe também a existência de lixões e catadores, entre outras práticas ainda comuns e o armazenamento dos materiais em aterro sanitário sem tratamento prévio a partir de 2014, requer o estabelecimento de metas e prazos para redução do volume de resíduos para disposição final, alçando o tratamento ao lixo como um dos principais desafios a serem enfrentados nos próximos anos pelas gestões municipais e estaduais.

3 METODOLOGIA

A recuperação de energia com a utilização de resíduos sólidos urbanos esta afeta a problemas que se caracterizam pela complexidade. Para serem resolvidos estes problemas necessitam de uma abordagem que permita acesso ao conhecimento de várias disciplinas simultaneamente, ou seja, uma abordagem multidisciplinar. Desta forma a metodologia proposta para o desenvolvimento desta monografia segue o modelo da abordagem sistêmica, que é capaz de levar em conta um conjunto das variáveis que caracterizam os problemas complexos, permitindo que o pesquisador trabalhe em um nível maior de subjetividade sem perder a tão necessária objetividade científica.

Donnadieu (2005) apud Neto e Leite (2010), define a abordagem sistêmica como uma nova disciplina que agrupa ações teóricas, práticas e metodológicas, relativa ao estudo daquilo que é conhecido como um problema complexo para ser estudado de forma reducionista.

Para verificar o modelo utilizado optou-se por realizar uma análise comparativa entre as duas tecnologias.

A teoria que norteou o estudo foi a de Dijkgraaf. e Vollebergh (2003), que descreve que a melhor opção para a disposição final dos resíduos sólidos é aquela que minimiza o custo social.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

A idéia deste estudo partiu da necessidade de se atender a Lei no. 12.305/10 – Política Nacional dos Resíduos Sólidos, que requer o estabelecimento de metas e prazos para a redução do volume de resíduos para a disposição final.

De acordo com a metodologia proposta, este estudo parte de uma comparação de duas tecnologias para o tratamento de RSU, onde foram estudados os aspectos ambientais, sociais e econômicos, assim como os custos ambientais para diante dos resultados obtidos, verificar qual a alternativa mais viável e adequada.

4.1 Identificação e Análise dos Impactos Ambientais

Os principais impactos ambientais verificados durante a análise foram considerados os impactos apresentados na Tabela 14:

A - Impactos no Ar

Tabela 12: Análise comparativa dos impactos atmosféricos

COMPONENTE	GDL	URE
Metano CH ₄ – Gás potencializador do efeito estufa	A ineficiência do processo permite que parte do metano gerado não seja aproveitado, estima-se o aproveitamento de 40%	Elimina as emissões de metano
Dioxido de Carbono – CO ₂	Gera em função da queima do metano	Emitir grande quantidade
Monoxido de Carbono – CO Emissão de odor	Gera devido a combustão	Gera devido a combustão
Dioxinas e Furanos	Não emitem	Podem emitir caso medidas mitigadoras não sejam tomadas

Fonte: da autora

Quando analisamos as duas tecnologias sob a ótica do impacto ambiental atmosférico, verificou-se que ambas tem grande potencial poluidor, mas enquanto no processo de incineração é possível mitigar ou até eliminar a emissão dos gases com a utilização de sistemas e tecnologias modernas de tratamento, aliadas a uma legislação mais restritiva.

No GDL tem-se que analisar as emissões de aterros, para as quais não existem regulamentações, especialmente no Brasil, que estabeleçam limites de emissões para gases liberados e as emissões decorrentes da recuperação, cujos limites devem ser respeitados.

B - Impactos na Água

Quando analisamos o GDL, temos que analisar que a disposição dos RSU não acontece somente em aterros sanitários, corretamente construídos, desta forma o chorume produzido, metais pesados etc, são os elementos causadores dos impactos ambientais.

C - Impactos no Solo

Tabela 13: Análise comparativa dos impactos no Solo

COMPONENTE	GDL	URE
Substâncias perigosas	A principal substância gerada é o lixiviado e o risco de vazamento.	As cinzas e escórias, que são os resultados do processo, aparecem como os geradores deste impacto e atigem entre 30% a 35% (em peso) do total de RSU.

Fonte: da autora

Com relação as cinzas e escórias, já existem estudos e alguns casos de utilização das mesmas na construção civil, como a vitrificação etc., ressalta-se que caso não sejam reaproveitadas, o destino destas cinzas e escórias são os aterros.

Um aterro sanitário, corretamente projetado e gerenciado, é ambientalmente benigno e juntamente com a recuperação de energia, reduz os impactos ambientais referentes ao chorume e gás de aterro. No entanto, desde que o lixiviado e o gás de aterro são gerados (o que não pode ser evitado em aterro), o aterro se coloca como uma ameaça ambiental, isto pode ser explicado, porque em algum momento, o lixiviado pode vazar do revestimento do aterro, seja durante a operação de aterro ativo ou durante o período de fechamento, resultando em algum grau de contaminação, outro problema é a incorporação de fissuras e falhas na impermeabilização, que podem canalizar os lixiviados para aquíferos de água no solo. Desta forma, nenhum sistema de coleta de gás de aterro pode efetivamente eliminar as emissões de

gases de aterros sanitários; impactos ambientais, por conseguinte, a partir de metano, dióxido de carbono e gases tóxicos são inevitáveis.

4.2 Identificação e Análise dos impactos socioambientais das duas tecnologias

Para as duas tecnologias, foram identificados os mesmos problemas: os catadores e a comunidade que tem na reciclagem do lixo a fonte para a sobrevivência.

No entanto, destaca-se que a perspectiva social também tem dimensões diferentes, pois ninguém quer arcar com os danos inerentes e inevitáveis da gestão de resíduos e desta forma, um dos pontos positivos dessas restrições é a possibilidade da criação de incentivos para a redução dos resíduos.

Outro aspecto identificado é a ocupação do solo, uma vez que a implantação de aterros necessita de uma área maior do que a necessária para a implantação de usinas de incineração.

Neste contexto, verifica-se que devido a falta de áreas disponíveis nos centros urbanos, os aterros estão sendo implantados em áreas distantes e em periferias das cidades, onde vive a população de baixa e com menor influência política para impedir a implantação de um empreendimento deste tipo. Já as usinas de recuperação de energia, que necessitam de área menor para a implantação, estão, na sua grande maioria, localizadas dentro dos centros urbanos, o que aumenta os problemas de implantação devido a pressão da comunidade local. No entanto, para serem eficientes, as usinas devem estar localizadas próximas a comunidade geradora de resíduos.

4.3 Identificação e Análise dos impactos econômicos das duas tecnologias

O sucesso dos processos de energia que usam os resíduos sólidos urbanos, depende da viabilidade econômica e atratividade dos métodos. Os custos do projeto dependem de uma ampla variedade de fatores, incluindo tamanho da instalação, tecnologias empregadas e do trabalho necessário para operar e fazer a manutenção das instalações. Das tecnologias estudadas a incineração é a mais madura e também segundo vários estudos, a mais cara.

Em vista dos altos custos associados à gestão de resíduos em geral e à incineração dos resíduos em particular, a redução das quantidades de resíduos gerados proporciona benefícios econômicos imediatos, sem falar sobre os benefícios ambientais associados. Naturalmente, quanto maior o preço que as pessoas tem que pagar para se livrar de seus resíduos, mais eles não têm incentivo para gerá-los.

Visando complementar este estudo, na sequência apresenta-se uma análise dos custos socioambientais.

4.4 Análise dos Custos Sociais e Ambientais

A análise dos custos ambientais e sociais, apresentada na sequência, foi elaborada com base nos dados da EMAE (2010) apresentada na Tabela 11 e da European Commission (2000) .

Durante a análise foram considerados os impactos elencados a seguir (Tabela 14):

Tabela 14 : Impactos considerados para a análise dos custos socioambientais

IMPACTOS	DESCRIÇÃO
Aquecimento Global	Verificado em plantas de incineração com recuperação de energia e na recuperação do metano gerado em aterros. Foram considerados: Dióxido de Carbono (CO ₂) e o Metano (CH ₄);
Poluição do Ar	Verificado em plantas de incineração com recuperação de energia e na recuperação do metano gerado em aterros. Foram considerados: Óxidos de Nitrogênio (Nox) e o Dióxido de Enxofre (SO ₂);
Poluição por lixiviado	O chorume, lixiviado que depende de vários fatores para a sua composição entre eles: geográfica, pluviometria, composição de resíduos, estação climática e operação do aterro;
Poluição por escórias e cinzas leves	Este impacto está diretamente relacionado com o processo de incineração;
Odores, impacto visual, desvalorização no entorno (disamenities)	Impactos sociais, relacionados com a implantação e operação dos empreendimentos
Redução da poluição	Impacto social e ambiental, decorrente do processo de recuperação de energia.

Fonte: da autora

Observando os impactos considerados, verificamos que a valoração destes, não pode ser considerada uma tarefa rápida e simples, isto pode explicar a falta de informações e dados a respeito.

5 CONCLUSÃO

Este estudo apresentou uma pesquisa sintética sobre a disposição de resíduos, a recuperação de energia e os impactos sociais e ambientais, incluindo os custos socioambientais.

Os dados disponíveis fornecem a possibilidade de análise das opções de eliminação do RSU, bem como dos impactos associados a cada um deles e o seu desempenho ambiental, econômico e social.

De acordo com o apresentado neste trabalho, a incineração é uma tecnologia com grande potencial em atender as exigências da Lei 12.305/10 – Política Nacional de Resíduos Sólidos, uma vez que possibilita a recuperação de um componente contido no resíduo e a redução do volume aliado ao baixo custo socioambiental mas, apesar da significativa vantagem apresentada sob a visão social e ambiental das URE sobre o GDL, o RSU não vai desaparecer, pode-se incinerar, reciclar, reutilizar, mas em algum momento os resíduos que terão de ser depositados em aterros.

Considerando os altos custos associados à gestão de resíduos em geral e à incineração dos resíduos em particular, no processo de incineração a redução das quantidades de resíduos gerados proporciona benefícios econômicos imediatos, sem falar na possibilidade de recuperar energia, na rápida inertização de resíduos, na forte redução do volume e da possibilidade de localizar os incineradores perto dos centros de geração de resíduos, levando a uma redução das necessidades de transporte.

Após a análise, concluí-se que além do fato de não estarem sendo considerados os custos social e ambiental na hora da decisão de se optar pela URE, o fato de no Brasil ainda existir espaço suficiente para a construção de aterros sanitários, fazem com que o custo de implantação seja o principal fator considerado, caso contrário, um movimento mais sério para a implantação de URE estaria ocorrendo.

6 REFERÊNCIAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, São Paulo, 2010.

ABNT (2004) Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 1004: Resíduos Sólidos – Classificação Rio de Janeiro, 2004.

BATERLINGS, H. Municipal solid waste management problems, an applied general equilibrium analysis, PhD thesis Wageningen University, 2003

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente; Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada(CEPEA USP), Estudo do potencial da geração de energia renovável proveniente dos "aterros sanitários" nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil Série Recursos Energéticos, 2004

BRASIL. Ministério de Minas e Energia,. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Nota Técnica DEN 06/08 – Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande – MS Série Recursos Energéticos, Brasília 2008

BRASIL, Presidência da República. Casa Civil – Subchefia de Assuntos Jurídicos. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Diário Oficial da União, Brasília, 03 de agosto de 2010.

CALDERONI, S. Os bilhões perdidos no lixo, 3ª ed. São Paulo:Ed. Humanitas, 1999

CAIXETA, D.M, Geração de energia elétrica a partir da incineração do lixo urbano: O caso de Campo Grande/MS, 2005.86 f..Monografia (Especialização em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável) Programa de Pós-Graduação do Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, 2005.

CNI (2007) - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). Matriz energética: cenários, oportunidades e desafios.– Brasília : CNI, 2007.

COELHO, S.T. et al . Aproveitamento energético dos resíduos sólidos. 2011- Terceiro Encontro Técnico Latino Americano de Alto Nível Sobre Gestão de Resíduos Sólidos. Disponível em:
http://cenbio.iee.usp.br/download/documentos/apresentacoes/cetesb2011_suani.pdf

DIAS,S.M.F Avaliação de programas de educação ambiental voltados para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, 2003. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) Programa de Pós-Graduação em Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2003.

DIJKGRAAF , E e VOLLEBERGH, H.R.J. Burn or Bury? A Social Cost Comparison of Final Waste Disposal Methods, Fondazione Eni Enrico Mattei. Disponível em <
http://www.feem.it/web/attiv/_wp.htm> Acesso em: 20.10.2011

DONNADIEU, G. et al. L' approche systémique: de quoi s'agit-il?. 2005. Disponível em:
<<http://www.afscet.asso.fr/SystemicApproach.pdf> >. Acesso em: 28.01.2012.

EUROPEAN COMISSION DG ENVIRNMENT- COWI- A Study on Economic Valuation of Environment Externalities from Landfill Disposal and Incineration of Waste, 2000 – Disponível em:

http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/econ_eva_landfill_report.pdf Acesso em 21.11.2010

EXXON MOBIL Panorama Energético – perspectivas para 2030 (2011),disponível em:
Acesso em 15.01.2012

GALVÃO, L.C.R. et al Energia de resíduos sólidos como mecanismo de desenvolvimento limpo - GEPEA - USP. Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

GODLOVE, C - Metano para mercados : Criando condições para projetos de energia a partir do Biogás ao redor do mundo.2010. Disponível em:
http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/biogas/file/cursos_seminarios/gas_aterro/downloads/cgodlove_m2m_pres.pdf

HENRIQUES, R.M. Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica, 2004. 184 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro-RJ, 2004.

LANDIM, A.L.P.F e AZEVEDO, L.P. O aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários: unindo o inútil ao sustentável, BNDES setorial n.27, 2008

LEME, M.M.V. Avaliação das opções tecnológicas para geração de energia através dos resíduos sólidos urbanos: estudo de caso. 2010. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia da Universidade Federal de Itajubá-MG, 2010.

MACHADO, J. G. Gestão ambiental na administração pública: as mudanças dos padrões de consumo "começa em casa". 2002. 125 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável, área de concentração Gestão e Política Ambiental) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

MARANHO, A.S. Potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos para Bauru e região. 2008. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista – UNESP – Faculdade de Engenharia, 2008.

MATTOS, T.F.L. Avaliação da viabilidade de reintegração de resíduos de PET pós-consumo ao meio produtivo, 2009. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia Ambiental da Universidade de São Paulo-SP, 2009.

MESQUITA JUNIOR, J.M., Gestão integrada de resíduos sólidos, in Mecanismo de Desenvolvimento Limpo aplicado a resíduos sólidos – Rio de Janeiro: IBAM, 2007.

MONTEIRO, J.H.P.et al Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos; coordenação técnica Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MORETTO, L. et al, Administração pública municipal de resíduos sólidos em Santa Maria – RS: uma reflexão ambiental. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental REGET-CT/UFSM, v(1), nº1, p. 99-114, 2010

NETO, A.L e LEITE, M.S. (2010),A Abordagem sistêmica na pesquisa em Engenharia de produção., PRODUÇÃO v.20 n.1 jan./mar. 2010 p. 1-14

PAVAN, M.C.O. Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil, 2010.186 f. Tese (Doutorado em Energia) Programa de Pós-Graduação em Energia EP/FEA/IEE/ IF da Universidade de São Paulo-SP, 2010.

PARO, A.C. et al Estudo Comparativo para o tratamento de resíduos sólidos urbanos: aterros sanitários x incineração.Revista Brasileira de Energia, v.14, n. 2, p.113-125, 2º. Sem 2008

PECORA, V. et al . Aproveitamento do biogás proveniente dos resíduos sólidos urbanos para geração de energia elétrica: Estudo de Caso em São Paulo. Disponível em:
http://cenbio.iee.usp.br/download/publicacoes/congbioen_pecora.pdf

RAND, T. et al Municipal solid waste incineration – A decision maker’s guide, Washington, 2000, World Bank technical paper; no. 462, 2000.

SÃO PAULO. SECRETARIA DO VERDE E MEIO AMBIENTE Empresa Metropolitana de Águas e Energia (EMAE), Quantificação de Custos Ambientais e de Saúde – Unidades de Recuperação Energética e Aterros Sanitários, 2011

SCHALCH, V. et al Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos, Apostila do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002.

SILVA, C.L. et al, Energia do Lixo: uma avaliação da viabilidade do uso do biogás a partir de resíduos sólidos urbanos in IV ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 2010, Brasília, DF, 2010.

SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA, R. M. Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar, 2000. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz,2000.

TAHERZADEH, M. et al Energy Generation from Wastes - A collaboration subject between Sweden and Nigeria. School of Engineering, University of Borås, SWEDEN in Annual congress of Nigerian Academy of Engineering, 2010

THOMÉ, A.D. Sistemática para a avaliação de custos de construção de pequenas centrais hidrelétricas, 2004, 118 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia) Programa de Mestrado Profissionalizante em Engenharia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004

WILLIAMS, P.T. Environmental and Health Impact of Solid Waste Management Activities The Royal Society of Chemistry, UK 2002

WILLUMSEN, H.C. Energy Recovery from landifill gas in Denmark and Worldwide, 2001, LGF Consult, Houkjasojen 9, DK-8800 Vilborg, Denmark, 2001

WINTER, L.F.O. Gestão de resíduos sólidos: Recuperação de energia por meio de incineração e proposta de localização de usina em Juiz de Fora – MG, 2011. 58 f. Dissertação (Graduação em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Juiz de Fora, MG, 2011.

ZANTA, V.M. ; FERREIRA, C. F. A. . Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos urbanos. In: BORGES, A.C., ET AL.. (Org.). Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte. 1 ed. Sao Carlos SP: Rima Artes e Textos, 2003, v. 1, p. 1-18.