

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CONTABILIDADE E ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA
MESTRADO EM ECONOMIA DO DESENVOLVIMENTO

MARCOS VINICIUS GODECKE

**ESTUDO DAS ALTERNATIVAS DE VALORIZAÇÃO ECONÔMICA PARA A
SUSTENTABILIDADE DA GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS NO BRASIL**

Porto Alegre

2010

MARCOS VINICIUS GODECKE

**ESTUDO DAS ALTERNATIVAS DE VALORIZAÇÃO ECONÔMICA PARA A
SUSTENTABILIDADE DA GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS NO BRASIL**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a
obtenção do grau de mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Economia do Desenvolvimento da
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Orientador: Dr. Osmar Tomaz de Souza

Porto Alegre

2010

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G579e Godecke, Marcos Vinicius
Estudo das alternativas de valorização econômica para a sustentabilidade da gestão de resíduos urbanos no Brasil. / Marcos Vinicius Godecke. – Porto Alegre, 2010.
185 f.

Dissertação (Mestrado em Economia do Desenvolvimento) – Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia, PUCRS.
Orientação: Prof. Dr. Osmar Tomaz de Souza.

1. Economia. 2. Resíduos Sólidos - Aproveitamento. 3. Resíduos Sólidos - Gestão. 4. Esgotos. 5. Fontes Renováveis de Energia. 6. Desenvolvimento Sustentável – Brasil. I. Souza, Osmar Tomaz de. II. Título.

**CDD 363.5
628.445**

Ficha elaborada pela bibliotecária Cíntia Borges Greff CRB 10/1437

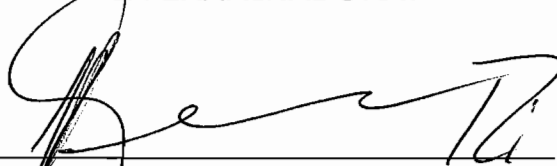
Marcos Vinícius Godecke

**ESTUDO DAS ALTERNATIVAS DE VALORIZAÇÃO ECONÔMICA
PARA A SUSTENTABILIDADE DA GESTÃO DE RESÍDUOS
URBANOS NO BRASIL.**

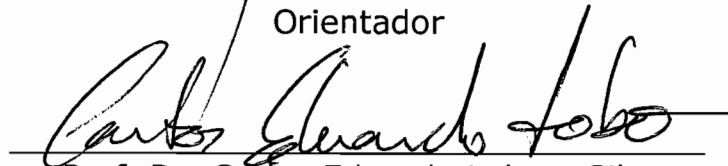
Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia, pelo Mestrado em Economia do Desenvolvimento da Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Aprovada em 06 de janeiro de 2010, pela Banca Examinadora.

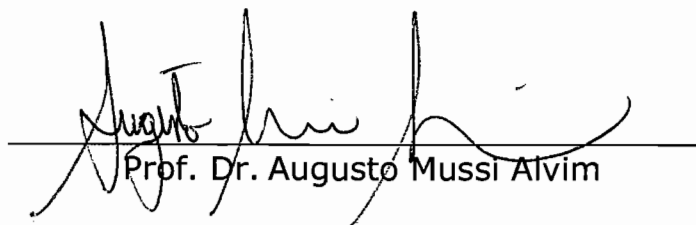
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Osmar Tomaz de Souza
Orientador



Prof. Dr. Carlos Eduardo Lobo e Silva



Prof. Dr. Augusto Mussi Alvim



Prof. Dr. Angélica Massuquetti

AGRADECIMENTOS

Agradeço...

- ... aos pais, Rudi e Jacira, pela educação e apoio.
- ... à esposa e filhos, Marli, Paula e Bruno, pelo apoio e paciência.
- ... aos colegas do BB-Ag.Av.Borges, especialmente ao Lucas, pelo apoio e companheirismo.
- ... a profissionais das instituições DMLU/PMPA, Metroplan, FEE, Usinaverde, PUCRS, Eletrosul, RGE e BB, pelas informações de pesquisa.
- ... aos colegas do mestrado, pelas sugestões e estímulo.
- ... aos professores do curso, pelos ensinamentos, orientação e apoio. Em especial ao Augusto e Cadu, pelas contribuições na banca de projeto.
- ... especialmente ao professor Osmar, pela atenção e qualidade na orientação deste trabalho.

“O melhor governo é o que governa menos, porque seu povo se autodisciplina”

Thomas Jefferson (1743 – 1826)

RESUMO

A partir da constatação de que a dinâmica do crescimento econômico vigente está gerando volumes cada vez maiores de resíduos, cuja destinação inadequada vem provocando danos insustentáveis ao bem-estar social e à qualidade ambiental, esta dissertação, utilizando pesquisa bibliográfica, estudou as alternativas de valorização econômica proporcionadas pelos resíduos sólidos urbanos e esgotos, buscando a sustentabilidade da sua gestão, sob os aspectos financeiros, ambientais e sociais.

No estudo, a situação atual da gestão de resíduos urbanos é contextualizada à luz do embate entre o crescimento econômico de visão neoclássica vigente na segunda metade do século XX, e os atuais conceitos relativos ao desenvolvimento sustentável. Onde fica evidenciada a necessidade da superação de barreiras de ordem cultural, ética e política, para a evolução do quadro atual, danoso à saúde humana, ao ambiente, e ao clima, em face da emissão de gases de efeito estufa pelos lixões e aterros precários.

A busca da valorização econômica dos resíduos foi verificada em cada etapa do processo: ações de prevenção e redução na geração; redução de despesas pela racionalização na coleta e transporte; economia ambiental e energética pelo incremento no reuso, reciclagem e compostagem; aproveitamento energético dos esgotos e resíduos sólidos pelos processos de geração energética, através da incineração, digestão anaeróbia e aproveitamento do biogás oriundo dos aterros sanitários; transformação dos aterros sanitários em parques ecológicos. Assim como exemplos de instrumentos de política ambiental aplicáveis a cada caso.

O estudo também abordou a obtenção de receitas pela comercialização de créditos de carbono resultantes da mitigação na geração de gases de efeito estufa pelos resíduos; e, em face de sua condição de fonte renovável de energia elétrica, foi verificado o potencial dos resíduos urbanos no cenário energético brasileiro, e a comparação das emissões das usinas à lixo, em relação àquelas baseadas em combustíveis fósseis.

Com o objetivo de comparar as diversas rotas tecnológicas disponíveis, a dissertação trouxe o resultado obtido por diversos autores, concluindo que a incineração pode ser a melhor alternativa quando o objetivo for a maximização da geração elétrica e calor; a digestão anaeróbia pode ser preferível quando a ênfase estiver na sustentabilidade ambiental; e o biogás de aterro, nos casos onde a disponibilidade para investimentos for limitada.

Por se tratar de estudo de escopo amplo, pode servir de base para novos estudos visando o aprofundamento e a particularização das conclusões às situações locais.

Palavras-chave: resíduos urbanos, esgotos, gestão de resíduos, fontes renováveis de energia.

ABSTRACT

After realizing that the dynamics of the current economic growth is creating ever-increasing volumes of waste, and improper disposal of which has been causing harm to unsustainable social welfare and environmental quality, this work, using literature in the area, studied the options for economic recovery using urban solid waste and sewage, seeking self sustainable management, in financial, environmental and social matters.

In the study, the current situation of urban waste management is contextualized under the scope of the clash between the economic growth of neoclassical current in the second half of the twentieth century and current concepts of sustainable development. It is when the need to overcome cultural, ethical and political barriers becomes evident, for the evolution of the current moment, harmful to human health, environment and weather, in face of the issue of greenhouse gas emissions by dumps and precarious landfills.

The quest for economic value of waste was verified at each stage of the process: prevention and reduction actions in production, cost reduction by rationalizing collection and transport, environment and energy savings by increasing reuse, recycling and composting, taking energy advantage from sewage and solid waste through energy generation by incineration, anaerobic digestion and the use of biogas from landfills; changing landfills into ecological parks, so as examples of environment policy instruments which can be used in each case.

The study also addressed profits from trading carbon credits resulted from mitigation on generation of greenhouse gases created by waste, and, given its status as a renewable source of electricity, a potential was verified in urban waste in the Brazilian power producing scenario, and the comparison of power plants' emissions as opposed to garbage's, compared to those based on fossil fuels.

In order to compare the many technology routes available, the dissertation brought the results obtained by several authors. The conclusion is that incineration may be the best alternative when the objective is the maximization of power generation and heat, the anaerobic digestion may be preferable when the emphasis is on environmental sustainability, and biogas from landfill in cases where investments availability are scarce.

As this study has a broad scope, it can serve as a basis for new studies aimed at deepening and particularizing the conclusions to local situations.

Keywords: municipal solid waste, sewage, waste management, renewable energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Elementos da GRU	26
Figura 2 – Racionalização no transporte de resíduos	77
Figura 3 – Otimização de carregamento para o transporte de resíduos	77
Figura 4 – Rotas de tratamento e depósito de lamas de depuração	91
Figura 5 – Rotas tecnológicas da conversão energética da biomassa.....	95
Figura 6 – Fluxo de produção do CDR	105

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Geração de RSU por habitante em diversos países	33
Gráfico 2 – IDH <i>versus</i> lixo <i>per capita</i>	34
Gráfico 3 – PIB <i>versus</i> lixo <i>per capita</i>	35
Gráfico 4 – Rotas de destinação final para os RSU na UE em 2006, em (%)	39
Gráfico 5 – Evolução dos índices de reciclagem no Brasil	41
Gráfico 6 – Fontes de emissões de GEE a nível mundial em 2000	56
Gráfico 7 – Geração mundial de energia associada com a emissão de dióxido de carbono, por tipo de combustível	58
Gráfico 8 – Balanço das fontes nos leilões de energia nova	59
Gráfico 9 – GEE na geração de 1 kWh de eletricidade, por tipo de tratamento.....	63
Gráfico 10 – Reciclagem versus incineração por tonelada de RSU	81
Gráfico 11 – Composição simplificada do GDL ao longo do tempo, em (%)	110
Gráfico 12 – Volumes de gases produzidos por um aterro de 5 anos	110
Gráfico 13 – Participação dos países em quantidade de projetos MDL registrados	125
Gráfico 14 – Participação dos países na quantidade de CER emitidos	125
Gráfico 15 – Tendência da geração mundial de eletricidade, por tipo de fonte, até 2030	130

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens dos instrumentos de comando e controle (C&C).....	22
Quadro 2 – Métodos diretos e indiretos de valoração ambiental	24
Quadro 3 – Princípios balizadores da GRU	30
Quadro 4 – Resultados do DSAE 2006	47
Quadro 5 – Microvetores e seu tempo de sobrevivência no lixo	51
Quadro 6 – Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado – DRSAL.....	52
Quadro 7 – Metais pesados em eletrônicos	54
Quadro 8 – Principais poluentes do ar e seus sintomas	60
Quadro 9 – Destaques da Lei 11.445/07	70
Quadro 10 – Lamas de depuração para uso na agricultura	87
Quadro 11 – Incineração de lamas de depuração	92
Quadro 12 – Parâmetros do processo de digestão anaeróbica	97
Quadro 13 – Vantagens e desvantagens da digestão anaeróbica	97
Quadro 14 – Algumas das tecnologias mais utilizadas na digestão anaeróbica	98
Quadro 15 – Parâmetros para a escolha da tecnologia de geração elétrica a partir do biogás .	98
Quadro 16 – Descrição do funcionamento de uma ULE.....	101
Quadro 17 – Consórcios intermunicipais para gestão de resíduos	108
Quadro 18 – Instrumentos diretos de incentivo às E-FER	115
Quadro 19 – Metodologias MDL para escopos setoriais de resíduos e energia renovável, em maio de 2009.....	123
Quadro 20 – Estudos comparativos de rotas para destinação dos RSU e esgotos	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Destino dos RSU em diversos países	35
Tabela 2 – Quantidades geradas e coletadas de RSU por região brasileira em 2008	37
Tabela 3 – Destinação final dos RSU coletados nos municípios, por região brasileira, em 2007.....	38
Tabela 4 – Esgotamento sanitário de municípios por região – 2000	47
Tabela 5 – Valores históricos comprometidos e desembolsados em iniciativas de saneamento básico	49
Tabela 6 – Estimativa das emissões de metano no Brasil	57
Tabela 7 – Emissões de CO ₂ evitadas pela WTE Brésicia por tonelada de RSU	62
Tabela 8 – Comparação entre as emissões da WTE Brésicia com a legislação europeia.....	65
Tabela 9 – Comparação entre as emissões de ULE Usinaverde com a legislação brasileira e europeia	66
Tabela 10 – Reciclagem <i>versus</i> incineração por tipo de material	81
Tabela 11 – Composição típica dos gases de saída das usinas ULE	102
Tabela 12 – Oferta Interna de Energia – participação (%) por fonte	128
Tabela 13 – Oferta interna de energia elétrica de 2006 a 2008, por fonte	130
Tabela 14 – Oferta interna de energia elétrica de 2006 a 2008, por fonte	131
Tabela 15 – Empreendimentos geradores de energia elétrica em operação no Brasil, por tipo de fonte, em outubro de 2009	132
Tabela 16 – Potencial de geração de eletricidade pelos RSU no Brasil pelo PNE 2030.....	134
Tabela 17 – Potencial de geração de eletricidade pelos RSU no Brasil, segundo o PDE 2008/2017, em MW médio.....	135
Tabela 18 – Dados comparativos entre rotas de geração elétrica pelos resíduos	139
Tabela 19 – Emissões evitadas pelas rotas de geração elétrica pelos resíduos	140

LISTA DE SIGLAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACB – Análise custo-benefício
ACV – Análise do ciclo de vida
ADM – Análise de decisão multicritério
AIDIS – Asociación Interamericana de ingeniería Sanitaria y Ambiental
AND – Autoridade Nacional Designada
ANG – Aterros não gerenciados
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
B.E.M. – Biomassa – Energia – Materiais
C&C – Instrumentos de comando e controle
C&D – Resíduos de construção e demolição
CAWDREC - Caw Durham Regional Environment Council
CDR – Combustível derivado de resíduos
CEMPRE – Compromisso Empresarial para a Reciclagem
CER – Certificados de Reduções de Emissões ou Certified Emissions Reduction
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CEWEP – Confederation of European Waste-to-Energy Plants
CNPE – Conselho Nacional de Política Energética
DA – Digestão Anaeróbica
DCP – Documento de Concepção de Projeto
E-FER – Fontes de energia elétrica renováveis
EAI – Environmental Assessment Institute
EfW – Energy from waste
EIA – Energy Information Administration
ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S/A
EMAE – Empresa Metropolitana de Águas e Energia S/A
EPIC – Environment and Plastics Industry Council
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
ICB – Índice custo-benefício
IPCC – Intergovernmental Panel On Climate Change
ISWA – International Solid Waste Management Association

FIT – Feed-in Tariffs
GDL – Gás do Lixo
GEE – Gases de Efeito Estufa
GRU – Gestão de resíduos urbanos
GWP – Potencial de aquecimento global dos GEE
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
ISWA – International Solid Waste Association
IWSA – Integrated Waste Services Association
LDRS – Local de disposição de resíduos sólidos
MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia
MME – Ministério de Minas e Energia
ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU – Organização das Nações Unidas
OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development
PMPA – Prefeitura Municipal de Porto Alegre
PPP – Parcerias público-privadas
REIDI – Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infra-Estrutura
RSS – resíduos de serviços de saúde
RSU – Resíduos sólidos urbanos
SDR – Sistema depósito-retorno
SIN – Sistema Interligado Nacional
UE – União Europeia
UHE – Usinas hidrelétricas
ULE – Usinas lixo-energia
UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change
UTE – Usinas termelétricas
WtE – Waste-to-energy

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	15
1 A GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS NO EMBATE ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO E SUSTENTABILIDADE	20
1.1 Crise ambiental: o dilema entre o crescimento econômico e a sustentabilidade	20
1.2 A gestão de resíduos sólidos e esgotos urbanos.....	25
1.3 A situação atual e barreiras relativas aos resíduos sólidos no Brasil	32
1.4 A contextualização dos esgotos brasileiros.....	46
1.5 Malefícios associados aos resíduos.....	51
1.5.1 Problemas decorrentes da destinação incorreta dos resíduos sólidos urbanos e esgotos .	51
1.5.2 Malefícios das usinas termelétricas versus usinas lixo-energia	57
1.6 Instrumentos de comando e controle brasileiros para a gestão de resíduos.....	67
2 A BUSCA DE SUSTENTABILIDADE NAS ETAPAS DA GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS	72
2.1 Minimização	72
2.2 Coleta e transporte	75
2.3 Reuso, reciclagem e compostagem.....	78
2.4 Aproveitamento energético dos esgotos.....	89
2.5 Geração de energia a partir dos resíduos sólidos urbanos	94
2.5.1 Conversão bioquímica pela digestão anaeróbica.....	96
2.5.2 Energia pela conversão termoquímica.....	100
2.6 Aterros e aproveitamento energético do biogás	106
2.7 Instrumentos econômicos de apoio à geração energética pelos resíduos	114
3 ALTERNATIVAS DE VALORIZAÇÃO ECONÔMICA DOS RESÍDUOS.....	120
3.1 O mecanismo de desenvolvimento limpo como elemento de sustentabilidade para a gestão de resíduos urbanos brasileira	120
3.2 A inserção da energia dos resíduos no mercado elétrico brasileiro	128
3.3 Estudos comparativos das alternativas de recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos e esgotos	136
CONCLUSÕES	149
REFERÊNCIAS	159

INTRODUÇÃO

O século XX apresentou um expressivo crescimento na população mundial, de cerca de 1,6 bilhões em 1900, para 6,6 bilhões de habitantes em 2007, todos demandando os recursos naturais do planeta, e produzindo resíduos, de forma mal distribuída, face à concentração da população nas áreas urbanas, ocorrida no período. Na América Latina, por exemplo, o aumento da população nas cidades foi de 60% no período de 1985 a 2005, alcançando 76,5% da população total (AIDIS, 2006). Paralelamente aos movimentos populacionais, ocorreu a predominância do crescimento econômico baseado em princípios da teoria neoclássica, que considera os limites da disponibilidade de recursos naturais passíveis de superação pelo progresso técnico, capital e trabalho, considerando injustificáveis, do ponto de vista da maximização do crescimento econômico, preocupações com o meio ambiente. Foram anos de intenso desenvolvimento industrial e aumento na renda *per capita*, mas de grande deterioração ambiental onde predominaram as teorias de *marketing*, de incentivo ao consumo e descarte. A imensa geração de resíduos resultante desses aspectos conjunturais, que por não ter uma destinação correta, acabam por gerar diversas externalidades negativas, que demandam soluções criativas para uma sua reversão.

A estimativa da quantidade coletada de resíduos sólidos de origem industrial e urbana a nível mundial, no ano de 2004, pode ter atingido 4 bilhões de toneladas. No Brasil foram gerados 61,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) ao longo do ano de 2007, que resultaram numa média diária de 1,106 kg por habitante, cuja destinação é bastante insatisfatória, pois quase a metade (45,1%) dos municípios brasileiros ainda direciona seus resíduos para aterros precários ou lixões (ABRELPE, 2008).

Paralelamente aos resíduos sólidos, a geração de esgotos também apresenta aumentos substanciais de geração. No Japão, por exemplo, a produção de lodo de esgoto cresceu de 244 para 414 milhões de m³ entre 1990 e 2004, num incremento de 170% em apenas 14 anos (Hong et al., 2008). O incremento na geração de esgotos pode ser estimado a partir da água fornecida para consumo, que apresentou uma taxa média de crescimento de 3,3% a.a. no período de 2003 a 2006 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007). Também neste caso a má destinação é o problema, pois o último senso brasileiro (IBGE, 2000) levantou que 47,8% dos municípios brasileiros não possuíam rede de esgotamento sanitário, e apenas 20,2% apresentavam algum sistema de tratamento para as águas servidas, sendo inexistente o seu aproveitamento energético.

A destinação inadequada dos esgotos e RSU trazem inúmeras conseqüências, pois lançados ao ambiente, além de gerarem odores desagradáveis, também produzem perdas econômicas, pela desvalorização dos imóveis próximos. Provocam a proliferação de vetores de doenças e a contaminação do meio ambiente pelos lixiviados. O gás metano, responsável por cerca de 14% do efeito estufa terrestre, tem aproximadamente 25% da sua origem na decomposição da fração orgânica dos resíduos (STEIN, 2006). O Brasil é o 5º país mais populoso do mundo, e está entre os 10 maiores emissores mundiais de gases de efeito estufa (GEE) pelo setor de resíduos (MCKINSEY & COMPANY, [2009]).

Os malefícios causados pelos resíduos estão presentes principalmente nos países em desenvolvimento, como o Brasil, onde existem barreiras de toda ordem para o desenvolvimento da gestão de resíduos urbanos (GRU), que freqüentemente apresenta um ciclo vicioso: a falta de recursos para investimentos não permite a prestação de serviços com qualidade, fato que inibe a prática de uma tarifa adequada, que leva a recursos financeiros insuficientes para a melhoria na qualidade dos serviços (MOREIRA, 2006). Além dos serviços de lixo e esgoto exigirem pesados investimentos, também ocorre escassez de áreas disponíveis e adequadas para a implantação de aterros sanitários, que acabam instalados em locais cada vez mais distantes dos centros urbanos, agravando os custos ambientais e financeiros face o transporte. No estado de São Paulo, por exemplo, os municípios do litoral norte chegam a transportar o lixo por até 120 km. A cidade de São Paulo, que gera cerca de 15 mil toneladas diárias de RSU, leva 90% do seu lixo para fora do município, por falta de espaço para aterramento local (SEM ATERROS..., 2009). Também, via de regra, não existe interação entre os gestores dos resíduos sólidos com aqueles que administram os serviços de esgotos, impedindo a ocorrência de racionalizações e sinergia de ações integradas. Ocorre pouca priorização da população para investimentos em saneamento, conforme constatação da pesquisa Instituto Trata Brasil (2009), onde apenas 2% dos entrevistados consideraram as condições de esgoto, quando escolheram seu candidato nas últimas eleições municipais. Talvez por conseqüência, a classe política também não privilegia esses serviços, haja vista que desde 1993 tramita no Congresso Nacional o projeto que pretende instituir uma política nacional para os resíduos sólidos (BRASIL, 1991).

Mas os resíduos, ao invés de serem percebidos apenas como fonte de despesas para os governos e concessionárias, poderiam ser vistos como matéria-prima fora do lugar, e o não aproveitamento do seu potencial, seja para reciclagem, compostagem ou geração energética, como dinheiro jogado fora. Segundo Calderoni (1997, apud Oliveira, 2000), o ganho monetário pela redução na extração de materiais utilizados para a produção de vidro, papel,

plástico, e latas de alumínio e aço alcançava, à época, uma economia de R\$ 3,4 bilhões por ano, além de reduzir os danos ambientais e gerar ganhos sociais pelo aumento dos empregos e renda. Segundo MME (2008e), o potencial de conservação de energia elétrica contido na reciclagem dos RSU brasileiros é da ordem de 7.700 MW médios, equivalentes à potência instalada de 14.000 MW em usinas hidrelétricas. Sob este ponto de vista, a energia contida em uma tonelada de lixo permite uma geração superior a 500 kWh de eletricidade, num potencial energético que supera um barril de petróleo (EfW WORKING GROUP, 2003).

Trazendo a questão dos resíduos à luz dos conceitos de desenvolvimento sustentável, surge o questionamento sobre as soluções que permitiriam à gestão dos resíduos satisfazer simultaneamente aspectos de ordem econômica, social e ambiental. Para tanto, Azambuja et al. (1998) recomenda que a GRU seja entendida como atividade econômica, com perfeito equilíbrio entre despesas e receitas, e propõe como desafio a busca de soluções, técnica e ambientalmente seguras, adaptadas à realidade econômica de cada região. A resposta a este desafio implica na consideração dos resíduos sólidos e esgotos como *players* num cenário de necessidade de descarbonização das economias, face o aquecimento global, combinado com a perspectiva de aumentos na demanda mundial por energia, estimada como da ordem de 50% até 2030 (BALL, 2007). Importante também é o estímulo à utilização da energia dos resíduos pelos países em desenvolvimento, proporcionada pela remuneração proveniente do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), oriundo do Protocolo de Quioto, que pode aumentar a competitividade da energia pelos resíduos, que, segundo a paulista Empresa Metropolitana de Águas e Energia S/A (EMAE), já apresenta capacidade para concorrer em custos com a energia eólica (CREDENTIO et al., 2009).

Além da busca por receitas, a sustentabilidade da GRU pode focar também a racionalização de custos em todas as etapas do processo: desde a minimização; coleta e transporte; reuso, reciclagem e compostagem; geração energética; até a disposição final. E envolve a utilização dos diversos mecanismos de política ambiental, incluindo aqueles ligados à legislação, como também os instrumentos econômicos e de comunicação, que podem ser aplicados no âmbito direto da gestão de resíduos, ou de forma indireta, através de instrumentos de estímulo às diversas fontes renováveis de energia elétrica (E-FER). E podem abranger não só o aproveitamento isolado dos RSU ou esgotos, mas estes de forma integrada, com a otimização do rendimento pelo aproveitamento combinado de suas características.

Na busca da resposta para a questão central de como dar sustentabilidade à GRU, o objetivo geral deste trabalho foi comparar as possibilidades de geração de receitas e identificar oportunidades para a redução de custos, existentes na sua operacionalização. Ou

seja, perceber a GRU como atividade econômica, de modo a minimizar necessidade de cobrança pela prestação dos serviços de RSU e esgotos, em uma atuação adequada à preservação ambiental, e com a geração de benefícios sociais, especialmente às populações de baixa renda.

O atingimento do objetivo geral resultou da realização das seguintes etapas de pesquisa, que se constituíram em objetivos específicos: (1) contextualizar a GRU, conhecer a situação atual da gestão de resíduos brasileira e os malefícios decorrentes dos tratamentos incorretos dispendidos ao lixo e esgoto urbanos, bem como os riscos das usinas termelétricas à lixo; (2) estudar as possibilidades associadas à redução de custos e valorização energética nas diversas etapas da GRU; (3) conhecer o mecanismo de obtenção de receitas oferecido pelo mercado de créditos de carbono e o potencial da geração elétrica pelos resíduos; além de (4) conhecer as conclusões obtidas nos estudos científicos que analisaram as diversas destinações dos resíduos, visando a obtenção de uma visão mais abrangente das diversas alternativas de recuperação energética e destinação final.

A metodologia adotada foi a utilização de entrevistas, contatos por e-mail e pesquisa bibliográfica. As entrevistas e contatos pela internet ocorreram com gestores, pesquisadores e técnicos ligados a órgãos públicos estaduais e municipais, além de empresas de energia e de resíduos, visando um melhor conhecimento da situação atual brasileira, tanto com relação à contextualização da destinação dada dos resíduos, como para um melhor entendimento dos obstáculos à sustentabilidade da GRU. Permitiram delinear o campo deste estudo e a obtenção de materiais de pesquisa não publicados, porém não tiveram um formato padrão, e não foram trazidas diretamente para o corpo do texto. As instituições contatadas foram o Departamento Municipal de Limpeza Urbana da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (DMLU/PMPA); a Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional (METROPLAN) e a Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser (FEE), ligadas ao governo do Rio Grande do Sul; a Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS); o Banco do Brasil S/A; a Usinaverde S/A; e a Eletrosul – Centrais Elétricas S/A, a EMAE (SP), e Rio Grande Energia (RGE) no segmento de energia. Definido o objeto do estudo, seguiu-se a etapa de pesquisa bibliográfica em diversificadas fontes, visando à percepção das diferentes correntes de pensamento relativo ao tema. A diversificação e o volume da pesquisa bibliográfica mostram-se necessários face à complexidade do tema, a falta de consenso existente sobre a escolha das alternativas de recuperação energética e disposição final, e pela amplitude do escopo da pesquisa. Os contatos técnicos continuaram ocorrendo durante a pesquisa bibliográfica, para esclarecimentos complementares.

Este estudo abrangeu os dejetos sólidos e líquidos lançados nas redes públicas, de modo que ficaram excluídos aqueles especiais, sujeitos às legislações específicas, e os de natureza rural, como a biomassa e os excrementos animais. Está dividido em três capítulos. O primeiro traz uma revisão dos conceitos ligados à sustentabilidade e à gestão de resíduos urbanos, contextualiza a situação brasileira relativa aos RSU e esgotos, abordando barreiras e malefícios decorrentes da falta da adequada destinação final, além da verificação da legislação brasileira sobre o tema. O segundo capítulo, além de explicar o funcionamento da GRU e das tecnologias de recuperação energética, aborda aspectos da busca da sustentabilidade em cada uma das suas etapas, apresentando, de um lado, os obstáculos, e de outro, exemplos de iniciativas, práticas, e aplicação de instrumentos econômicos, na direção da sustentabilidade da GRU. O terceiro capítulo contextualiza os resíduos no mercado MDL e no mercado de energia elétrica brasileiro, além de apresentar o resultado de estudos comparativos das diversas alternativas de utilização dos resíduos. Após, o tópico conclusões apresenta um resumo com destaques do conteúdo do texto, combinados com a análise crítica das metodologias e conclusões formuladas por autores, além daquelas obtidas pelo autor.

1 A GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS NO EMBATE ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO E SUSTENTABILIDADE

Este capítulo está dividido em seis seções que visam contextualizar a GRU. A primeira discute o conflito do crescimento econômico *versus* desenvolvimento sustentável. A segunda faz uma revisão dos conceitos e ferramentas de planejamento relativos à GRU. A terceira e quarta contextualizam a situação brasileira relativa aos RSU e esgotos. A quinta seção trata dos malefícios, sendo o primeiro tópico relativo às externalidades negativas provenientes da má destinação dos resíduos, e o segundo abordando uma comparação das emissões das usinas à lixo, comparativamente às usinas termelétricas. Por fim, a sexta seção revisa a legislação brasileira sobre o tema.

1.1 Crise ambiental: o dilema entre o crescimento econômico e a sustentabilidade

O conceito de desenvolvimento econômico é mais amplo do que o de crescimento econômico. Enquanto o crescimento é resultado do aumento das riquezas produzidas em um país, que resultam em aumentos no Produto Interno Bruto (PIB) e, conseqüentemente, na renda *per capita*, o desenvolvimento leva em conta também a melhoria da qualidade de vida e a redução nas desigualdades econômicas e sociais da população.

Esta diferenciação de amplitude de concepção pode ser trazida para as teorias econômicas, na comparação entre a visão neoclássica e a da economia política. Enquanto a primeira procura abstrair aspectos morais e éticos, numa teorização que Sen (1987, apud May et al., 2003) classifica como de “engenharia econômica”, a economia política inclui em seu esquema analítico considerações de ordem política, no seu sentido mais amplo.

Esta divergência de pontos de vista é trazida para o âmbito ambiental, onde o *mainstream* neoclássico considera que os limites da disponibilidade de recursos naturais podem ser indefinidamente superados pelo progresso técnico, que os substitui por capital ou trabalho. Esta corrente de pensamento é chamada de economia ambiental ou de sustentabilidade fraca, e é criticada pela economia ecológica ou de sustentabilidade forte, que defende a necessidade da estabilização do consumo em níveis que respeitem a capacidade de carga do planeta. Enquanto a economia ambiental vê a economia da sustentabilidade como uma questão de “alocação intertemporal de recursos entre consumo e investimento por

agentes econômicos racionais”, cujas motivações buscam a maximização da utilidade, a corrente ecológica a percebe como um problema de “distribuição intertemporal de recursos naturais finitos que pressupõe a definição de limites de uso (escala)” (MAY et al., 2003).

A busca do crescimento econômico foi ampliada a partir da Revolução Industrial, momento a partir do qual ocorreu também um crescimento exponencial na população mundial, que saiu de menos de 1 bilhão de habitantes em 1800 para cerca de 6 bilhões no ano 2000 (MEADOWS et al., 1972), e permitiu a ascensão das sociedades capitalistas modernas.

Se, de um lado, a ascensão capitalista intensificou o crescimento econômico e dinamizou a evolução tecnológica, por outro, o uso dos recursos humanos e ambientais ocorreram com pouco controle social, levando à exploração dos trabalhadores e à severa degradação ambiental. Segundo May et al. (2003), somente muito recentemente as populações dos países afluentes passaram a aceitar restrições à exploração ambiental, e somente daquelas atividades cujos efeitos degradantes as atingiam diretamente. Sacrifícios em prol de populações de outros países ou para gerações futuras implica em “certa dose de altruísmo”, inexistente na concepção econômica tradicional, que postula o comportamento humano como egoísta e maximizador da utilidade.

A busca da redução desse *trade-off* entre o crescimento econômico e a qualidade ambiental vem moldando um novo paradigma, o desenvolvimento sustentável¹, que busca colocar os seres humanos como centro e razão de ser do processo de desenvolvimento (VIANA et al., 2001). Sachs (1997, apud Bellen, 2007) considera o conceito de desenvolvimento sustentável com cinco dimensões: econômica, social, ecológica, geográfica e cultural. De uma forma resumida pode-se dizer que a sustentabilidade econômica “abrange alocação e distribuição eficiente dos recursos naturais, dentro de uma escala apropriada” (Bellen, 2007, p.34). Segundo Rutherford (1997, apud Bellen, 2007) esta visão não está restrita ao capital monetário, mas abrange outros tipos, como o capital ambiental, humano e social. Na perspectiva social a preocupação maior é com o bem-estar humano e com os meios para aumentar esta condição. De acordo com Sachs (1997, apud Bellen 2007) a “sustentabilidade ecológica significa ampliar a capacidade do planeta pela utilização do potencial encontrado nos diversos ecossistemas, ao mesmo tempo em que se mantém a sua deterioração em um nível mínimo”. A sustentabilidade geográfica se refere à distribuição espacial da população e das atividades produtivas. Por fim, a sustentabilidade cultural diz

¹ A evolução da discussão que moldou o conceito de sustentabilidade está descrita na seção 3.1.

respeito à conservação dos sistemas de valores, práticas e símbolos de identidade que caracterizam as “integrações nacionais” através dos tempos (VIANA et al., 2001).

A ameaça à sustentabilidade representada pela poluição pode ser vista como resultado de falhas de mercado devido à ausência de direitos de propriedade. O fato de ninguém ser dono dos recursos naturais faz com que não existam incentivos de mercado para impedir ou corrigir a contaminação desses recursos, exigindo a intervenção do governo como mediador nos mercados onde apareçam problemas de poluição (THOMAS, 2010). Essa intervenção do estado ocorre através das políticas ambientais, que podem ser definidas como “um conjunto de metas e instrumentos que visam reduzir os impactos negativos da ação antrópica sobre o meio ambiente” (MAY et al, 2003).

Os instrumentos de política ambiental são os meios de atuação para o direcionamento das condutas sociais no sentido da obtenção e preservação dos padrões de qualidade ambiental estabelecidos. O sucesso no atingimento dos objetivos ambientais decorre em grande parte da escolha e aplicação desses instrumentos, que podem ser classificados em três grupos: instrumentos de comando e controle, instrumentos econômicos, e instrumentos de comunicação, utilizados de forma individual ou combinada.

Nos instrumentos de comando e controle (C&C) as instâncias reguladoras estabelecem um conjunto de regras e padrões que devem ser obedecidos pela sociedade, sob pena de incorrer em penalidades. A obediência neste caso é coercitiva, demandando fiscalização permanente por parte do agente regulador. São exemplos de aplicação a exigência de utilização de filtros em chaminés e a fixação dos limites de emissões poluentes em unidades produtivas e a proibição da formação de lixões como destinação do lixo urbano. Suas vantagens e desvantagens de uso estão sintetizados no Quadro 1.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Normatizam padrões de poluição para fontes específicas • Normatizam exigências sobre equipamentos e tecnologias • Permitem o controle de processos • Permitem o controle de produtos • Permitem o controle sobre atividades • Permitem o controle do uso de recursos naturais 	<ul style="list-style-type: none"> • São economicamente ineficientes por não considerarem as diferentes estruturas de custos dos agentes privados • A concessão de licenças não-comercializáveis tende a perpetuar as estruturas de mercado existentes • Apresentam custos administrativos altos • Atingido o padrão, o poluidor não é encorajado a introduzir novas tecnologias antipoluição • Podem sofrer influência de grupos de interesse

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens dos instrumentos de comando e controle (C&C)

Fonte: Almeida, L., [199-?]. Elaboração do autor.

As desvantagens citadas podem ser superadas pela utilização dos instrumentos econômicos, através da internalização das externalidades que não seriam normalmente

imputadas ao agente poluidor. Segundo MAY et al. (2003) as principais vantagens em relação aos instrumentos de C&C são: permitir a geração de receitas por cobranças não alcançadas pelos C&C, permitir tratar desigualmente os desiguais², permitir a redução da despesa fiscal para atividades menos intensivas na utilização de recursos naturais, e atuar no início do processo de uso de bens e serviços ambientais. Incluem as taxas e tarifas (taxas sobre efluentes, taxas sobre o usuário, taxas sobre produtos), subsídios (subvenções, empréstimos subsidiados, incentivos fiscais) e licenças de poluição comercializáveis (como certificados de redução de emissões). São exemplos de instrumentos econômicos os empréstimos subsidiados para que agentes melhorem seu desempenho ambiental, a aplicação de taxas sobre produtos poluentes, e a exigência de depósitos reembolsáveis quando da devolução de produtos poluidores (ALMEIDA, L., [199-?]).

Não menos importante que os dois primeiros, o terceiro grupo é constituído pelos instrumentos de comunicação, que atuam na conscientização, informação e educação dos agentes poluidores. São exemplos de instrumentos de comunicação a educação ambiental, a divulgação de benefícios para as empresas que respeitam o meio ambiente, e os selos ambientais, dentre outros.

Para a aplicação dos instrumentos de política ambiental, principalmente os econômicos, muitas vezes faz-se necessário o dimensionamento das externalidades negativas decorrentes do uso dos recursos naturais. Por sua vez, esta avaliação dependerá da precificação do próprio recurso ambiental. Embora todo recurso ambiental tenha o um valor intrínseco, para a precificação é ponderado o seu valor econômico, resultado da sua valoração como elemento de contribuição para o bem-estar social.

A valoração econômica de determinado recurso ambiental consiste em estimar o quanto de outros recursos disponíveis os agentes econômicos estariam dispostos a abrir mão como resultado de mudanças na sua qualidade ou quantidade. A mensuração se dá pela escolha entre opções, numa análise de *trade-offs* (MAY et al., 2003). É a precificação que permite a inserção de forma mais realista dos recursos ambientais nas estratégias de desenvolvimento econômico. Deriva de seus atributos, que podem ou não estar associados ao uso.

O valor econômico do recurso ambiental é resultado do seu valor de uso adicionado ao seu valor de existência. O valor de uso aquele que os indivíduos atribuem pelo seu uso presente ou potencial de uso futuro, e o valor de existência, dissociado do uso, deriva de uma

² Como aplicação de tarifas diferenciadas em função de práticas ambientais adotadas pelos agentes econômicos.

posição moral, cultural, ética ou altruística. O valor de uso pode ser direto, indireto e de opção. O valor de uso direto é atribuído pelo bem-estar que proporciona diretamente. O valor de uso indireto resulta do benefício a outros elementos do ecossistema, como o benefício ao clima decorrente do estoque de carbono retido pelas florestas. E o valor de opção como aquele que os indivíduos estão dispostos a pagar para manterem a opção de um dia fazer o seu uso, de forma direta ou indireta, a exemplo do benefício advindo de fármacos desenvolvidos com base em propriedades medicinais, ainda não descobertas, de plantas de florestas tropicais (ELETROBRÁS, 2000).

Os métodos utilizados para a valoração também podem ser diretos ou indiretos. Os métodos diretos realizam a inferência por questionamento aos envolvidos, enquanto que no indireto é observado o comportamento do consumidor em mercados de bens complementares ou substitutos ao consumo do recurso ambiental. O Quadro 2 descreve os principais métodos diretos e indiretos utilizados para a valoração econômica ambiental.

Nome	Tipo	Descrição
Custo de Viagem	Indireto	Como medida para valoração de parques, por exemplo
Preços hedônicos ⁽¹⁾	Indireto	É estimada uma curva de demanda pelo recurso ambiental a partir da estimativa de uma função de preços hedônicos, onde o bem de mercado é a variável dependente e as variáveis explicativas são as características que determinam este preço, inclusive a ambiental
Reposição	Indireto	Consiste em estimar o custo de repor o recurso ambiental danificado
Gastos defensivos	Indireto	Procura estimar os gastos que seriam incorridos em bens substitutos para não alterar a quantidade ou qualidade do recurso ambiental
Produtividade marginal	Indireto	Para quando o recurso ambiental é fator de produção. A dificuldade é a obtenção de dados para a estimação da função de dano (função dose-resposta) ⁽²⁾
Transferência de benefícios (relocalização)	Indireto	Transposição de valores monetários relacionados a um recurso ambiental de um local para outro, utilizando técnicas de valoração que contemple as suas diferenças sócio-ambientais
Capital humano ou produção sacrificada	Indireto	Supõe que uma vida perdida representa um custo de oportunidade para a sociedade equivalente ao valor presente da capacidade desse indivíduo de gerar renda
Valoração contingente	Direto	Utiliza pesquisas amostrais para identificar as preferências individuais
Ranqueamento contingente	Direto	Permite estimar a disposição a pagar de entrevistados, que estabelecem ordem de preferência frente às alternativas

Quadro 2 – Métodos diretos e indiretos de valoração ambiental

Fonte: May et al., 2003. Elaboração do autor.

Notas: (1) Hedonismo é corrente filosófica que considera o prazer como o supremo bem da vida humana. (2) A função dose-resposta busca estabelecer uma relação entre a dose (causador, fonte, poluente) e a resposta (efeito, mudanças, alterações). Uma vez estabelecida, é possível estimar a variação do dano em termos da variação no bem ou no serviço ambiental.

A aplicação de instrumentos de política ambiental e o uso de metodologias de valoração são elementos indispensáveis para a superação do dilema entre o crescimento econômico e a sustentabilidade, servindo como ferramentas para a operacionalização das melhorias relativas à destinação dos resíduos resultantes da atividade econômica e da vida na terra.

A possibilidade de utilização das alternativas de valorização econômica oferecidas pelos resíduos depende em grande parte da adequação e qualidade dos instrumentos de política ambiental que integram o arcabouço regulatório das economias, e norteiam o ambiente de atuação da gestão dos resíduos, que é apresentada na próxima seção.

1.2 A gestão de resíduos sólidos e esgotos urbanos

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) abrangidos neste estudo podem ser delimitados pela Lei nº 11.445 e da norma NBR 10.004. De acordo com a Lei 11.445, de 05 de janeiro de 2007, o saneamento básico abrange os serviços, infra-estruturas e instalações relativas ao abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, além da drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Com relação ao esgotamento sanitário, abrange a coleta, transporte, tratamento e disposição final adequado dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente. No tocante aos resíduos sólidos, essa legislação inclui a coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e daquele originário da limpeza de vias públicas. Porém o artigo sexto acrescenta aqueles “... de atividades comerciais, industriais e de serviços cuja responsabilidade pelo manejo não seja atribuída ao gerador pode, por decisão do poder público, ser considerado resíduo sólido urbano (RSU)” (BRASIL, 2007a). Na NBR 10.004 a visão de resíduo sólido é mais ampla, inclui aqueles de estado semi-sólido, sem distinção de responsabilidade pelo manejo, e incluindo os de origem agrícola. Considera também os lodos das estações de tratamento de esgotos (ETE), e até os “líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exige para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível” (ABNT, 2004). Ficam excluídos do conceito, portanto, os esgotos, tratados ou não. Então, os RSU abrangidos por este estudo são aqueles abrangidos pela definição da Lei 11.445, mas

incluem os lodos de ETE, pelas possibilidades de valoração energética que oferecem. O termo “resíduos” servirá para abranger os RSU e esgotos de forma conjunta.

A forma de referência à gestão de resíduos (*waste management*) varia entre os autores, que freqüentemente adicionam características como “integrada”, “sustentável”, “municipal”, “urbana”, etc. Esta dissertação adotou a expressão GRU com o intuito de deixar clara a não abrangência dos resíduos de origem rural, e a inclusão os esgotos urbanos.

A Figura 1 apresenta a GRU como um sistema aberto, onde os diversos atores envolvidos, chamados *stakeholders*, estão interligados aos “elementos do sistema” pelos diversos aspectos que a compõem: técnicos, ambientais, econômicos, etc.

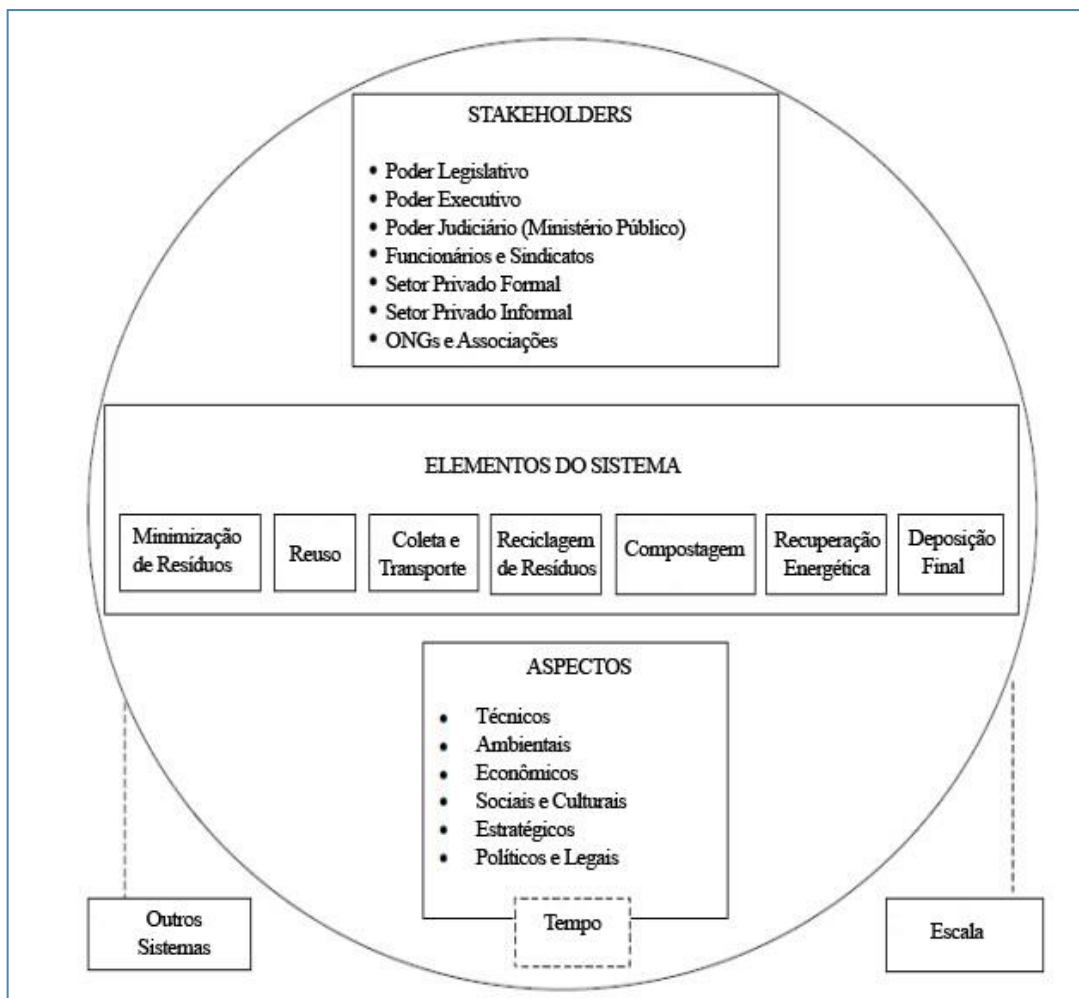


Figura 1 – Elementos da GRU

Fonte: Klundert e Anschitz, 2000, não paginado, tradução nossa.

Os *stakeholders* ligados à GRU incluem os órgãos governamentais dos diversos níveis que atuam no setor, mais os poderes legislativo e judiciário, políticos, empresas prestadoras dos serviços, organizações não governamentais (ONGs), usuários dos serviços, funcionários,

associações, sindicatos, entidades setor privado formal e informal, agências reguladoras, etc.

Os elementos do sistema compõem a forma de se atuar sobre os resíduos, nas diversas etapas do seu ciclo de vida, desde as ações para minimização, reuso, reciclagem, coleta, transporte, tratamento, até a destinação final.

A interação dos *stakeholders* com os elementos do sistema, nas diversas dimensões, ocorre de forma dinâmica, variando ao longo do tempo. A escala é colocada para lembrar que as interações ocorrem nas diversas esferas, desde a individual, passando pela familiar, de bairro, municipal, atingindo a regional, estadual e nacional. A esquematização proposta por Klundert e Anshitz (2000) é direcionada aos RSU, que interagem também dinamicamente com outros sistemas, como de drenagem pluvial urbana, redes de energia, paisagismo, etc. E permite a inclusão do sistema de esgotamento sanitário, na busca de compatibilizações e racionalizações para redução de custos e aumento de receitas visando a sustentabilidade de ambos os serviços.

A GRU procura se adequar à sociedade, economia e meio ambiente numa dada amplitude, que usualmente é a municipal. Representa um planejamento estratégico e de longo prazo, com a premissa de que todos têm o direito a um recolhimento regular de resíduos e saneamento adequado (KLUNDERT; ANSCHITZ, 2000).

O aspecto de integração no conceito da GRU fica evidenciado na definição apresentada pela *Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – AIDIS*:

... um conjunto articulado e inter-relacionado de ações normativas, operativas, financeiras, de planejamento, administrativas, sociais, educacionais, de monitoramento, supervisão e avaliação para a administração dos resíduos, desde sua geração até a disposição final, a fim de obter benefícios ambientais, otimização econômica da administração, e aceitação social, respondendo às necessidades e circunstâncias de cada localidade ou região (AIDIS, 2006, p.16, tradução nossa).

A literatura sobre resíduos sólidos adota o termo “gestão integrada” para abranger todo um ciclo, que começa pela prevenção da sua geração, até a destinação final, passando pelos hábitos de consumo da população, que influem na quantidade e tipo de produtos a serem produzidos; nos tipos de materiais que compõem os produtos, de maior ou menor possibilidade de reuso; na forma da coleta, transporte, reciclagem, compostagem e recuperação energética, com a escolha da tecnologia a ser utilizada, variável quanto à eficiência e aos níveis de poluição, etc.

A GRU pode ser vista sob três níveis interligados: no primeiro nível estão as etapas de administração dos elementos do sistema; no segundo nível a administração pública busca a articulação com as diferentes áreas e níveis governamentais; e no terceiro nível são

envolvidos os múltiplos agentes sociais em ações coordenadas pelo setor público, abrangendo o setor privado e a sociedade (AIDIS, 2006).

A condição de sustentabilidade da GRU caracteriza-se pela adequação às condições locais dos diversos pontos de vista: técnico, ambiental, social, econômico, financeiro, institucional, político, etc., de modo a manter-se ao longo do tempo sem esgotar os recursos de que necessita (KLUNDERT; ANSCHITZ, 2000). E de modo que as soluções adotadas no presente não reduzam o bem-estar das gerações futuras.

O planejamento da GRU é estruturado sobre uma hierarquia, que foi inicialmente chamada de “3R” – redução, reuso e reciclagem – mas que teve a incorporação de um quarto “R”³, da recuperação ou valorização energética. Esta hierarquização chega a constar indiretamente no corpo de legislações como a da União Européia, que coloca a prevenção, o reuso e a reciclagem à frente da compostagem e geração energética, consideradas preferíveis aos aterros (EAI, 2005). Não há dúvidas que a prevenção e redução são ações admiráveis. Todavia, os aterros são o método predominante para disposição de resíduos a nível mundial. A incineração, por usar plantas e processos complexos, nem sempre é apropriada. A compostagem apresenta um histórico de insucessos devido a falhas de operação ou dificuldades na comercialização dos compostos (FERGUSON, 1996). A hierarquização das etapas varia em função das interações no âmbito da GRU. Por exemplo: tecnicamente, a reciclagem é preferível à recuperação energética, pois o aproveitamento energético na reciclagem é maior. Socialmente também, pois gera mais emprego e renda. Porém do ponto de vista econômico pode ser inviável, se o mercado não estiver absorvendo os reciclados. Então, a hierarquia de resíduos deve ser considerada uma orientação genérica e flexível para a formulação de políticas de resíduos (EAI, 2005).

Os quatro “R” estão incluídos na Agenda 21⁴, em seu capítulo 21, que propõe uma hierarquia de objetivos centrados em quatro áreas de programas: redução na geração; aumento da reutilização e reciclagem ambientalmente saudáveis; promoção do tratamento e depósito ambientalmente saudáveis; e ampliação do alcance dos serviços que se ocupam dos resíduos

³ Brown (1992) foi quem introduziu na literatura o 4º “R”, onde propôs três princípios para a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos: (1) os aspectos funcionais, como a redução na fonte, segregação, coleta, distribuição e eliminação operando de maneira coordenada (2) esta coordenação abrangendo o espaço e o tempo, e (3), os diversos níveis de governo e o setor privado trabalhando em conjunto, com os mesmos objetivos e políticas, buscando obter valorização econômica dos resíduos (AIDIS, 2006).

⁴ Documento construído com participação de governos e instituições de 19 países, e divulgado na Eco-92, no Rio de Janeiro, que estabeleceu a importância de cada país comprometer a refletir, global e localmente, sobre a forma pela qual todos os setores da sociedade poderiam cooperar no estudo de soluções para os problemas sócio-ambientais.

(ONU, 1992).

A sustentabilidade social da gestão dos resíduos abrange três aspectos: a integração dos recicladores, a participação da sociedade, e o controle social. A integração dos recicladores pela sua organização, dotação de locais e recursos, treinamento e coordenação da atuação, em ações envolvendo as prefeituras municipais, conjuntamente com organizações não governamentais (ONGs) e lideranças comunitárias. A participação da sociedade pressupõe informação e sensibilização para a participação nas decisões e políticas. E o controle social pelo acompanhamento e avaliação das políticas implementadas, através de canais que permitam a intervenção efetiva da sociedade, que deverá ter acesso a informações confiáveis (AIDIS, 2006).

A condição de sustentabilidade da GRU caracteriza-se também pela adequação às condições do ponto de vista econômico e financeiro. Está no escopo deste estudo, e pode ser buscada a partir da redução e racionalização de despesas e pela geração de receitas, de modo a minimizar a necessidade da cobrança pela prestação dos serviços.

A valoração econômica pode ser obtida por diversas rotas que combinam a reciclagem, compostagem, aproveitamento energético direto pela incineração ou indireto através do biogás obtido nas ETE e locais de disposição de resíduos sólidos (LDRS). Além destas, outras receitas podem ser obtidas com comercialização de *Certified Emissions Reductions* (CER) e aplicação do princípio do poluidor-pagador, através de mecanismos de C&C. Se necessário o estabelecimento de tarifas pela prestação dos serviços, AIDIS (2006) sugere que ocorra a partir da implantação de um sistema de avaliação de custos, e que as sejam socialmente justas, podendo prever a isenção para os segmentos de baixa renda.

A GRU é balizada por princípios predefinidos, que abrangem suas diversas dimensões. Por exemplo, na dimensão ambiental: minimizar impactos negativos sobre o solo, ar e água; minimizar a geração de resíduos através da adaptação dos processos de produção para a utilização de tecnologias limpas; maximizar a reutilização e a reciclagem, evitando a perda de materiais, energia e nutrientes; descarte de resíduos remanescentes de uma forma controlada, que não excedam a capacidade de absorção dos sumidouros locais; e tratamento dos resíduos e recuperação de recursos tão perto da fonte quanto possível (KLUNDERT; ANSCHITZ, 2000). De uma forma genérica, os princípios balizadores do planejamento e operacionalização da GRU podem ser colocados conforme o Quadro 3.

Princípio	Significado
Minimização	Baseado na necessidade de redução da produção de resíduos e de sua nocividade
Quem contamina paga (poluidor-pagador)^(*)	O produtor dos resíduos deve assumir sua responsabilidade e os custos que se derivem da gestão e eliminação de esses resíduos
Proximidade	Evitar traslados e movimentos de resíduos de grande magnitude, para o qual será necessário habilitar os meios de transporte e instalações de armazenamento e transferência adequadas
Responsabilidade compartilhada	Todos os agentes implicados devem colaborar, assumindo suas parcelas de responsabilidade, para a obtenção do objetivo comum
Gestão integrada	Promove a implementação de um sistema integrado que permita a gestão de todos os tipos de resíduos urbanos de forma adequada, levando em conta as melhores tecnologias disponíveis, ponderados os custos
Integração	Das políticas ambientais no planejamento dos diversos sistemas
Prevenção	Não há necessidade de certeza absoluta para a adoção de medidas que possam beneficiar a gestão dos resíduos, e, por conseqüência, o meio ambiente
Hierarquização	As decisões a nível local devem respeitar as diretrizes estaduais, e estas as nacionais
Cooperação	Derivado dos anteriores, e imprescindível para o bom funcionamento dos planos e programas
Eficácia	Os aspectos de mercado e de viabilidade econômica deverão ser levados em conta como fator determinante para uma correta implantação dos modelos de gestão

Quadro 3 – Princípios balizadores da GRU

Fonte: GOVERNO DO RIO GRANDE DO SUL, 2006. Elaboração do autor.

Nota: ^(*)exemplo de aplicação do princípio do poluidor-pagador é a responsabilização do fabricante pelo recolhimento e destinação adequada do seu produto, quando inservível (LIXO..., [2008]).

AIDIS (2006) relaciona alguns fatores a serem considerados na implantação da GRU: implementar seqüencialmente e por etapas, a partir das ações para redução da geração, até a disposição final; promover soluções comuns à nível regional; fortalecer as instituições da administração pública nos diversos níveis, para implementar políticas, planos, programas e projetos de promoção da GRU; desenvolver a formação contínua de quadros técnicos municipais, estaduais e nacional; rever e ampliar o quadro legal e regulamentar; além de integrar as organizações de recicladores e as empresas comunitárias na concepção e implementação da gestão dos resíduos sólidos.

No planejamento da GRU são utilizadas metodologias, ferramentas, *softwares*, e normas internacionais (ISO). A Análise Custo-Benefício (ACB), Análise do Ciclo de Vida (ACV), e a Análise de Decisão Multicritério (ADM) são exemplos desses recursos.

Sistemas de gestão de resíduos baseados na ACB costumam converter todos os elementos econômicos, sociais e ambientais, em termos de uma medição comum, geralmente monetária (ANOMANYO, 2004). Os impactos sociais e ambientais são trazidos para o âmbito financeiro pela valoração das externalidades. Após a conclusão da análise, o cenário

com a melhor relação custo *versus* benefício será o preferido. Entre as vantagens e limitações da ACB estão: os resultados são apresentados de forma clara, com todos os impactos resumindo-se em um valor monetário; e permite aos decisores ver quais cenários são mais eficientes na utilização dos recursos; porém traz incertezas envolvidas na monetarização dos impactos ambientais e sociais; e os pressupostos sobre os preços podem mudar durante o tempo de vida do programa, alterando o resultado (MORRISSEY; BROWNE, 2003).

A análise do ciclo de vida (ACV), ou *Life Cycle Assessment*, é uma metodologia utilizada na avaliação dos efeitos ambientais de um produto, processo ou atividade ao longo de todo o seu ciclo de vida. É usada, por exemplo, para comparar o impacto ambiental de diferentes tipos de tratamento de resíduos ou o impacto ambiental de diferentes destinos para um determinado resíduo especificamente (COMUNIDADE ACV, 2009). As orientações para a utilização da ACV estão contidas nas séries ISO 14.040⁵, voltadas à gestão ambiental.

Segundo Morrissey e Browne (2003), entre as limitações da ACV estão o fato da técnica não ser capaz de considerar quando, onde e como os resíduos são libertados no ambiente; os resultados obtidos com a aplicação da ferramenta apresentarem divergências, mesmo na investigação de um mesmo produto; e estar mais restrita à análise de impactos ambientais, sem a incorporação da avaliação financeira.

Hong et al. (2009) colocam a ACV como capaz de identificar, quantificar e avaliar os impactos da energia, dos materiais utilizados e dos resíduos liberados para o ambiente, além de identificar e avaliar as oportunidades de melhorias ambientais. Suas aplicações incluem política governamental, planejamento estratégico, marketing, educação do consumidor, processos de melhoria de produtos e design.

Por sua vez, a Análise de Decisão Multicritério (ADM) consiste em identificar várias alternativas que são avaliadas em termos de critérios e circunstâncias que compõem o modelo a ser desenvolvido. O resultado é um *ranking* de alternativas. Entre as vantagens e limitações estão o fato da abordagem sistemática de avaliação de opções ajudar na compreensão do problema, a possibilidade da incorporação de informações tanto quantitativas como qualitativas, e permitir a consideração das preferências dos diversos *stakeholders*. Porém algumas das técnicas multicritério são pesadas e difíceis de manejar, e apresentam atribuições subjetivas de pesos para cada critério (MORRISSEY; BROWNE, 2003). Exemplo de técnica com ADM pode ser o estudo MME (2008d), que comparou as alternativas para o

⁵ As séries de normas da Organização Internacional para a Normatização, ISO 14.000, foram desenvolvidas como resposta à demanda mundial por uma gestão ambiental mais confiável, e foram estruturadas basicamente em duas grandes áreas: foco nas organizações empresariais e foco nos produtos e serviços.

aproveitamento energético dos RSU de Campo Grande (MS), analisando três alternativas: reciclagem e disposição final, reciclagem e digestão anaeróbica, e reciclagem e incineração, todas com recuperação energética.

Segundo os referidos autores, todas as ferramentas existentes para a gestão de resíduos apresentam limitações: dificuldade para abranger todo o ciclo de gestão de resíduos; incapacidade para considerar conjuntamente as dimensões social, ambiental e econômica; e falta de alcance para abranger nos modelos todos os agentes envolvidos.

Esta seção apresentou alguns aspectos conceituais básicos para o desenvolvimento das duas próximas seções: a primeira, voltada para a contextualização da GRU relativa aos resíduos sólidos, e a segunda, aos esgotos.

1.3 A situação atual e barreiras relativas aos resíduos sólidos no Brasil

O objetivo desta seção é apresentar o panorama dos RSU a nível global e a situação relativa do Brasil nesse contexto. Num primeiro momento são apresentados dados relativos a aspectos que permitam a comparação entre os países, para em seguida serem abordados aspectos que representam entraves à evolução, no tocante tanto à adequação da disposição final, como ao aproveitamento energético e geração de receitas pelos dejetos sólidos urbanos.

Observa-se que a composição dos RSU varia em função das características de cada país ou região, mas observa-se maior proporção de orgânicos nos países de baixa renda, e de recicláveis (papel e papelão, plástico, vidro e metais) nos países de maior renda *per capita*. Enquanto nos países pobres a proporção de orgânicos varia de 50 a 80%, nos ricos vai de 20 a 40%. Por conseguinte, o poder calorífico do lixo “rico” é maior: de 1.500 a 2.700 kcal/kg; contra 800 a 1.100 kcal/kg do lixo dos pobres (ABRELPE, 2008).

Com relação à geração de resíduos sólidos, a pesquisa ABRELPE (2008) estimou a quantidade mundial de origem urbana e industrial coletada em 2004 como da ordem de 2,5 a 4 bilhões de toneladas⁶. Que, apesar de não apresentar informação sobre a quantidade total gerada, mostra a amplitude do impacto ambiental global destes descartes. Do montante informado, a parcela relativa aos RSU foi de 1,2 bilhões de toneladas, sendo que os três maiores montantes globais, oriundos da Europa ocidental, EUA e China urbana, se juntados, representam aproximadamente a metade da coleta mundial.

⁶ Excluídos os resíduos de construção e demolição (C & D).

Assim como a composição, também a geração de RSU por habitante também varia bastante, conforme demonstra o Gráfico 1. Enquanto um americano “produz” cerca de 2 kg de RSU por dia, esta quantidade para um indiano é em torno de 0,3 kg/dia. Os cinco povos que mais geram lixo por pessoa são Estados Unidos, Austrália, Alemanha Ocidental, China e Turquia, respectivamente. Em países onde o turismo é um importante fator econômico, a geração diária chega a 2,4 kg por habitante (MONTEIRO, 2008). O último levantamento completo de saneamento ambiental brasileiro foi a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), realizada pelo IBGE no ano de 2000, que apresentou, entre seus resultados, levantou a existência de 169,8 milhões de brasileiros, com geração de 228 mil toneladas de lixo ao dia, totalizando a geração de 1,34 kg⁷ de lixo por brasileiro ao dia. Pelas informações do IBGE, naquele ano o país produziu cerca de 83 milhões de toneladas de resíduos sólidos.

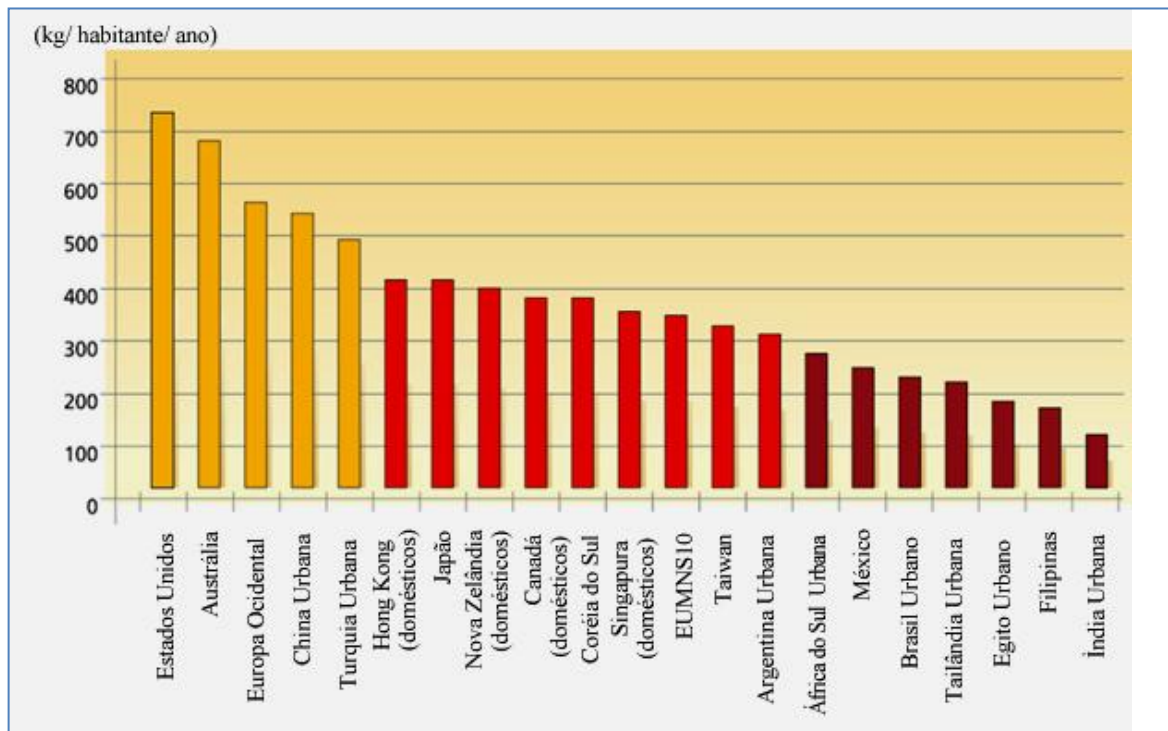


Gráfico 1 – Geração de RSU por habitante em diversos países

Fonte: ABRELPE, 2008, p.134

A geração de resíduos, via de regra, também guarda relação com o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)⁸ e Produto Interno Bruto (PIB) dos países. O Gráfico 2

⁷ Este resultado provavelmente ficou aumentado por conta da inclusão indevida de C & D, quando do preenchimento do formulário de coleta de dados pelos municípios.

⁸ O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é uma medida comparativa que engloba três dimensões: riqueza, educação e esperança média de vida. Vem sendo usado desde 1993 pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) para comparar os países membros.

apresenta a relação entre o IDH de 1997 e a geração diária de lixo por habitante de alguns países, e mostra a tendência dos países de maior IDH produzirem mais lixo. O gráfico traz a estimativa de geração diária de resíduos dos brasileiros com base em três fontes (CETESB, IPCC e IBGE), que apresentaram resultados bastante diferentes. Segundo MCT (2006) a correlação é mais forte ($r=0,52$) se excluído o Brasil, concluindo que a sua estimativa é a que mais se adequou à tendência geral, acreditando-se em um erro da ordem de 10%. De todo modo, o Gráfico 2 demonstra que a geração de resíduos pelos brasileiros é proporcionalmente mais alta que a maioria dos outros países, relativamente ao IDH.

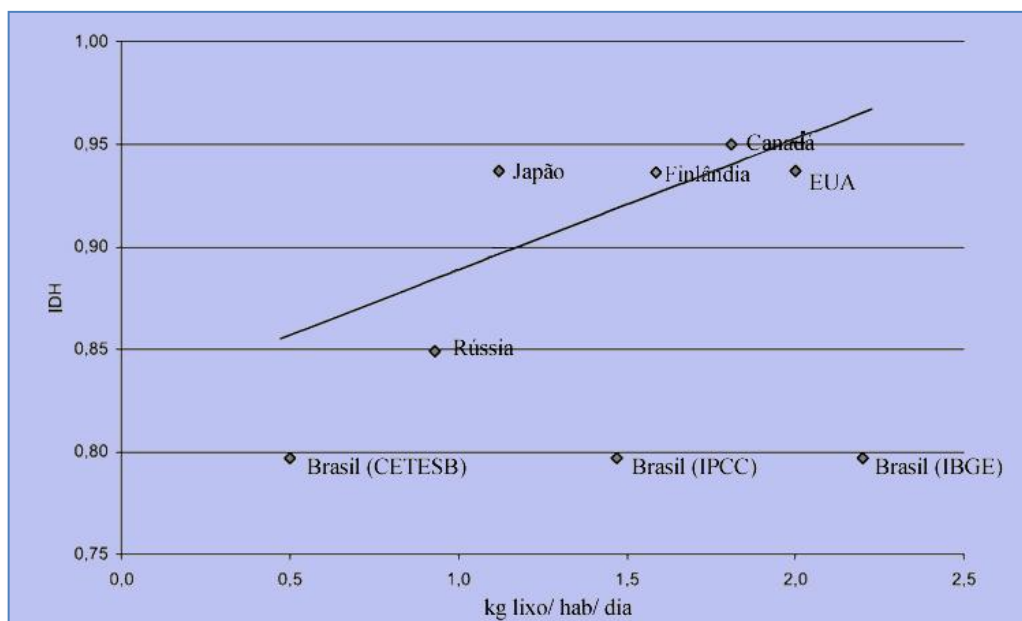


Gráfico 2 – IDH versus lixo per capita
Fonte: MCT, 2006, p.37

Os resultados obtidos por MCT (2006) também divergem daqueles apresentados pela ABRELPE (2008), que estimou em 1,106 kg a quantidade de resíduos sólidos gerados por brasileiro em 2007, cuja comparação com o PIB *per capita* está apresentada no Gráfico 3. Também esse gráfico mostra o País abaixo da linha de tendência, reforçando a hipótese de que a geração brasileira de lixo é alta, comparativamente ao PIB, em relação aos outros países. A pesquisa ABRELPE (2009) mostrou uma pequena redução na média diária de geração de lixo pelo brasileiro, para 1,08 kg. Apesar das divergências quanto à quantidade gerada, o comparativo com outros países permite situar o Brasil no cenário mundial, onde se observa que as disparidades na riqueza e outros parâmetros de desenvolvimento se refletem também nos indicadores associados aos resíduos.

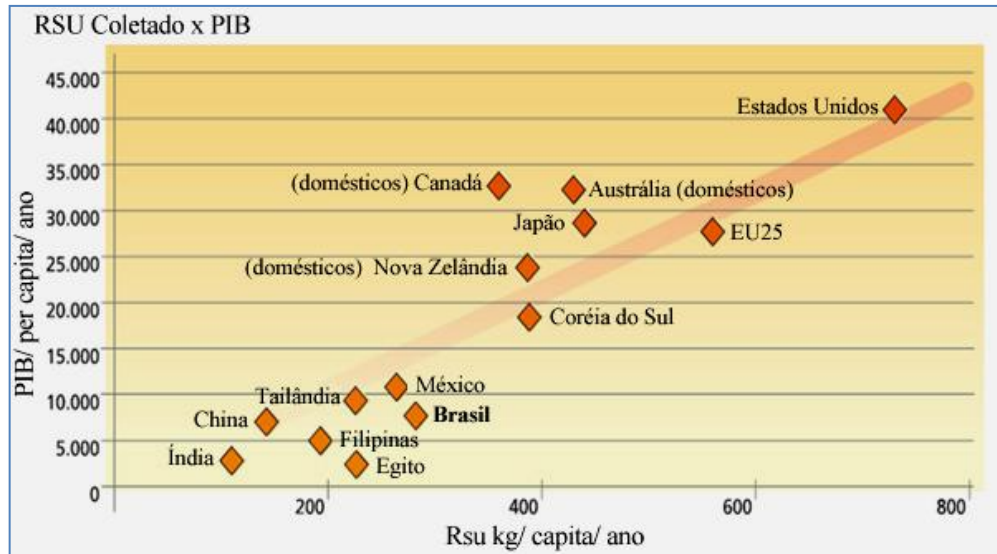


Gráfico 3 – PIB versus lixo per capita

Fonte: ABRELPE, 2008, p.135

Particularizando a análise da geração e coleta dos RSU por região brasileira, a Tabela 2 informa a geração de cerca de 170 mil toneladas diárias no Brasil em 2008, com a coleta de 150 mil, definindo uma taxa de coleta de cerca de 88%, numa evolução significativa frente ao índice de 83% ocorrido em 2007. A análise da Tabela 1 destaca a região nordeste como a maior geradora por habitante (1,207 kg diários) e também a de menor taxa de coleta (73,45%).

Tabela 1 – Quantidades geradas e coletadas de RSU por região brasileira em 2008

Região	RSU Gerado (t/dia)	RSU Gerado (kg/hab/dia)	RSU Coletado (t/dia)	Taxa de Coleta (%)
Norte	11.333	1,002	8.919	78,70
Nordeste	45.437	1,207	33.372	73,45
Centro-Oeste	12.355	1,047	11.164	90,36
Sudeste	83.180	1,087	80.041	96,23
Sul	17.353	0,766	15.703	90,49
Brasil	169.658	1,080	149.199	87,94

Fonte: ABRELPE, 2009. Elaboração do autor.

A participação percentual das regiões brasileiras quanto à quantidade de RSU em 2007 foi de 55% no Sudeste, seguida do Nordeste (22%), Sul (10%), Centro-oeste (7%) e Norte (6%). Portanto, mais da metade da geração de RSU está concentrada na região Sudeste.

Além dos RSU, ABRELPE (2009) estimou em 80.342 toneladas/dia a geração de resíduos de construção e demolição (C&D) em 2008, com uma média de 0,512 kg/habitante/dia. Com relação aos resíduos de serviços de saúde (RSS), as estimativas do referido relatório são parciais, pois consideram apenas as gerações oriundas das unidades

públicas de saúde, estimadas em 209 mil toneladas, que tiveram a seguinte destinação: 53% foi direcionada a aterros sanitários, 23% a lixões, 4% à incineração, e 20% tiveram destinação ignorada. Quanto aos resíduos sólidos industriais (RSI), ABRELPE (2008) estimou a geração de 82,7 milhões de t/ano dos classificados como não perigosos, equivalentes a 95,7% do total, e 3,7 milhões de t/ano dos perigosos, numa parcela correspondente a 4,3% dos RSI totais. Além da geração interna de resíduos, o Brasil vem importando produtos descartados em outros países, como é o caso dos pneus. Entre 1997 e 2008 foram importadas pelo menos 466 mil toneladas de pneus usados, mais da metade sem qualquer possibilidade de reuso. Em 2005 esta importação atingiu mais de dez milhões de pneus usados (QUASE 500 MIL..., 2009).

No Brasil a responsabilidade pelo gerenciamento do lixo domiciliar, comercial e público, desde a coleta até a destinação final, é das prefeituras municipais. Sendo do gerador a responsabilidade pela destinação correta dos resíduos classificados como hospitalares, especiais, industriais e agrícolas (GRIPPI, 2006). Os estados, através das secretarias de meio ambiente e autarquias, podem atuar: regradando e fiscalizando a destinação final, sejam os resíduos de origem domiciliar, industrial, hospitalar ou rural; incentivando as soluções regionais compartilhadas; fiscalizando o transporte dos resíduos; e incentivando a coleta seletiva e reciclagem (GOVERNO DO RIO GRANDE DO SUL, 2008). A atuação da esfera federal ocorre através pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA), subordinada ao Ministério das Cidades.

Os dispêndios com a coleta e transporte de RSU por habitante crescem à medida que aumenta o tamanho das concentrações urbanas: considerando famílias com 4 pessoas e municípios por faixas de habitantes, a estimativa do dispêndio mensal por família cresce de R\$ 8,36 em municípios até 50 mil habitantes, a R\$ 15,00 para municípios maiores de 500 mil habitantes, em valores de 2007 (ABRELPE, 2008).

Além dos aspectos relativos à composição e geração, tem-se a questão da destinação. IBGE (2000) apresentou o seguinte direcionamento dos RSU pelos municípios: 53,3% das destinações eram para lixões a céu aberto; 16,4% para aterros controlados; e apenas 12,8% para aterros sanitários. Apenas 7,5% dos locais promoviam alguma valorização econômica, entre reciclagem e compostagem. A energia resultante das incinerações (2,9% dos casos) não era aproveitada. Anualmente o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), vinculado ao Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS) da SNSA, vem apresentando o relatório Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (DMRSU). Os dados levantados são amostrais, mas não permitem projeções, pois não possuem a aleatoriedade e a estratificação exigidas para a representatividade estatística. Isso porque

muitos municípios convidados não fornecem os dados, e o propósito de se constituir em uma série histórica de dados conflitar com a aleatoriedade da seleção. Nos resultados da amostra relativa a 2006, 135 municípios informaram um total de 11,7 milhões de toneladas de lixo domiciliar e público coletado, distribuído 13,6% em lixões, 25% em aterros controlados e 61,4% em aterros sanitários. A massa coletada de resíduos domiciliares mais resíduos públicos correspondeu a 0,92 kg/habitante urbano/dia, sendo a parcela de resíduos exclusivamente domiciliares (sem considerar resíduos públicos) de 0,71 kg/habitante atendido/dia (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008a).

Já a metodologia adotada pela ABRELPE permite tratamento estatístico, sendo que, da parcela coletada, ABRELPE (2008) apurou, à nível nacional, um direcionamento de 54,9% para aterros sanitários e 45,1% para aterros controlados e lixões. A Tabela 2 apresenta esta distribuição por região.

Tabela 2 – Destinação final dos RSU coletados nos municípios, por região brasileira, em 2007

Região	Aterro Sanitário	Aterro Controlado	Lixão	Total
Norte	67	116	266	449
Nordeste	448	480	865	1793
Centro-oeste	163	163	140	466
Sudeste	789	631	248	1668
Sul	691	359	138	1657
Brasil	2158	1749	1657	5564

Fonte: ABRELPE, 2008, p.52

Assim como nas regiões brasileiras, seja por política de governo ou por barreiras de desenvolvimento, também a nível global a destinação final varia muito entre os países, conforme demonstra a Tabela 3. Do ponto de vista da valorização econômica, a pior situação entre os países levantados por MME (2008d) pertence ao México, que recicla apenas 2% dos seus RSU, destinando os demais 98% para aterramento, sendo grande parte destinada a aterros precários. A reduzida parcela de resíduos aterrados demonstram que países como Holanda, Suíça, Dinamarca e Japão extraem dos RSU todo o seu potencial energético, variando apenas as preferências relacionadas com a hierarquia adotada, de ênfase na reciclagem ou na incineração. Mas o grande direcionamento para aterros não é exclusividade de países em desenvolvimento, pois observa-se que países desenvolvidos privilegiam o aterro sanitário, como é o caso do Reino Unido. O que varia, neste caso, é a qualidade do aterramento: enquanto os países desenvolvidos adotam técnicas adequadas de construção de aterros, nos países em desenvolvimento grande parte dos aterros são precários, quando existentes.

Tabela 3 – Destino dos RSU em diversos países, em (%)

País	Reciclagem	Compostagem	Recuperação energética ⁽¹⁾	Aterro sanitário
Holanda	39	7	42	12
Suíça	31	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⁾

Fonte: MME, 2008d, p.12

Notas: (1) Basicamente incineração; (2) As estatísticas incluem a compostagem; (3) Incluem aterros controlados e lixões

Com relação ao aproveitamento energético dos RSU pela incineração, Themelis (2003) informava que cerca de 130 milhões de toneladas de RSU eram queimados anualmente em todo o mundo, em mais de 600 plantas chamadas comumente de *Waste to Energy* (WtE)⁹, ou “do lixo à energia”, produzindo eletricidade e vapor para aquecimento e recuperando metais para a reciclagem. Informou que desde 1995, a indústria global WtE ampliou a capacidade em mais de 16 milhões de toneladas de RSU, alcançando 35 nações¹⁰, entre grandes países, como a China, e pequenos, como Bermudas, e que a principal expansão ocorreu na Ásia. Números mais recentes informam utilização de 150 milhões de toneladas por ano de lixo urbano em mais de 850 instalações, ainda em 35 países, gerando mais de 10.000 MW de energia elétrica (MENDONÇA, 2009). Segundo Terzian (2008) existem 72 usinas WtE em funcionamento na Alemanha. Já IWSA [2008] informa que a *Confederation of European Waste-to-Energy Plants* (CEWEP) representa 340 plantas de recuperação energética do lixo, das cerca de 400 em funcionamento naquele continente, tratando 50 milhões de toneladas de lixo ao ano, com geração de energia elétrica para 27 milhões de pessoas, mais calor para 13 milhões. Na França, que produz 850 milhões de toneladas de lixo por ano, a incineração só é permitida se gerar energia. Aquele país tem 123 incineradores de lixo urbano caseiro e 16 unidades para eliminar dejetos industriais tóxicos. Com isso, 80% das unidades apresentam exploração de energia e até 15% da energia produzida vai para a rede de

⁹ No Brasil essas usinas são chamadas de Usinas lixo-energia (ULE) ou simplesmente usinas à lixo.

¹⁰ Segundo IWSA (2008), as WtE estão presentes em mais de 70 países.

distribuição doméstica (USINA..., 2009). Além da Europa, são 103 WtE nos EUA, com capacidade de 2700 MW e 176 no Japão, com potência de 750 MW (MENEZES, 2007). Não temos notícia deste tipo de usina funcionando em escala comercial na América Latina.

O Gráfico 4 apresenta a participação relativa da incineração, comparativamente com a reciclagem e recuperação de biogás, em 17 países da UE. Observam-se grandes diferenças na escolha da destinação: enquanto na Alemanha menos de 1% dos resíduos tem recuperação energética por biogás, na Polônia esta fatia representa 91% do total.

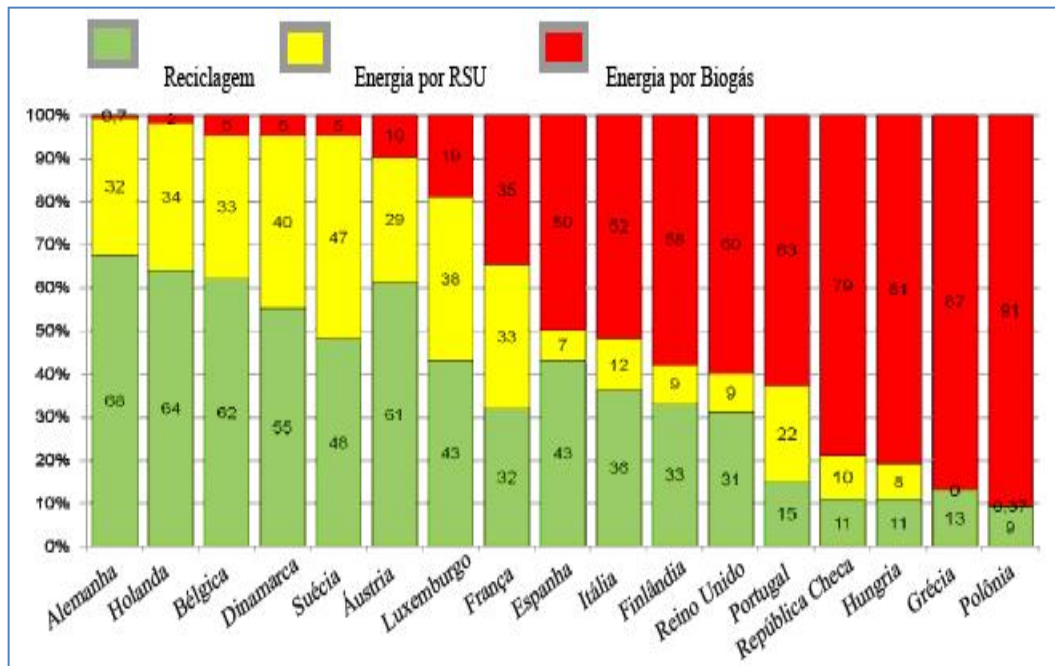


Gráfico 4 – Rotas de destinação final para os RSU na UE em 2006, em (%)
Fonte: CEWEP, 2008, p.2, tradução nossa

Quanto ao aproveitamento do biogás, ou gás do lixo (GDL), segundo Willumsen (2001 apud Sato, 2009) existem aproximadamente 950 instalações de GDL em todo o mundo, nas quais o gás é utilizado com propósito energético. A maior ocorrência dessas instalações está nos Estados Unidos, Alemanha, Reino Unido, Suécia e Holanda. Conforme demonstra o Gráfico 4, a Europa vem adotando este aproveitamento: no Reino Unido, por exemplo, através de mecanismo *feed-in tariffs* chamado *Non-fossil Fuel Obligation* (NFFO), atingiu, ao final do ano 2000, mais de 2 milhões de pessoas com eletricidade produzida a partir do GDL, evitando a emissão de 460 mil toneladas de metano para a atmosfera.

A gaseificação por plasma é utilizada por mais de 100 plantas em diversos países (VIMEO, 2009), principalmente no Japão. Um bom exemplo é a japonesa Eco Valley Utashinai, que começou a operar em 2002, e atualmente processa 300 toneladas por dia de

RSU, incluindo resíduos automotivos, com a geração de 7900 kWh de eletricidade, exportando 4300 kWh à rede elétrica (STRICKLAND, 2009).

Com relação à reciclagem, ABRELPE (2009) levantou que, dos 5.565 municípios brasileiros, 3.109 apresentam iniciativas de coleta seletiva (55,9% do total). Porém, muitas dessas iniciativas resumem-se na disponibilização de pontos de entrega voluntária pela população ou na simples formalização de convênios com cooperativas de catadores para a execução dos serviços. A distribuição dos municípios com coleta seletiva varia muito entre as regiões brasileiras: enquanto no sudeste 78,4% dos municípios apresentam o serviço, no nordeste apenas 33,7% o possuem.

Segundo Kacowicz (2009), o Brasil recicla atualmente cerca de 12% das 150 mil toneladas de lixo geradas diariamente¹¹. Sendo que a adoção da reciclagem aparentemente não guarda relação com porte dos municípios, visto que na maior cidade brasileira, São Paulo, das 15.000 t/dia de resíduos gerados – sendo 9.000 de origem domiciliar – apenas 0,6%, ou 54 toneladas são recicladas (PMSP, 2009). A perda atual pela não reciclagem é calculada em R\$ 10 bilhões/ano (KACOWICZ, 2009). Como contraponto, Agnoletto e Cabral [2006?] informam taxa de reciclagem de 27% nos EUA. Apesar da maior proporção de resíduos orgânicos no lixo brasileiro, a diferença de taxas mostra que há espaço para crescimento.

Pesquisa realizada junto a municípios gaúchos verificou os motivos para a não implantação da reciclagem. A principal causa apontada por 69% dos questionados foi a falta de planejamento, sendo que apenas 10% atribuíram a problemas de custo, e 2% à falta de mercado (GOVERNO DO RIO GRANDE DO SUL, 2006).

Com relação aos problemas de custos, a pesquisa CEMPRE (2009) apurou um valor médio de US\$ 42.90¹² por tonelada de coleta convencional *versus* US\$ 221.00 para a coleta seletiva. Sendo que a trajetória desta diferença de preços mostra redução ao longo do tempo: foi de 10 vezes em 1994 contra 5 vezes em 2008.

CEMPRE (2009) levantou 405 municípios brasileiros com coleta seletiva, representando 7% do total. Na pesquisa anterior, de 2006, eram 327. Cerca de 14% da população é atendida pelo serviço, ou 26 milhões de brasileiros. Sendo que 201 municípios trabalham com o modelo porta-a-porta e 105 mantêm postos de entrega voluntária (PEV). Verificou que 43% deles mantêm relacionamento com cooperativas de catadores. Enquanto 48% dos municípios da região sudeste prestam o serviço, na região norte este percentual é de apenas 2%.

¹¹ Informação que diverge da apresentada na Tabela 1, de 8%.

¹² Considerados US\$ 1.00 = R\$ 1,70.

Segundo ABRELPE (2008) a análise da evolução brasileira dos índices de reciclagem dos principais materiais aponta para uma tendência de estabilização, conforme demonstra o Gráfico 5. A reciclagem de latas de alumínio e aço já atingiu níveis elevados de reaproveitamento, mas o PET, vidro e papel apresentam potencial para crescimento. A estabilização verificada parece refletir problemas logísticos no ciclo de distribuição e retorno do reciclado à produção.

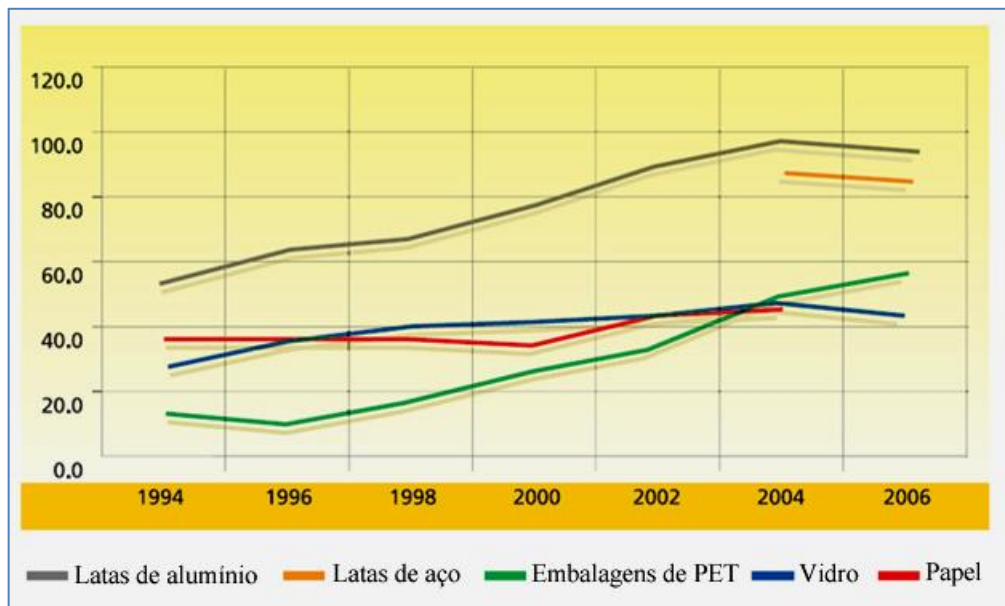


Gráfico 5 – Evolução dos índices de reciclagem no Brasil

Fonte: ABRELPE, 2008, p.38

Além dos componentes econômicos apresentados, a reciclagem representa importante meio de geração de emprego e renda. Cerca de 800 mil brasileiros sobrevivem da catação de reciclados, com uma renda média de 1 a 1,5 salário mínimo (LIXO..., 2008), quase todos sem carteira de trabalho assinada. Pelos cálculos do Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis (MNCR) esses trabalhadores são responsáveis por 90% do processo de reciclagem, mas ficam apenas com 10% do lucro proveniente da atividade. Estima-se que 71% dos catadores que não vivem nas capitais ainda trabalhe dentro de lixões (LIXO..., 2009).

Os dados levantados por ABRELPE (2009), de 45,1% de direcionamento para lixões e aterros precários, mais a parcela de 12% não coletada, mostra que a precariedade da GRU relativa aos resíduos sólidos decorre, em grande parte, de fatores de ordem cultural e política. Fatores de ordem cultural estão presentes na falta de priorização ambiental por grande parte da população, que se reflete no descarte de lixo em locais inapropriados e na pouca disposição

para a separação de recicláveis, etc. Talvez falte uma associação mais forte entre algumas doenças e a falta de saneamento: na pesquisa Instituto Trata Brasil (2009)¹³, em pergunta de múltipla escolha que aceitava mais de uma resposta, 49% dos entrevistados considerou a saúde como área mais problemática, e apenas 4% lembrou da coleta de lixo. 31% dos entrevistados nem sequer sabia o que significava “saneamento básico”. Outra pesquisa realizada na região metropolitana do Recife apurou que 61,22% dizem se preocupar muito com o meio ambiente e 51,30% afirmam que nunca separam o lixo reciclável (CADÊ..., 2009).

Nas empresas, a busca de resultados de curto prazo, em detrimento de uma visão mais abrangente e longa, não estimula mudança de processos, materiais e embalagens, de modo a minimizar os resíduos e facilitar o reuso e reciclagem. A busca do lucro imediato leva à produção de bens de baixa qualidade, com reduzida vida útil e de obsolescência programada, que resultam na necessidade de compras mais frequentes e conseqüente aumento nos descartes. Outro ponto é a obstaculização de avanços na legislação ambiental, a exemplo do Projeto de Lei 203/91, que é obstaculizado sistematicamente por pressões de segmentos empresariais, para evitar as responsabilizações decorrentes do princípio poluidor-pagador presentes no Projeto, que pretende instituir a “Política Nacional de Resíduos Sólidos”. A morosidade com que avança no Congresso mostra também a falta de priorização do poder legislativo federal com a questão. Outro ponto é a reclamação por parte dos governos de que as empresas tendem a não disputar preço, judicializando e emperrando as licitações (FELÍCIO; BARROS, 2008).

No âmbito do poder executivo a GRU também tende a não ser priorizada, por envolver significativos recursos financeiros, apresentar tempos de implantação relativamente longos frente aos mandatos, e dar baixa visibilidade política aos investimentos, além da percepção pelos gestores públicos que não há essa priorização pela população, conforme demonstraram as pesquisas relatadas anteriormente.

Outros aspectos de ordem política podem ser levantados. De um lado, os contratos de lixo estão entre os maiores assinados pelas prefeituras, representando de 4% a 10% do orçamento anual do município, e as empresas prestadoras dos serviços constarem como importantes patrocinadoras de campanhas eleitorais. De outro, a legislação atual permite, na prática, uma empresa operar sem licitação por todo o mandato de um prefeito, através do recurso dos contratos emergenciais. Em face disso a promotoria pública informa ser comum,

¹³ Pesquisa realizada pelo IBOPE, que ouviu mais de mil pessoas em 79 municípios com mais de 300 mil habitantes.

principalmente no nordeste, a mudança das concessionárias públicas com a posse dos novos prefeitos. Ocorrem também denúncias da existência de uma “Máfia do Lixo”, que não permite o acesso das pequenas empresas aos processos licitatórios brasileiros (FELÍCIO; BARROS, 2008). O mercado de RSU movimenta mais de R\$ 17 bilhões por ano no Brasil, e está nas mãos de poucas empresas, boa parte delas pertencentes a empreiteiras (PINHEIRO, 2009).

São diversas também as causas do baixo aproveitamento energético dos RSU no Brasil. Uma barreira que vem inibindo esta expansão é a preocupação com a efetividade da mitigação da poluição atmosférica provocada pelas ULE. Em décadas passadas as campanhas mundiais contra a incineração de resíduos e a divulgação do teor cancerígeno das emissões fez com que esta via fosse severamente inibida. Atualmente, apesar da grande evolução das tecnologias de controle das emissões, a resistência a sua implementação ainda é muito grande. Exemplo desta preocupação consta em AIDIS (2006), que entre as conclusões ligadas a aspectos de sustentabilidade econômica, registrou:

Sobre a questão do uso da tecnologia incineração é necessário enfatizar a necessidade de convocar um amplo debate na sociedade na América Latina e Caribe para avaliar os reais benefícios deste tipo de tratamento, entendendo que seu uso nos países da Europa e da América do Norte se deve a motivos que não estão presentes nos países da região em foco. Mais precisamente, esta opção se deve à falta de **espaço físico** para a instalação de aterros sanitários e as medidas de controle ambiental para proibir, a partir de meados de 2005, a eliminação dos resíduos biodegradáveis no solo, assim como altos custos da mão de obra. Apesar dos avanços tecnológicos que mostram uma **redução nas emissões** de gases tóxicos, como dioxinas e furanos, potencialmente cancerígenos, a incineração de resíduos é listada como a principal fonte de geração destes compostos. Desta forma, a sociedade não está suficientemente esclarecida sobre os efeitos cumulativos dos gases tóxicos e tampouco sobre as **vantagens comparativas entre a queima de materiais recicláveis para gerar energia ou reciclagem** (AIDIS, 2006, p.22 e 23, tradução e grifo nossos).

Este pensamento vem sendo combatido em eventos que abordam a GRU, como NILSSON (1999, pg.100, tradução nossa):

...a atitude pública e política negativa de alguns países com relação à incineração de resíduos é um sério problema. Para a aceitação da incineração de resíduos é fundamental que o método seja reconhecido como de respeito ao meio ambiente. Se não, a incineração de resíduos corre o risco de ser substituída por outros, menos favoráveis, em função de uma atitude negativa infundada...

Os argumentos usados nesses pontos de vista são trabalhados ao longo da dissertação. A escolha da melhor destinação, pela variedade e complexidade das variáveis envolvidas, dificilmente poderá ser generalizada, pela necessidade da GRU estar inserida na realidade local, conforme demonstram os conceitos apresentados no início da seção 1.2. Se, por um

lado, o dilema quanto à escolha entre a queima de materiais recicláveis para gerar energia ou reciclagem mostra-se frágil, diante do desempenho de países desenvolvidos, como a Holanda, mostrados na Tabela 3, por outro, as diversas barreiras existentes no Brasil, muitas delas comuns aos países em desenvolvimento, parecem justificar o temor sobre a real capacidade de controle das emissões, por conta de mecanismos de C&C, caso as ULE venham a ser implementadas nesses países.

Do ponto de vista do mercado elétrico, Costa, C. (2006) conclui que no Brasil não existem resistências da população às fontes de energia elétrica renováveis (E-FER), mas que existe insuficiente organização e mobilização das associações/instituições destas fontes, e o nível local não exerce influência na política do setor elétrico.

Ainda Costa, C. (2006) vê barreiras relacionadas à conexão dos empreendimentos na rede de energia elétrica, mas observa que o governo resiste em tomar decisões, preocupado com os impactos na tarifa ao consumidor final e face ao potencial hídrico brasileiro, mas sugere que o governo pondere as dificuldades para a realização de novos projetos de hidroeletricidade e o crescimento da termoeletricidade de origem fóssil.

Alves (2000) pondera que uma dificuldade para a ampliação da recuperação energética do biogás está na formação de um mercado, face à necessidade de interação de diversos atores: agência ambiental; proprietários de ETE e locais de deposição de resíduos sólidos (LDRS); empresas de exploração de biogás; usuários da energia; e provedores dos recursos financeiros. A agência ambiental teria o papel promover este aproveitamento, criar um mercado fornecedor de tecnologia, e estimular o mercado possuidor de ETE a praticar esta recuperação. Percebe que o risco de acidentes associado à recuperação, armazenamento e uso de biogás¹⁴ pode impedir a adoção dessa prática num LDRS ou ETE, e que o projeto de recuperação de biogás deve incluir a análise de risco de acidentes da instalação. Cita também como entrave para a expansão no uso do biogás o da Agência Nacional do Petróleo (ANP) não tê-lo autorizado como combustível veicular.

O Brasil queima cerca de 1 milhão de metros cúbicos de biogás por dia¹⁵, considerando LDRS, ETE e agroindústria, que poderiam ter destinação energética, mas os projetos de queima simples do biogás são suficientes para a habilitação à créditos de carbono (PAÍS..., 2009).

¹⁴ Alves (2000) informa que a relação de concentração entre biogás e ar, de 1 para 20, é explosiva.

¹⁵ Quantidade equivalente a 3% da capacidade do Gasoduto Bolívia-Brasil (Gasbol) e suficiente para abastecer 200 postos com gás natural veicular (GNV) ou acionar uma usina termoelétrica de 100 MW.

Entre as barreiras identificadas por Tolmasquim et al. (2003) para a penetração das tecnologias de geração de energia a partir de resíduos estão: a falta de uma política de viabilização no país; a falta de informação dos tomadores de decisão sobre as alternativas tecnológicas; a não contabilização dos custos ambientais e à saúde das tecnologias tradicionais e alternativas de geração elétrica; a pouca disponibilidade de dados e trabalhos sobre os custos das conseqüências do atual sistema brasileiro de RSU; o custo do investimento inicial ser maior que o requerido para termelétricas que utilizam combustíveis fósseis; a garantia de que os municípios cumpram com o fornecimento do insumo durante a vida útil das ULE, em média 20 anos; a garantia de compra da energia gerada pelas distribuidoras ou prefeituras. Em algumas das dificuldades listadas permeia a questão da estabilidade e adequação de normativos e legislações que diminuam os riscos na tomada de decisão acerca do investimento. A implantação de ações em um setor da economia (setor elétrico) como solução para problemas decorrentes de outro (setor de resíduos) demandaria entendimentos entre diversas áreas dos governos e segmentos da sociedade, gerando resistências por parte de *stackholders* que se sintam ameaçados pelas mudanças, de modo que discussão tenha a consistência necessária para identificar e isolar os interesses individuais que não signifiquem a melhor alternativa para a sociedade. No Brasil é difícil ocorrer o entendimento entre áreas diferentes do governo face à distribuição dos cargos diretivos dos ministérios, secretarias e empresas estatais entre os diversos partidos políticos, conjugada a uma cultura de priorização dos interesses pessoais e partidários em relação aos coletivos (GOMES, 2007).

Se, de um lado, há o risco dos municípios não cumprirem os contratos de fornecimento de RSU, de outro está a possibilidade da energia gerada não ser vendida, face às dificuldades legais ligadas à comercialização descentralizada da energia elétrica gerada por pequenos produtores no âmbito do Ambiente de Contratação Regulada (ACR). Segundo Brito (2009), só na cidade do Rio de Janeiro poderiam ser colocados diretamente na rede de distribuição um valor aproximado de 76.400 MWh/ano, evitando os custos de ligação aos troncos de transmissão. Souza (2009) informa que para a viabilização da geração distribuída não há necessidade de modificações na Lei 10.848/04, mas apenas ajustes no Decreto 5.163/04: a retirada da trava decorrente do “preço-teto” e da obrigatoriedade da venda apenas para a distribuidora na qual o agente está conectado.

Concluída a contextualização atual GRU brasileira em relação aos resíduos sólidos urbanos, e os obstáculos à evolução, a próxima seção busca a mesma reflexão, porém direcionada aos resíduos líquidos.

1.4 A contextualização dos esgotos brasileiros

Numa contextualização histórica, até a década de 1960 as políticas governamentais para o setor de saneamento básico eram esporádicas e localizadas. Havia precariedade no atendimento e falta de investimentos, com reflexos nas altas taxas de mortalidade infantil e quadro de deterioração sanitária (IBGE, 2000).

No período de 1964 a 1985 os recursos do setor passaram a ser gerenciados pelo Banco Nacional da Habitação (BNH), através do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), que incentivou a concessão dos serviços pelos municípios aos estados. Os estados eram responsáveis pela negociação com os municípios, e se beneficiavam dos recursos, na medida em que não havia adesão dos municípios ao Plano.

A constituição de 1988 trouxe de volta a responsabilidade dessas políticas públicas ao poder municipal, com vários desafios, como a capacidade desigual dos municípios em atender as demandas na implantação e aprimoramento dos serviços de saneamento (IBGE, 2000). Pela legislação atual (Lei 11.445) o município é o poder concedente do serviço de escoamento cloacal.

Pela pesquisa nacional IBGE (2000), a destinação preponderante dos esgotos residenciais, por quantidade de distritos¹⁶, era a utilização de redes coletoras, num percentual de 41,6%; seguida com 28,2% pelas fossas sépticas e sumidouros; e 24,7% pelas fossas secas. Dos 9.848 distritos computados, apenas 4097 apresentavam algum tipo de coleta cloacal¹⁷ (taxa de 41,6%). Desta fração com coleta, apenas 1.383 tratavam os resíduos antes de lançá-los em cursos de água. O volume de esgoto tratado era cerca de 5,1 milhões de m³ ao dia, de um total coletado em torno de 14,6 milhões de m³ diários. O Brasil apresentava cerca de 22 milhões de economias esgotadas, sendo em torno de 18 milhões residenciais. A prestação de serviço de esgotamento sanitário variava muito nas diversas regiões brasileiras, conforme demonstra a Tabela 4. Enquanto na região norte, 92,9% dos municípios não eram servidos, este percentual era de 7,1% na região sudeste.

¹⁶ IBGE (2000) considerou como unidade de pesquisa os distritos, divisões territoriais dos municípios.

¹⁷ IBGE (2000) considerou como “município servido” aquele que apresentava algum tipo de serviço de esgotamento sanitário, independentemente da extensão da rede coletora, do número de ligações ou de economias esgotadas.

Tabela 4 – Esgotamento sanitário de municípios por região – 2000

Regiões	Proporção de municípios, por condição de esgotamento sanitário(%)		
	Sem coleta	Só coleta	Coleta e tratamento
Norte	92,9	3,5	3,6
Nordeste	57,1	29,6	13,3
Sudeste	7,1	59,8	33,1
Sul	61,1	17,2	21,7
Centro-oeste	82,1	5,6	12,3
Brasil	47,8	32,0	20,2

Fonte: IBGE, 2000, não paginado.

A prestação dos serviços de coleta cloacal encontra-se, ainda hoje, concentrada principalmente em operadores públicos. Em IBGE (2000), dos 4.097 distritos com coleta de esgoto sanitário, 2.594 eram executados pela administração direta do poder público, 443 por autarquias, e 1.033 por empresa com participação majoritária do poder público. Atualmente as empresas privadas respondem pelo atendimento nos serviços de esgoto a 13,6 milhões de pessoas, apenas 9,6% da população urbana (REDE..., 2008).

Assim como para os RSU, também anualmente o Ministério das Cidades divulga relatório referente aos setores de água e esgotos. Os resultados do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos (DSAE) referentes a 2006, relativos aos esgotos, são apresentados no Quadro 4.

Característica	Resultado
Tamanho da Amostra	Participaram da amostra 4.516 municípios com serviços de água e 1.251 com serviços de esgotos
Índices obtidos	O índice médio nacional de coleta foi de 48,3%, enquanto que o índice de tratamento dos esgotos gerados foi de 32,2%
População atendida	Da amostra, a população urbana atendida foi de 69,4 milhões de habitantes, com 15,8 milhões de ligações ativas, abrangendo 20,7 milhões de moradias
Evolução comparativa	A análise evolutiva dos últimos quatro anos (2003 a 2006), indicam a incorporação de novas 5,2 milhões de ligações ativas de água e 3,2 milhões de ligações ativas de esgotos, correspondendo a incrementos anuais médios de 4,5 e 6,3%, respectivamente
Crescimento dos investimentos	Observou-se crescimento de 28,0% nos investimentos, quando comparados ao ano de 2005, sendo de 37,9% o crescimento dos investimentos em sistemas de esgotos
Investimentos em esgotos	Os investimentos em esgotos representaram 40,9% do total
Origem dos recursos	Sob a ótica da origem, 49,7% dos investimentos foram com recursos próprios, 30,3% com recursos onerosos, e 12,5% com recursos não onerosos
Investimentos acumulados	Os investimentos acumulados de 2003 a 2006 totalizam R\$ 14,2 bilhões (em valores históricos)

Quadro 4 – Resultados do DSAE 2006

Fonte: MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007. Elaboração do autor.

Nota: Para efeito de simplificação, o Relatório considera como volume total de esgotos a quantidade total de água consumida.

Pelas mesmas razões relativas ao DMRSU, as amostras do DSAE não podem ser tratadas estatisticamente, mas seus resultados, de 48,3% de esgotos coletados e 32,2% de esgotos tratados, seguramente tende a piorar se incluídos os municípios menores, que proporcionalmente participam menos do levantamento.

A conclusão de Ministério das Cidades (2007, p.163) foi de que “os resultados levantados confirmam os elevados déficits de atendimento desses serviços, com prejuízo da qualidade ambiental e da saúde das pessoas, refletindo o fracasso da busca pela universalização, princípio fundamental da nova política de saneamento básico do País, a Lei 11.445/07”.

Muitos dos obstáculos para a evolução na GRU relativa aos resíduos sólidos se aplicam também aos resíduos líquidos, mas existe uma diferença importante com relação à arrecadação: a taxa de recolhimento de lixo, via de regra, é cobrada anualmente em conjunto com o Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), e ingressa para o erário do município, que fica com o encargo da sua gestão. Se o recurso for insuficiente para pagar a prestação do serviço, a prefeitura acaba lançando mão de outros recursos, muitas vezes onerosos, para cobrir a diferença. Já a cobrança pela prestação dos serviços de esgotos normalmente não se mistura com o erário municipal. A arrecadação ocorre conjuntamente com a cobrança pelo fornecimento de água, ficando sujeita à saúde financeira das concessionárias, na maioria das vezes administradas pelos estados¹⁸. Ocorre que o nível de endividamento da maioria dessas concessionárias é grande (REDE ..., 2008), de modo que o baixo investimento em saneamento decorre, em parte, de um ciclo vicioso: o baixo nível de renda da maioria da população impede a cobrança de tarifas adequadas. Por arrecadar pouco e ter elevada inadimplência, os concessionários deixam de fazer investimentos. Por sua vez, a falta de investimentos leva à ineficiência operacional, que aumenta os custos de operação e limita o índice de cobertura do serviço. Finalmente, a má qualidade dos serviços desestimula ainda mais a população a pagá-los, fechando o ciclo (MOREIRA, 2006).

O volume dos investimentos em saneamento básico tem se mostrado insuficiente: Ministério das Cidades (2008b) informa investimentos de R\$ 14,2 bi no período de 2003/2006, sendo que estudo realizado pela SNSA em 2003 revelou que, para a universalização dos serviços de abastecimento de água e esgoto sanitário até 2010, 2015 e 2020, seriam necessários investimentos na ordem de R\$ 70 bi, R\$ 123,6 bi e R\$ 178,4 bi, respectivamente. Considerando a universalização dos serviços até 2020, seriam necessários

¹⁸ Apenas 9,6% da população urbana é atendida por empresas privadas (REDE..., 2008).

investimentos de aproximadamente R\$ 9 bilhões/ano, equivalentes a 0,45% do PIB (COSTA, 2004). Porém a disponibilização de recursos para saneamento básico no ano de 2007 foi bastante superior aos anos anteriores: da ordem de R\$10,40 bilhões, sendo R\$ 4,3 oriundos do Orçamento da União e R\$ 2,9 provenientes de recursos do Plano de Aceleração do Crescimento (PAC), ambos não onerosos, e R\$ 3,15 originários de recursos do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS), onerosos (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008b).

Com o acréscimo de recursos destinados pelo Plano de Aceleração do Crescimento (PAC) do Governo Federal; o retorno da disponibilização de recursos do FGTS, ocorrida a partir do ano de 2003; além dos mecanismos legais propiciados pelas Leis 11.079 (PPP), 11.107 (consórcios públicos) e 11.445 (diretrizes)¹⁹; e a análise dos dados constantes da Tabela 5, podemos concluir que a falta de disponibilização de recursos não é obstáculo para a realização dos investimentos.

Tabela 5 – Valores históricos comprometidos e desembolsados em iniciativas de saneamento básico, em milhões de reais

Ano	Comprometidos	Desembolsados
2003	2.059,1	738,7
2004	2.551,7	1.034,1
2005	3.038,0	1.374,3
2006	3.441,2	3.163,2
2007	10.244,9	3.528,8
Total	21.334,9	9.839,1

Fonte: MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008b, p.14

Nota: A grande diferença entre os valores orçados e desembolsados decorre da demora na execução das obras e de contingenciamentos orçamentários, dos quais os recursos do PAC não estão sujeitos, por serem considerados prioritários.

Diante desse cenário: disponibilidade de recursos para investimentos e falta de condições para as companhias estaduais os contraírem, estão sendo estudadas formas de capitalização dessas empresas. As possibilidades são a entrada do FGTS como investidor minoritário no capital dessas empresas ou a aquisição pelo FGTS de títulos mobiliários, como debêntures emitidos por elas, para capitalização (REDE..., 2008).

Importantes geradoras de metano, as ETE poderiam se credenciar a receitas oriundas do mercado de créditos de carbono, mas observa-se que este recurso não vem sendo explorado.

Além da questão financeira, outros aspectos que desestimulam a construção das redes de esgotos podem ser elencados: podem ser mal vistas pela população em função do

¹⁹ Estas legislações são comentadas na seção 1.6.

transtorno das obras; não são obras rápidas, sendo que o tempo de execução muitas vezes pode ser superior ao de um mandato eleitoral; o investimento fica enterrado, enfraquecendo o uso político da benfeitoria; e o fato das ETE gerarem mau cheiro e desvalorizarem os imóveis próximos. Por estes motivos os governantes acabam priorizando outros investimentos, e adiando o enfrentamento dos problemas decorrentes da falta desta infra-estrutura.

Prova da pouca priorização desses investimentos na visão da população é o resultado da pesquisa Instituto Trata Brasil (2009), onde apenas 2% dos entrevistados consideraram as condições de esgoto quando escolheram seu candidato nas últimas eleições municipais. Esse número sobe para 5% entre os que não possuem o serviço de coleta. Na opinião de 61% dos entrevistados os candidatos também não se mostram preocupados com o tema. Essa percepção é maior por aqueles que não estão ligados à rede e por moradores da periferia (67%).

Os investimentos em esgotamento sanitário, coleta de lixo e drenagem urbana perdem força, também, por serem menos importantes do que levar água para quem ainda não dispõe desse serviço e a necessita como elemento para a sobrevivência nas cidades (OLIVEIRA FILHO, 2006 apud MOREIRA, 2006).

Outros aspectos, que valem também para os resíduos sólidos, dizem respeito ao nível de desenvolvimento e as desigualdades regionais. As dimensões continentais e as desigualdades entre as regiões brasileiras, com as comunidades sofrendo escassez de recursos e muitas vezes distantes dos grandes centros urbanos, dificultam o acesso à informação e à qualificação dos recursos humanos. O baixo nível de qualificação dessas populações se reflete nos seus quadros técnicos e dirigentes, com reflexos no ritmo e na qualidade da implantação das melhorias. A carência de informação dos governantes, servidores e concessionários impede-os de perceber as oportunidades de investimento, deixando de elaborar e apresentar os projetos de saneamento básico que trariam melhorias para a coletividade, e para os quais são disponibilizados recursos orçamentários da União, inclusive não onerosos. Esta condição resulta também em: falta de qualidade de gestão; fragilidade dos controles internos; baixa automação e padronização dos processos; pouca transparência na prestação de contas à comunidade; falta de qualidade na gestão dos investimentos e elaboração de projetos; dificuldade de desburocratização dos serviços; poucas ações de pesquisa e desenvolvimento, etc. (COSTA, 2004). A falta de qualificação da mão de obra se reflete também na operação e manutenção dos bens de capital, muitas vezes importados.

Conhecida a situação atual e as barreiras para a evolução da GRU brasileira, a próxima seção dedica-se a verificar a amplitude dos malefícios decorrentes do descaso com a destinação final correta para os resíduos correta, e trazer luz sobre o dilema da conveniência

da adoção da geração energética pela incineração, ponto de divergência nas opiniões ligadas ao setor.

1.5 Malefícios associados aos resíduos

A apresentação dos problemas causados pelos resíduos esta dividida em duas seções, a primeira com as conseqüências da utilização de lixões e aterros precários, e a segunda, com a comparação das emissões das usinas à lixo em relação as termoeletricas baseadas em combustíveis fósseis.

1.5.1 Problemas decorrentes da destinação incorreta dos resíduos sólidos urbanos e esgotos

O descarte sem tratamento dos resíduos sólidos e águas servidas apresenta diversas conseqüências, como as apresentadas a seguir.

A decomposição anaeróbica da fração orgânica dos resíduos, seja por depósito irregular ou lançamento em cursos d'água, gera mau cheiro, prejudicando o bem-estar da população do seu entorno, que ainda sofre com a desvalorização de seus imóveis. Constituem num ambiente fértil à proliferação de microvetores causadores de diversos tipos de enfermidades (NAIME, 2004), sendo que o tempo de sobrevivência desses microorganismos em meio aos resíduos pode ser bastante longo, como demonstra o Quadro 5.

Organismo	Tempo (dias)
<i>Salmonella Typhi</i>	29 – 70
<i>Embamoeba Histolytica</i>	08 – 12
<i>Ascaris Lumbricoides</i>	2000 – 2500
<i>Leptospira Interrogans</i>	15 – 43
Vírus da Pólio	020 – 170
Bacilo da Tuberculose	150 – 180
Larvas de vermes	25 – 40

Quadro 5 – Microvetores e seu tempo de sobrevivência no lixo

Fonte: Lima, 1995, p. 30

Além dos microvetores, a porção orgânica dos resíduos estimula o aparecimento de macrovetores, como os ratos, causadores da peste bubônica e leptospirose; moscas, que transmitem febres, cólera, tuberculose, lepra, varíola, hepatite, amebiose e teniase; mosquitos,

que transmitem viroses, dengue, febre amarela e malária; baratas, que transmitem poliomielite; e aves, como os urubus, que transmitem toxoplasmose.

O Quadro 6 relaciona por categoria algumas das enfermidades provocadas por micro e macrovetores, causadas pelo contato ou ingestão de elementos contaminados.

Categoria	Doenças
Doenças de transmissão feco-oral	Diarréias ⁽¹⁾ Febres entéricas Hepatite A
Doenças transmitidas por inseto vetor	Dengue Febre Amarela Leishmanioses (L.tegumentar e L. visceral) Filariose linfática Malária Doença de Chagas
Doenças transmitidas através do contato com a água	Esquistossomose Leptospirose
Doenças relacionadas com a higiene	Doenças dos olhos: tracoma e conjuntivites Doenças da pele: micoses superficiais
Geo-helminhos e teníases	Helmintíases ⁽²⁾ Teníases

Quadro 6 – Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado – DRSAI

Fonte: IBGE, 2004, p.213

Notas: (1) Diarréias: *Balantidium coli*; *Cryptosporidium* sp; *Entamoeba histolytica*; *Giárdia lamblia*; *Isospora belli*; *Campylobacter jejuni*; *Escherichia coli*; *Salmonella* não tifóide; *Shigella* disenteriae; *Yersinia enterocolítica*; *Vibrio cholerae*; *Astrovírus*; *Calicivírus*; *Adenovírus*; *Norwalk*; *Rotavírus*. (2) Helmintíases: ancilostomíase; ascaridíase; enterobíase; estrogiloidíase; tricuriase; teníase; cisticercose; equinococose.

O indicador DRSAI é calculado pela razão entre o número de internações hospitalares por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado a cada 100 mil habitantes, com base nas Autorizações de Internação Hospitalar (AIH) do Serviço único de Saúde (SUS) e os dados de população, produzidos pelo IBGE. Em 2002 foram hospitalizadas pelo SUS 375 pessoas a cada 100.000 habitantes pelas doenças acima relacionadas. Como a estatística contempla apenas as internações, é de se imaginar uma amplitude muito maior se fossem considerados os atendimentos ambulatoriais e as consultas médicas decorrentes das doenças acima citadas.

A conclusão de IBGE (2004, p.214) sintetiza adequadamente a questão:

A precariedade nos sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta e destino final dos resíduos sólidos, drenagem urbana, bem como a higiene inadequada, se constituem em risco para a saúde da população, sobretudo para as pessoas mais carentes dos países em desenvolvimento, que ainda ficam com sua dignidade afetada. Ampliar o acesso ao saneamento é fundamental para melhorar a qualidade de vida e reduzir a pobreza, um dos objetivos essenciais do desenvolvimento

sustentável.

A contaminação das águas superficiais e lençóis freáticos ocorre por tipos diferentes de poluição: a poluição física provoca a turbidez e formação de bancos de lodo; a poluição química é provocada pelos detergentes e resíduos tóxicos industriais e agrícolas, entre outros. Atuando como estímulo à eutrofização²⁰. O chorume²¹ é exemplo de poluição bioquímica, que causa a redução no nível de oxigênio das águas, elevando sua Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)²². Por fim, a poluição biológica ocorre através dos coliformes fecais e outros patogênicos trazidas aos corpos d'água pelos resíduos.

Estas poluições são particularmente danosas se considerarmos que o Brasil possui o maior manancial de água doce subterrânea do mundo, o Aquífero Guarany²³. A contaminação dos aquíferos ocorre nas áreas de afloramento, por infiltração.

O despejo “in natura” de esgotos nos cursos d'água reduz a sua disponibilidade para consumo, e, apesar do Brasil possuir a privilegiada condição de possuir 12% da água doce superficial do planeta, a sua distribuição é desigual: enquanto o Norte e o Centro-Oeste do País detêm 68% e 16% do total, respectivamente, nos populosos Nordeste, Sudeste e Sul, a taxa é de 3%, 6% e 7%. Em algumas regiões do Nordeste a disponibilidade é crítica, de apenas 3,8 m³ por pessoa/dia (CZAPSKI, 2009).

Os riscos de contaminação são ampliados pela indevida mistura ao lixo comum de resíduos hospitalares e agrícolas (embalagens de defensivos agrícolas e pesticidas), que possuem legislações específicas para descarte²⁴.

Os danos para a saúde também podem ser originados pela absorção de substâncias nocivas, como metais pesados, oriundos do descarte de sucata eletrônica, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes, pneus, etc.

A popularização dos eletroeletrônicos e a rápida obsolescência dos modelos está levando ao descarte desenfreado desses produtos, com danos ambientais em função do

²⁰ A eutrofização é o fenômeno da proliferação excessiva de algas, em função do excesso de nutrientes, matéria orgânica, fósforo e nitrogênio lançados nos corpos d'água pelos efluentes.

²¹ Chorume é um líquido de cor escura e forte odor, produzido pela infiltração da água das chuvas e pela degradação de compostos, que percolam através da massa de lixo aterrada, carreando materiais dissolvidos ou suspensos, cujo potencial poluidor ainda não é de todo conhecido.

²² A DBO mostra a quantidade do oxigênio dissolvido num corpo d'água consumido pela atividade bacteriana. Quanto maior é o teor de matéria orgânica na água, maior será a DBO. Se a DBO for muito alta, o oxigênio da água é rapidamente consumido. O restante da decomposição da matéria orgânica passa a ser anaeróbica.

²³ O Aquífero Guarany possui 1,2 milhão de km² de área total, dos quais 70% sob território brasileiro, situado no subsolo de oito estados brasileiros - RS, SC, PR, SP, GO, MT, MG e MS (MONTAIA, [2006]).

²⁴ A resolução CONAMA nº 5 de 05/08/93 para a destinação de resíduos hospitalares e a lei 7.802 de 11.07.89 para embalagens agrícolas.

expressivo volume²⁵ e pelos metais pesados presentes em seus componentes. Problema agravado pela falta de regras e locais apropriados para a sua disposição (PALLONE, [2008 ou 2009]).

O Quadro 7 relaciona os principais metais pesados constantes no “e-lixo”, os equipamentos que os utilizam, e os danos que põem causar à saúde.

Substância	Onde é encontrada	Danos à saúde
Chumbo	Computador, celular, televisão	Irritabilidade, tremores musculares, lentidão de raciocínio, alucinação, insônia e hiperatividade
Mercurio	Computador, monitor e TV e tela plana	Problemas de estômago, distúrbios renais e neurológicos, alterações genéticas e no metabolismo
Cádmio	Computador, monitores de tubo, baterias de laptops	Agente cancerígeno, afeta o sistema nervoso, provoca dores reumáticas, distúrbios metabólicos e problemas pulmonares
Arsênico	Celular	Doenças de pele, sistema nervoso e câncer no pulmão
Belírio	Computador e celular	Câncer no pulmão
Retardantes de chamas (BRT)	Em componentes eletrônicos	Desordens hormonais, nervosas e reprodutivas

Quadro 7 – Metais pesados em eletrônicos

Fontes: Paiva, 2008 e Pallone, [2008 ou 2009]. Elaboração do autor.

Os metais pesados também estão presentes nas pilhas, baterias e lâmpadas fluorescentes. Estima-se que no Brasil sejam descartadas mais de 1 bilhão de pilhas e baterias por ano. Apesar de não ser ilegal o descarte desses produtos em aterros sanitários quando atendem aos limites máximos de metais pesados – cádmio, zinco, chumbo, manganês e mercúrio – a sua disposição vem ocorrendo também em aterros precários e lixões. Além do que, estima-se que 40% das pilhas vendidas no Brasil são contrabandeadas, e estão fora dos padrões de segurança ambiental. Essas pilhas, trazidas especialmente da China, contêm concentrações de cádmio e chumbo cerca de 10 vezes superior à permitida pela resolução CONAMA 257/1998. Ao passo que os teores de zinco e manganês, que são os elementos ativos das pilhas, têm concentrações mais baixas que o mínimo exigido por aquela legislação. A consequência é a redução na vida útil do produto, com aumento no descarte e, conseqüentemente, na poluição (COSTA, 2009a).

As lâmpadas fluorescentes e eletrônicas apresentam uma composição altamente tóxica. Seu tubo é preenchido com gás argônio e vapor de mercúrio, ambos a baixa pressão. O interior do tubo é revestido com uma poeira fosforosa, que geralmente é o clorofluorofosfato de

²⁵ Segundo a ONG Greenpeace, o lixo eletrônico no mundo é da ordem de 50 milhões de toneladas por ano (dados de 2008).

cálcio, com antimônio e manganês (1 a 2%) e outros metais pesados em menor quantidade. Ao ser rompido, liberará o mercúrio sob a forma de vapor, que poderá ser aspirado por quem a manuseia. Se o descarte for inadequado, o mercúrio e os outros metais contidos na poeira fosforosa contaminarão o solo e, devido ao processo de lixiviação causado pelas chuvas, serão arrastados para os cursos d'água e alcançarão a cadeia alimentar (ALMEIDA, 2004).

Os pneus, se descartados a céu aberto, servem de criadouro para os mosquitos transmissores de doenças. Se depositados em aterros, tendem a voltar à superfície e romper as coberturas das camadas, prejudicando o assentamento da terra, ou com o seu aço, podem perfurar a impermeabilização dos aterros. Além de lixiviar substâncias químicas orgânicas potencialmente prejudiciais. Se queimados a céu aberto, liberam óleo pirolítico, que contém produtos químicos tóxicos e metais pesados capazes de produzir efeitos adversos à saúde, e contaminar o solo, água superficial e subterrânea. E emissões tóxicas estão associadas a cânceres, mortalidade prematura, deterioração das funções pulmonares, problemas do coração, e depressão do sistema nervoso e central. A sua queima em fornos de cimenteiras apenas reduz, mas não elimina a poluição gasosa. A reciclagem também é difícil por não ser possível obter matéria-prima, a partir do pneu, com propriedades similares às dos materiais originais usados na sua produção. Além do custo para seu corte, trituração e granulação ser elevado (MATTOS, 2006).

Além de trazer problemas para a saúde e bem-estar das pessoas e danos ao meio ambiente, pela contaminação do solo e das águas, os resíduos trazem conseqüências climáticas. Ocorre que a decomposição da matéria orgânica presente no lixo e esgoto libera o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4), dois dos principais gases que, presentes na atmosfera terrestre, apresentam a propriedade de deixar passar a luz solar em direção à terra, e de reter o calor que sobe da superfície, gerando um efeito estufa. A capacidade de contribuição de cada gás para o efeito estufa é proporcional à capacidade de reter o calor; de sua concentração e tempo de vida na atmosfera; e de suas interações com outros gases e com o vapor d'água (GOLDEMBERG, 1998). A capacidade de reter o calor é dada pela medida “potencial de aquecimento global”, conhecida por GWP. Para se estabelecer a relação entre os GEE convencionou-se a GWP do dióxido de carbono como 1. O GWP de cada gás varia ao longo do tempo, por exemplo, Goldemberg (1998) informou GWP do metano para 100 anos em 23, se o tempo considerado fosse 20 anos ou 500 anos, os resultados seriam 56 e 6,5, respectivamente (CETESB, 2006).

São muitas as conseqüências do efeito estufa, e entre elas estão: a elevação do nível

dos mares pelo derretimento de geleiras²⁶, provocando redução nas terras hoje ocupadas; os furacões devem ser cada vez mais freqüentes e intensos; outros fenômenos climáticos como o El Niño e La Niña estão se tornando mais freqüentes; e as secas, na região dos trópicos, mais longas e intensas.

A emissão de GEE ocorre em função da geração e utilização de energia (edificações, transportes, indústrias e geração elétrica), ou por outros motivos (resíduos, agricultura, uso da terra). O Gráfico 6 apresenta a participação de cada fonte na emissão de GEE, em dados do ano 2000, que totalizaram 42 GtCO₂e²⁷.

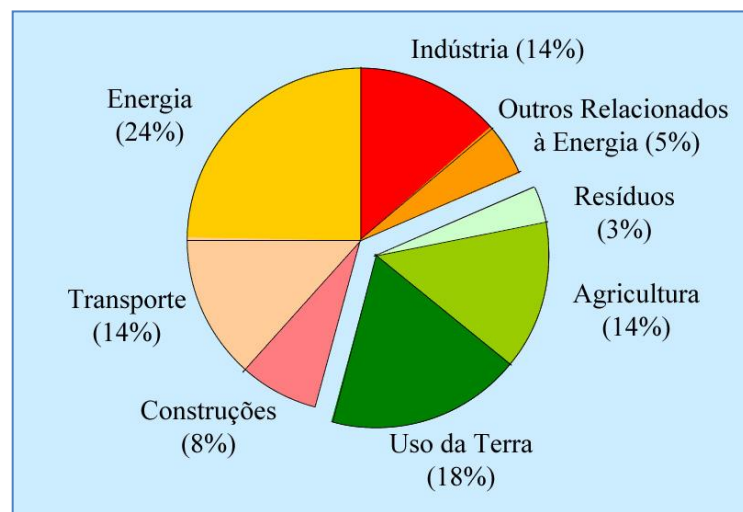


Gráfico 6 – Fontes de emissões de GEE a nível mundial em 2000

Fonte: Stern, 2006, p.171, tradução nossa

Esse gráfico mostra a participação direta de 3% relativa aos resíduos no aquecimento global em 2000, mas a forma da sua gestão influencia em outros dois setores: energia e transportes. O Relatório Stein (2006) traz a participação de 3,6%²⁸ dos resíduos, no total de 14% que compõe a participação do metano nos gases de efeito estufa (GEE). Ou seja, cerca de 25% do metano emitido globalmente provêm da decomposição dos resíduos. Este percentual é compatível com a informação de Borba (2006), de que alguns índices apresentados pelo Banco Mundial (2003) indicam como de 20% as emissões de metano liberadas na atmosfera pelos dejetos.

O Primeiro Inventário Nacional de Emissões de Metano pelo Manejo de Resíduos foi

²⁶ O derretimento de geleiras talvez seja a face mais visível do aquecimento global. Imagens de satélite tomadas no verão de 1979 e no de 2008 do Ártico mostram uma redução de 33% na camada de gelo (NARLOCH, 2009), que já permite a navios fazerem pelo Ártico a rota entre a Ásia e a Europa (FAVARO, 2009).

²⁷ Na medida CO₂e (todos os gases de determinada emissão são convertidos em CO₂ pela aplicação dos respectivos GWP, conforme a participação “equivalente” de cada um na mistura.

²⁸ Da participação de 3,6% relativa aos resíduos, 2% são oriundos de aterros e 1,6% de esgotos.

realizado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) utilizando a metodologia IPCC 1996²⁹. A publicação ocorreu no ano de 1998, tendo abrangido os anos de 1990 a 1994, obtendo os resultados constantes da Tabela 6.

Tabela 6 – Estimativa das emissões de metano no Brasil, em milhares de tCH₄/ano

Tipo	1990	1994
Resíduos sólidos	618	677
Resíduos líquidos domésticos	39	43
Resíduos líquidos industriais	79	83
Totais	737	803

Fonte: MCT, 2006, p.75

Nota: As estimativas de erro associadas aos cálculos foram de 54% para resíduos sólidos, 34% para águas residuárias domésticas e 41% para águas residuárias industriais.

Sendo o 5º país mais populoso do mundo, e com níveis de coleta e tratamento de resíduos relativamente baixos, o volume de emissões posiciona o País entre os 10 maiores emissores mundiais pelo setor de resíduos, com a contribuição de 53 MtCO₂e,. As atuais iniciativas de abatimento neste setor representam apenas 3% do potencial de redução do País, e estão principalmente concentradas na reciclagem do lixo e no aproveitamento do biogás oriundo de aterros sanitários (MCKINSEY & COMPANY, [2009]).

Pelos dados apresentados, observa-se que são diversos os malefícios decorrentes do descaso com a destinação dos resíduos sólidos e líquidos urbanos, e justificam a preocupação para a implementação de instrumentos e políticas que levem à sua reversão. Uma das alternativas de destinação é a incineração, de larga utilização pelos países desenvolvidos, que aproveitam o seu potencial energético para geração de energia, revertendo-o em receitas, que trazem componentes de sustentabilidade econômica e ambiental para a sua gestão. Mas, mesmo nos países onde as plantas WtE estão instaladas, segmentos da sociedade manifestam temor quanto aos riscos decorrentes das emissões gasosas. Até que ponto esses temores são justificados e qual é a vantagem da utilização das WtE em substituição às termelétricas convencionais, no tocante à geração de GEE? O próximo tópico busca responder estas duas questões.

1.5.2 Malefícios das usinas termelétricas versus usinas lixo-energia

²⁹ O IPCC vem publicando manuais para a homogeneização dos procedimentos de inventário da emissão de GEE. A versão atual está disponível em IPCC (2006).

Observa-se que, na ausência de legislações mais restritivas às atividades econômicas poluentes e metas de controle do aquecimento global, as vantagens competitivas das usinas termelétricas que utilizam combustíveis fósseis vêm predominando nos novos investimentos em geração elétrica. Apesar de bastante poluente, o carvão mineral caracteriza-se como uma commodity barata, abundante, e de fácil uso energético; gera eletricidade a baixo custo: de US\$ 0,03 a 0,05 por kWh; e exige baixo investimento na planta: US\$ 600 por kW na China (MORGAN STANLEY, 2007). A título de exemplo, cerca de 85% da nova capacidade geradora chinesa, de 90 GW, é derivada da queima do carvão (MCGREGORE, 2007).

Por enquanto não há sinais de arrefecimento na utilização de combustíveis fósseis para a produção elétrica, fato que contribui para que o relatório “Panorama da Energia Mundial”, divulgado pela Agência Internacional de Energia, no seu cenário mais positivo, preveja uma estabilização na concentração de GEE somente em 2025, a níveis 30% superiores aos de 2005 (BARREIRAS..., 2007). Entre os derivados de petróleo, as emissões do carvão tendem a apresentar maior crescimento, conforme demonstra o Gráfico 7. De um patamar de pouco mais de 20 bilhões de t CO₂ em 1990, estima-se sua duplicação até o ano de 2030.

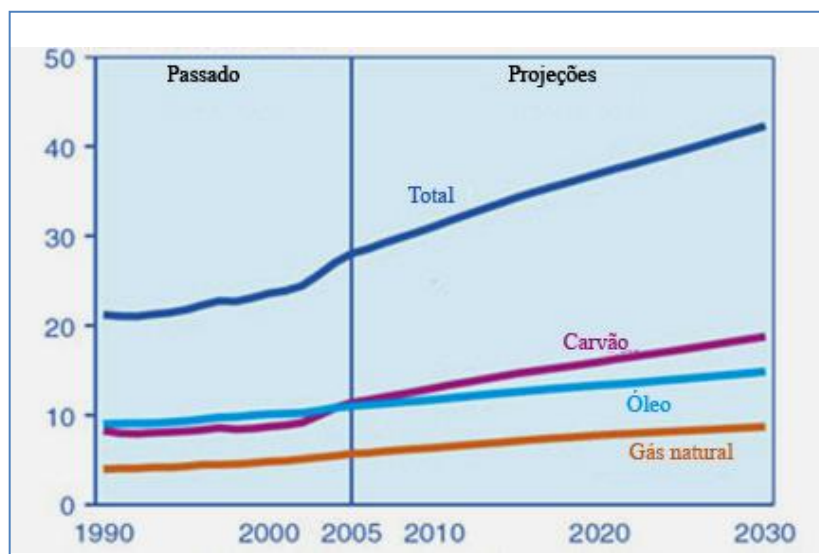


Gráfico 7 – Geração mundial de energia associada com a emissão de dióxido de carbono, por tipo de combustível (Em bilhões de toneladas de CO₂)

Fonte: EIA, 2008, não paginado, tradução nossa

Esta tendência de crescimento da energia dita “suja” também está presente no Brasil, apesar da matriz elétrica brasileira ainda ser “limpa”. Enquanto cerca de 40% das emissões globais de CO₂ são provenientes do setor de energia e transportes (KNAPP, 2007), no Brasil estes setores são responsáveis por apenas 13% das emissões, principalmente porque enquanto a nível global a participação do setor de energia elétrica é de 27%, no âmbito local este

percentual é de apenas 1,7%, em função da predominância das usinas hidrelétricas (UHE) (MCKINSEY & COMPANY, [2009]). A participação desta fonte geradora é em torno de 75% da capacidade total instalada do País, servindo de fonte para 80% da eletricidade consumida em 2008. Como consequência, o País emite em média 94 toneladas de CO₂e para cada GWh de energia produzida, ao passo que a média global de intensidade de carbono é de 580 t/GWh. Alguns países com alta dependência de termoeletricas a carvão chegam a atingir média de emissão de 1000 t/GWh (MCKINSEY & COMPANY, [2009]).

Mas esta benéfica situação está mudando, pois os mais recentes leilões de energia nova realizados no Brasil apontam para o crescimento das fontes mais poluidoras, a exemplo do 7º leilão de geração, para entrega de energia a partir de 2013 (Leilão A-5)³⁰, ocorrido em 30 de setembro de 2008, onde foram negociados 3.125 MW_{médios}³¹ provenientes de 24 empreendimentos, onde, a exemplo dos últimos leilões de geração, o atendimento da demanda projetada se deu predominantemente a partir da energia de empreendimentos térmicos, com destaque para o óleo combustível, que respondeu por 64% do volume total contratado; do gás natural liquefeito (GNL) com 22%; e do carvão mineral importado, com outros 9%. Deste leilão, 95% da energia contratada será proveniente de termelétricas, a um preço em torno de R\$ 146,00, contra cerca de R\$ 99,00 para a energia hídrica (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2008b). Este resultado, associado aos seis anteriores, ocorridos no período compreendido entre 16 de dezembro de 2005 e 17 de setembro de 2008, demonstram que as hidrelétricas estão perdendo participação no mercado, conforme demonstra o Gráfico 8.

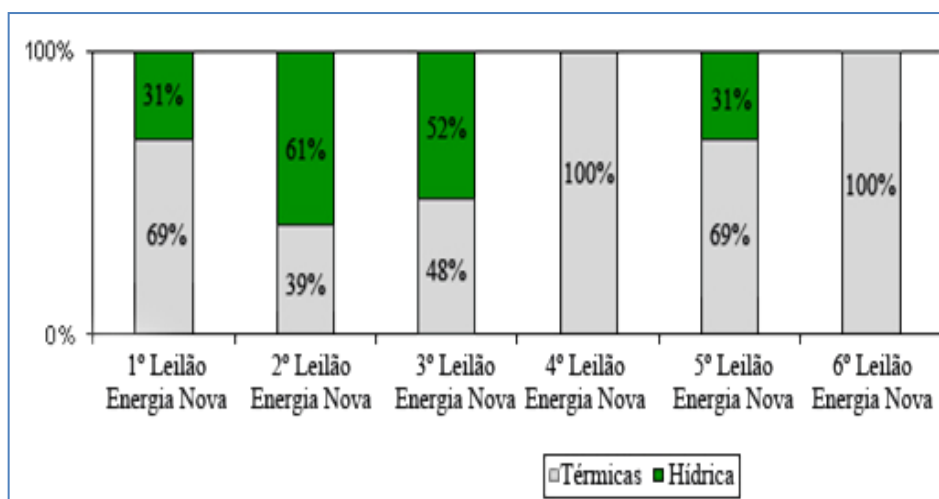


Gráfico 8 – Balanço das fontes nos leilões de energia nova, em (%)
 Fonte: Instituto Acende Brasil, 2008a, não paginado. Elaboração do autor.

³⁰ Além dos leilões A-5, são também realizados leilões A-3, para fornecimento de energia em 3 anos.

³¹ MW médio é a medida da demanda média de energia elétrica ocorrida em um determinado período de tempo, dada pelo somatório da demanda do período dividida pela unidade de tempo desejada.

Absorvendo esta tendência, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDEE) 2008-2017, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), prevê a entrada em funcionamento de 82 UTE³², com a elevação em 172% no lançamento de GEE oriundos das termelétricas, somando 39,3 milhões de tCO₂e no ano de 2017. Mesmo com a entrada em funcionamento das usinas do Rio Madeira (Santo Antônio e Jirau) e de Belo Monte, a participação da fonte hídrica na matriz elétrica nacional cairá de 85,9% no início de 2008 para 75,9% em 2017 (MME, 2008e).

A preocupação com a crescente utilização das UTE decorre dos malefícios que provoca, cuja estimativa é necessária para a comparação com as ULE, e, por esse motivo, passam a ser objeto desta dissertação, sendo apresentados a seguir.

Além da emissão de GEE (CO₂, CH₄ e N₂O), as termelétricas liberam material particulado, óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e óxidos de enxofre (SO_x), responsáveis pelo *smog* fotoquímico³³, e por diversos danos à saúde, apresentados no Quadro 8.

Poluente	Sintoma
Dióxido de enxofre (SO₂)	Irritação respiratória, falta de ar, função pulmonar prejudicada, aumento da susceptibilidade a infecções, doenças do trato respiratório inferior (especialmente em crianças), doenças crônicas dos pulmões e fibrose pulmonar (toxidade aumentada em combinação com outros elementos)
Material particulado (MP)	Irritação respiratória, defesa imunológica alterada, toxidade sistêmica, função pulmonar diminuída e estresse do coração (age em combinação com SO ₂ . Os efeitos dependem das propriedades biológicas e químicas das partículas individuais)
Óxidos de nitrogênio (NO_x)	Irritação dos olhos e do nariz, doença do trato respiratório, danos ao pulmão, função pulmonar diminuída e estresse do coração
Monóxido de carbono (CO)	Interfere no oxigênio do sangue (anóxia crônica). Pode resultar em danos ao coração e ao cérebro, percepção prejudicada, asfixia; ou, em doses menores, fraquezas, fadiga, dores de cabeça e náuseas
Chumbo	Doenças dos rins e prejuízos neurológicos (afeta principalmente as crianças)
Oxidantes fotoquímicos (ex.ozônio)	Função pulmonar diminuída, estresse ou falha do coração, enfisema, fibrose e envelhecimento do pulmão e do tecido respiratório

Quadro 8 – Principais poluentes do ar e seus sintomas

Fonte: Goldemberg (1998), p.66

Os sulfatos também podem causar danos à saúde animal. Principalmente àqueles que naturalmente apresentam menor capacidade respiratória, como o gado gordo, cujas reservas

³² Atualmente são 77 UTEs em operação, com potencia instalada de 15.445 kW. Até 2017 serão adicionadas 82, com potência instalada de 15.305 kW. Totalizarão 159 usinas, com capacidade para 30.750 kW (MME, 2008e).

³³ Foi mundialmente comentada pelo prejuízo às atividades esportivas nos jogos olímpicos de Pequim, em 2008.

respiratórias são reduzidas devido à gordura. Porém é necessária uma concentração excessiva de CO₂ para que os animais de pequeno porte sejam mortos (ELETROBRÁS, 2000).

Do ponto de vista dos prejuízos ao meio ambiente, as emissões das UTE geram acúmulo de material particulado sobre os vegetais, prejudicando seu desenvolvimento. O SO₂ e o NO_x podem ser levados pelo vento a distâncias de até 1000 km, tornando-se um problema que ultrapassa a esfera local, atingindo amplitude interestadual e internacional. Causam danos por dois mecanismos: a precipitação seca, que causa danos às estruturas metálicas e à vegetação; e a precipitação úmida, quando dissolvidos na água das chuvas ou em vapores d'água atmosféricos. Os principais ácidos da “chuva ácida” são o sulfúrico (H₂SO₄) e o nítrico (HNO₃), que tem associada às suas conseqüências declínios da população de peixes (GOLDEMBERG, 1998).

Quando partículas de grande diâmetro são transportadas a uma alta velocidade causam abrasão. O ataque químico direto ocorre através de reações químicas de redução e oxidação dos poluentes. O ataque químico indireto ocorre quando o poluente é absorvido e reage com algum componente do absorvente formando um produto destrutivo. Por exemplo, o couro tende a se tornar quebradiço após absorver o óxido de enxofre. Ocorre também a corrosão eletrolítica, que causa diferenças químicas e físicas na superfície dos metais (ELETROBRÁS, 2000). O SO₂ provoca a redução no crescimento das plantas quando a concentração deste poluente se aproxima de 0,3 ppm por cerca de 8 horas. Entretanto para algumas culturas, como milho, girassol, algodão e tabaco, funciona como fertilizante.

Com relação à saúde humana, pesquisa promovida pela Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE), a pedido do governo Chinês, entre as conclusões obteve que até 2020 a China terá 600 mil mortes prematuras ao ano em regiões urbanas e 20 milhões de casos de doenças respiratórias ao ano, atribuídas principalmente à poluição provocada pelas termoelétricas (POLUIÇÃO..., 2007). Diversos estudos estabeleceram relações econométricas significativas relacionando o aumento de mortes e doenças com o aumento da poluição ambiental, a exemplo de Pope e Dockery (1994), que correlacionaram um aumento de 10 µg/m³ em PM₁₀³⁴ com um aumento de 3,4% na mortalidade respiratória e 1% na mortalidade cardiovascular (ELETROBRÁS, 2000).

Essas diversas conseqüências para a saúde, ambiente e clima tem aumentado a preocupação mundial com a geração energética pelos derivados de petróleo, e incentivado outras fontes de energia, principalmente a eólica e biomassa. A utilização das WtE pode ser

³⁴ A notação PM₁₀ é usada para descrever as partículas com menos de 10 micrometros (< 0,01 mm).

uma alternativa. Mas, até que ponto o aproveitamento da incineração de resíduos para a geração energética é uma destinação defensável, já que produz os mesmos tipos de emissões das UTE? A resposta a esta pergunta, do ponto de vista ambiental, implica em conhecermos o grau de poluição atmosférica WtE, e a sua capacidade de reduzir a emissão antrópica de GEE.

As emissões de GEE pelos RSU varia em função da quantidade de compostos orgânicos dos materiais que o compõe. Se sua decomposição ocorrer a céu aberto, AIDIS (2006) estima emissões da ordem de 4,1 tCO₂e por tonelada de RSU. Considera-se também que a eficiência dos aterros sanitários na captura do biogás é baixa, na ordem de 50%, resultando os restantes 50% são emissões fugitivas que acabam contribuindo para o efeito estufa (ABRELPE, 2008). Ainda AIDIS (2006) estima que a mesma tonelada de RSU, se tratada termicamente, gerará emissões na ordem de 0,7 tCO₂e.

Bonomo (2003) apresenta um número bem menor: 0,85 tCO₂e para cada t de RSU fermentada anaerobicamente em aterros, de modo que, conforme o cálculo apresentado na Tabela 7, a economia na emissão de dióxido de carbono pela utilização da rota tecnológica WtE em contraponto à disposição simples dos resíduos em aterros sanitários, é de 43%. Essa Tabela compara as emissões provenientes da incineração de uma tonelada de RSU na WtE Brescia (Itália), com as emissões provenientes de uma geração energética equivalente, utilizando óleo diesel para a geração de eletricidade (MWh_e), e gás natural (gás liquefeito de petróleo – GLP) para o aquecimento (MWh_c), sendo essa tonelada de resíduos sólidos depositada em aterro, sem aproveitamento energético. A conclusão foi a economia de 0,76 t de CO₂ equivalente, para cada tonelada de RSU.

Tabela 7 – Emissões de CO₂ evitadas pela WTE Bréscia por tonelada de RSU

	Emissões de CO ₂ e (t)
Aterro	0,85
Geração elétrica (óleo diesel: 0,75 MWh_e)	0,61
Calor (gás natural: 1 MWh_c)	0,25
Total	1,71
WTE (0,75 MWh_e + 1 MWh_c)	0,95
Economia	0,76

Fonte: Bonomo, 2003, não paginado, tradução nossa

A quantidade de CO₂ resultante da geração energética pelas WtE depende, também, da eficiência do processo de conversão. Plantas de eficiência baixa precisam de maior quantidade de resíduos para produzir a mesma unidade de energia, de modo que as emissões são proporcionalmente maiores. E a eficiência do sistema de limpeza dos gases da combustão varia com a tecnologia utilizada. O relatório *Fact Sheet 3*, divulgado no site da CAWDREC, comparou as emissões de WtE em funcionamento em Ontário, Canadá, com outros tipos de

geração elétrica, com relação à emissão de GEE, tomando como parâmetro a geração de um kWh de energia elétrica, concluindo que as emissões daquela WtE superava as provenientes de combustíveis fósseis, inclusive contribuindo com uma quantidade de GEE superior em 33% as emissões provenientes da queima do carvão. O resultado é apresentado no Gráfico 9³⁵.

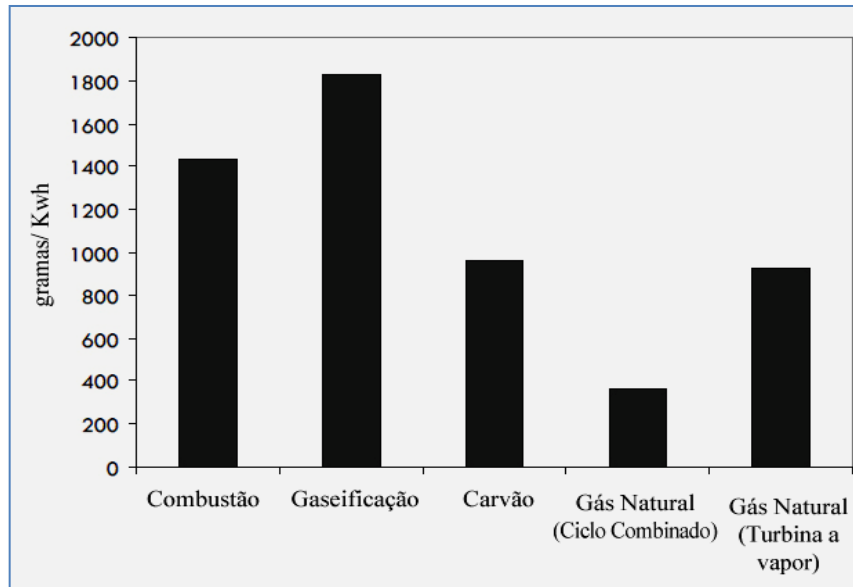


Gráfico 9 – GEE na geração de 1 kWh de eletricidade, por tipo de tratamento

Fonte: CAWDREC, [2005?], não paginado, tradução nossa

Os resultados obtidos na pesquisa canadense demonstram a importância da utilização de tecnologias eficientes de combustão para que a tecnologia resulte em ganhos efetivos na redução de GEE.

Outra avaliação de desempenho, relativo às emissões das ULE, foi apresentado por Porteous (2001), que considerou como de 85% a parcela de carbono de origem biológica existente nos RSU, correspondente a uma fração ambientalmente neutra de emissão, pela sua reabsorção natural em substituição à biomassa incinerada. A partir dessa consideração, calculou que uma típica usina WtE, que gera 0,5 MWh com uma tonelada de RSU, resulta em uma carga ambiental líquida de CO₂e da ordem de 0,264 t/MWh, menor que aquela relativa a utilização do carvão, de 0,950 t/MWh; do gás natural, de 0,525 t/MWh; e, inclusive, em relação ao gás natural com ciclo combinado (CCGT)³⁶, de 0,400 t/MWh, onde a eficiência do processo é maior.

Enquanto Porteous (2001) comparou a incineração dos RSU diretamente com os combustíveis fósseis, Murphy e Mckeogh (2004) compararam a recuperação energética dos

³⁵ Os resultados não consideraram o ganho diferencial da incineração e gaseificação em relação às emissões que seriam geradas na decomposição dos resíduos

³⁶ CCGT: ciclo combinado de turbinas a gás (combined cycle gas turbine).

RSU por três tecnologias: incineração, gaseificação e biogás. Quanto à incineração, destacaram a importância ambiental do aproveitamento térmico associado ao elétrico, pois neste caso, a contabilidade de emissões de CO₂e pode ser reduzida de 0,220 t/MWh (sem aproveitamento térmico) para 0,058 t/MWh (com esse aproveitamento). Lamentaram o fato da tecnologia da gaseificação ainda não possuir escala comercial, pois a avaliaram como mais vantajosa que a incineração quando o objetivo é apenas elétrico, caso em que a emissão de CO₂ resulta em 0,115 t/MWh. Os autores entenderem que o biogás não deve ser considerado como substituto direto da incineração ou gaseificação, por aproveitar apenas a parcela orgânica dos resíduos. Calcularam em 0,058 t/MWh e 0,198 t/MWh as emissões de CO₂e, sendo o primeiro caso dado relativo ao aterro com o aproveitamento térmico do biogás, e o segundo, quando é realizada apenas a sua queima, sem ganho energético.

Tolmasquim et al. (2003) , a partir dos resultados da metodologia IPCC (1996), adotaram que cada tonelada de lixo com a composição típica brasileira emite 65 kg de metano. Ao invés de considerar o GWP de 21³⁷, conservadoramente o consideraram como 20, estimando em uma unidade a reabsorção pela vegetação na fotossíntese. Os autores informaram a emissão de GEE em aterros como de 1,3 tCO₂e por tonelada, sem queima ou recuperação do biogás. Adotaram como emissão das usinas termelétricas a quantidade de 0,449 t/MWh, relativas a gás natural em ciclo combinado, situação de menor emissão, considerando as possibilidades de geração por combustíveis fósseis, obtendo como resultado uma vantagem para a incineração de 1,95 tMWh³⁸, resultado da soma da parcela de 1,5 t/MWh, decorrente da incineração *versus* aterro, mais o ganho pela não utilização do gás natural (0,449 t/MWh).

À exceção de CAWDREC [2005?], os autores estudados concluíram que a contabilidade dos GEE mostra-se favorável às WtE, apesar das divergências quanto à amplitude do ganho, decorrentes das divergências nas metodologias utilizadas pelos diversos estudos. Cabe agora avaliar os malefícios das suas outras emissões, que incluem dioxinas, furanos, metais pesados, gases ácidos e particulados.

Entre os efeitos danosos à saúde gerados pelas emissões da incineração de resíduos, o relatório CAWDREC [2009?] cita que estudos têm mostrado taxas mais altas de câncer e defeitos congênitos em torno de incineradores de resíduos urbanos, com maiores riscos para fetos, lactentes e crianças; as partículas emitidas podem viajar grandes distâncias e serem

³⁷ A GWP do metano foi alterada de 23 para 21 em estimativas mais recentes.

³⁸ Consideraram 1,3 t de RSU para a geração de cada MWh, resultando na redução de 1,5 tCO₂e/MWh pelo consumo dos RSU.

absorvidas pelo organismo humano via respiração; além de que as dioxinas e furanos são persistentes e duram anos antes de se degradarem em formas menos perigosas, além de se acumular na cadeia alimentar. Apresenta preocupação quanto às normas de emissões serem inadequadas e permissivas em alguns países, como o Canadá, e à baixa frequência e abrangência das fiscalizações, geralmente anuais, e com poucos itens controlados. Argumentam que as cinzas do processo representam aproximadamente 1/3 dos resíduos, e apresentam resíduos tóxicos.

Em contraponto, Oliveira (2004) informa que normalmente as usinas WtE funcionam com duas câmaras de combustão controlada, sendo que na câmara primária evita-se a volatilização de grandes quantidades de metais presentes no lixo, como chumbo, cádmio, cromo, mercúrio, entre outros, além da minimização de óxidos nitrosos, que surgem apenas sob temperaturas mais elevadas. E a temperatura e o excesso de oxigênio presentes na câmara secundária fazem com que a probabilidade da existência de moléculas com grande número de átomos, como dioxinas e furanos, seja praticamente zero.

Para a compreensão das divergências de pensamento entre as correntes pró e contra as usinas lixo-energia, é importante a avaliação da evolução das tecnologias de incineração ocorrida nos últimos anos. A Tabela 8 informa as emissões da WtE Brescia em 1994, comparativamente aos limites vigentes àquela época, e a sua performance em 2003, comparativamente aos limites vigentes na UE a partir do ano 2000. Observa-se que ocorreu uma grande evolução no controle da poluição como resposta a uma legislação mais rigorosa.

Tabela 8 – Comparação entre as emissões da WtE Brescia com a legislação européia

Substância (mg/Nm ³)	Limites autorizados em 1993	Desempenho da planta em 1994	Limites vigentes na UE em 2000	Desempenho da planta em 2003
Particulados	10	3	10	< 0,5
Dióxido de enxofre (SO ₂)	150	40	50	10
Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	200	100	200	80
Cloridrato de hidrogênio (ClH)	30	20	10	5
Fluoreto de hidrogênio (FH)	1	1	1	0,2
Monóxido de carbono	100	40	50	20
Metais pesados	2	0,5	0,5	0,01
Cádmio (Cd)	0,1	0,02	0,05	0,002
Mercúrio (Hg)	0,1	0,02	0,05	0,002
HAP ⁽¹⁾	0,05	0,01	-	0,001
Dioxina (TCDD Teq) ng/Nm ³ ⁽²⁾	0,1	0,1	0,1	0,01

Fonte: Bonomo, 2003, não paginado, tradução nossa

Nota: (1) Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (2) TCDD = Polychlorinated dibenzodioxins e Teq = “toxicidade equivalente”, onde a dioxina é a medida de referência (Teq=1), a partir da qual se comparam os outros poluentes; 1 ng = 0,000000001g ou 1 x 10⁻⁹ g e Nm³ = “normal” metro cúbico, onde “normal” é a medição em definidas condições de temperatura e pressão.

Resgatando a comparação apresentada para o CO₂ na Tabela 7: [incineração *versus* (aterro + eletricidade e calor com derivados de petróleo)], e levando essa comparação para outras importantes emissões – particulados, SO₂ e NO_x – Bonomo (2003) informou reduções de 94%, 93% e 47%, respectivamente, na comparação das UTE com a WtE Brescia. Enquanto as UTE emitem de 80 a 350 g/MWh de particulados, as WtE liberam cerca de 22 g/MWh (PORTEOUS, 2001). Esses dados mostram que, do ponto de vista ambiental, às WtE são preferíveis às UTE.

A legislação CONAMA nº 316, de 29 de Outubro de 2002, estabelece os limites de emissões atmosféricas pela incineração, além de dispor sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. A Tabela 9 compara algumas das emissões da ULE Usinaverde, em funcionamento experimental na Ilha do Fundão (RJ), com a referida legislação, e com os limites vigentes na União Européia (ano 2000).

Tabela 9 – Comparação das emissões de ULE Usinaverde com a legislação brasileira e européia

Substância (mg/Nm ³)	Limites brasileiros Resolução CONAMA 316/2002	Desempenho da planta Usinaverde em 2004	Limites de emissões vigentes UE em 2000
Particulados	70	38,42	10
Dióxido de enxofre (SO ₂)	280	8,61	50
Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	560	319,23	200
Cloridrato de hidrogênio (ClH)	80	32,16	10
Fluoreto de hidrogênio (FH)	5	0,12	1
Monóxido de carbono	100	n/d	50
Cádmio (Cd) (Classe 1)	0,28	0,111	0,05
Mercúrio (Hg) (Classe 1)	0,28	<0,0001	0,05
Metais pesados (UE)	-	-	0,5
Metais pesados (Classe 2-Brasil) ⁽¹⁾	1,4	0,054	-
Metais pesados (Classe 3-Brasil) ⁽²⁾	7	4,156	-
Dioxina (TCDD Teq) ng/Nm ³	0,50	0,32	0,1

Fontes: Bonomo (2003); Brasil (2002b); Usinaverde [2008?]a. Elaboração do autor.

Notas: (1) Classe 2: arsênio, cobalto, níquel, telúrio, selênio; (2) Classe 3: antimônio, chumbo, cromo, cianetos, cobre, estanho, fluoretos, manganês, platina, paládio, ródio e vanádio.

A análise dos dados permite concluir que a legislação brasileira é menos rigorosa em relação à européia, e a tecnologia nacional, embora compatível com a legislação local, não alcança os padrões europeus em materiais particulados e outras substâncias nocivas à saúde e ao meio ambiente.

Levantados os malefícios decorrentes das situações indesejadas à nível da GRU e pelo crescimento da geração energética pelas UTE, e concluída a comparação UTE *versus* WtE, a próxima seção procura resgatar as principais legislações brasileiras, esfera federal, que formam o arcabouço legal para o planejamento e operacionalização da GRU.

1.6 Instrumentos de comando e controle brasileiros para a gestão de resíduos

Os instrumentos de C & C ainda se constituem na principal alternativa utilizada pelo governo brasileiro para a implementação de políticas ambientais, sendo o marco regulatório atual a Lei 6.938/81, que dispôs sobre a “Política Nacional do Meio Ambiente”, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, que, entre outras regulamentações, instituiu o SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente, sendo que na sua estrutura atual fazem parte o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a Secretaria do Meio Ambiente da Presidência da República (SEMA), o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), além dos órgãos ou entidades estaduais e municipais (BRASIL, 1981).

Em 1988, o inciso XX do artigo 21º da Constituição Federal, definiu como competência da União “instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, inclusive habitação, saneamento básico e transportes urbanos”. No seu artigo 23º, inciso IX, definiu como competência comum das três esferas federativas: “promover programas de construção de moradias e a melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico”. Também o artigo 25º, parágrafo 3º, estabeleceu: “Os Estados poderão, mediante lei complementar, instituir regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões, constituídas por agrupamentos de Municípios limítrofes, para integrar a organização, o planejamento e a execução de funções públicas de interesse comum”. Pelo inciso V do artigo 30º, define como competência dos municípios: “organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, incluído o de transporte coletivo, que tem caráter essencial”.

Pela Constituição Federal, a competência para a gestão dos resíduos urbanos envolve a União, estados e municípios: o Governo Federal, pela definição de diretrizes e programas conjuntos com estados e municípios; os estados, através de legislação, pelo agrupamento de municípios para melhor executar serviços de interesse público; ficando a responsabilidade direta pela execução dos serviços essenciais aos municípios (BRASIL, 1988).

Numa seqüência histórica, destacamos a seguir as legislações que formam o atual arcabouço legal associado aos resíduos.

Em 1989, a Resolução CONAMA n.º 05 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 (CAIXETA, 2005).

Em 1997, a Lei 9.433 instituiu a “Política Nacional de Recursos Hídricos”, versando sobre objetivos; diretrizes de ação; instrumentos; planos de recursos hídricos; classificação dos corpos de água; outorga de direitos de uso; cobrança pelo uso; sistema de informações sobre recursos hídricos; ações do poder público; objetivos, composição e atribuições dos participantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; e infrações e penalidades. Estabeleceu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, capitaneado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

A Lei 9.605/98 dispôs sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Com relação à poluição e outros crimes ambientais, prevê pena de reclusão, de um a quatro anos, e multa, para quem causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora. Se o crime for culposo, detenção de seis meses a um ano, e multa. Em situações mais graves a pena pode chegar a cinco anos de reclusão (BRASIL, 1998).

A Resolução CONAMA n.º 264, de 26 agosto de 1999, dispôs sobre o licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer, para atividade de coprocessamento de resíduos na fabricação de cimento. Estabeleceu os critérios quanto à utilização dos resíduos e licenciamento ambiental, além de limites de emissão e estabelecimento de monitoramento ambiental, entre outros (BRASIL, 1999).

A Agência Nacional de Águas (ANA) foi criada pela Lei nº 9.984/00, estando entre suas principais competências a supervisão, controle e avaliação das ações e atividades decorrentes do cumprimento da legislação federal pertinente aos recursos hídricos, bem como promover a elaboração de estudos para subsidiar a aplicação de recursos financeiros da União em obras e serviços de controle da poluição hídrica, em consonância com o estabelecido nos planos de recursos hídricos (BRASIL, 2000).

Em 2001, a Resolução CONAMA n.º 283 dispôs sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde (RSS) (CAIXETA, 2005).

O novo código civil – Lei 10.406, de 10 de janeiro de 2002 – no artigo 1.291, estabeleceu que proprietário de imóvel não pode poluir águas indispensáveis às primeiras necessidades de outros à jusante. E no artigo 1.309 proibiu construções capazes de poluir, ou inutilizar para uso ordinário, águas preexistentes (PELLACANI, 2007).

De outubro de 2002, a Resolução 316 do CONAMA dispôs sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Estabeleceu procedimentos operacionais, limites de emissão e critérios de desempenho, controle,

tratamento e disposição final de efluentes relativos à incineração. Seus principais limites de emissão estão relacionados na Tabela 9 (BRASIL, 2002b).

A Lei nº 11.079/04 instituiu as normas gerais para licitação e contratação de parcerias público-privadas no âmbito da administração pública. A parceria público-privada é um contrato administrativo de concessão em duas modalidades: patrocinada, quando a concessão de serviços ou obras públicas envolver, adicionalmente à tarifa cobrada dos usuários, uma contraprestação pecuniária do parceiro público ao parceiro privado; ou administrativa, mediante contrato de prestação de serviços onde a contraprestação pecuniária é exclusiva da Administração Pública, usuária direta ou indireta, ainda que envolva execução de obra ou fornecimento e instalação de bens. Ao amparo desta lei, as prefeituras têm a prerrogativa de organizar concessões com prazos longos, entre cinco e trinta e cinco anos (ROCHA; HORTA, 2005).

Outra ferramenta que abre perspectivas interessantes na gestão de resíduos é a Lei nº 11.107/05, que dispôs sobre as normas gerais de contratação de consórcios públicos. Estabeleceu como devem proceder a União, os estados, o Distrito Federal e os municípios para realizarem objetivos de interesse público regional (BRASIL, 2005).

Por sua vez, a Lei nº 11.445/07 estabeleceu as diretrizes nacionais para o saneamento básico. O Quadro 9 destaca algumas de suas resoluções, a serem observadas pelos governos que forem utilizar as PPP e consórcios (BRASIL, 2007a).

O Projeto de Lei PL 203/91, em tramitação na Câmara dos Deputados, visa instituir a “Política Nacional de Resíduos Sólidos”, que estabelecerá diretrizes nacionais para o gerenciamento dos resíduos sólidos. São mais de 140 propostas legislativas, apresentadas desde 1991, anexadas a esse PL, que aguardam votação (BOURSCHEIT, 2008). As lacunas deixadas pela inexistência desta legislação estão sendo preenchidas por resoluções de órgãos ambientais e legislações estaduais e municipais, como é o caso da resolução CONAMA 401/2008, de 4 de novembro de 2008, que estabeleceu os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias, além de critérios e padrões para o seu descarte. Esta legislação estabeleceu prazo de dois anos para o funcionamento de pontos de coleta e repasse aos fabricantes e importadores.

Esse conjunto de normas legais, ao tempo em que balizam as ações públicas e privadas do setor de resíduos, oferece ferramentas que, quando aplicadas de forma articulada com os diversos atores sociais envolvidos, e com respeito às características locais, levam à evolução do cenário apresentado nas seções 1.3 e 1.4, e passam a servir como referências de boa prática. As iniciativas para a evolução da GRU brasileira podem partir do setor público,

utilizando mecanismos como o previsto em Brasil (2005) e outros mecanismos de C&C apresentados, ou se utilizar de instrumentos econômicos e de comunicação, por iniciativa também do setor privado, inclusive de forma associada com o poder público, como é o caso das PPP (BRASIL, 2007a). Além de apresentar exemplos dessas iniciativas, e seus instrumentos econômicos associados, a próxima seção destaca elementos para a valorização econômica dos resíduos em cada etapa da GRU.

Artigos	Conteúdo
6º	Estabelece a possibilidade do poder público enquadrar como RSU o lixo originário de atividades comerciais, industriais e de serviços cuja responsabilidade pelo manejo não seja atribuída ao gerador
13º	Institui fundos para utilização como fonte de recursos ou garantia em operações de crédito
14º	Normatiza a prestação regionalizada de serviços públicos de saneamento básico
15º	Estabelece quem pode fiscalizar a prestação regionalizada de serviços públicos de saneamento básico, incluindo os consórcios públicos
16º	Define quem pode realizar a prestação regionalizada de serviços públicos de saneamento básico, incluindo empresas privadas
30º	Estabelece fatores para a estrutura de remuneração e cobrança dos serviços públicos de saneamento básico
31º	Prevê subsídios para o atendimento de usuários e localidades de baixa renda
42º	Estabelece que valores investidos em bens reversíveis pelos prestadores podem constituir créditos perante o titular, a serem recuperados mediante a exploração dos serviços
47º	Prevê o controle social dos serviços públicos de saneamento básico
52º	Institui a elaboração do PNSB - Plano Nacional de Saneamento Básico, sob a coordenação do Ministério das Cidades
53º	Institui o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico – SINISA

Quadro 9 - Destaques da Lei 11.445/07

Fonte: Brasil, 2007a. Elaboração do autor.

Esta sexta seção, que apresentou a principal legislação federal sobre resíduos, fecha o primeiro capítulo deste estudo, que buscou contextualizar a gestão de resíduos urbanos. A seção 1.1 partiu do embate histórico entre o crescimento econômico *versus* desenvolvimento sustentável, para apresentar os modernos conceitos relativos à sustentabilidade. A seção 1.2 foi dedicada a apresentação de conceitos relativos à GRU, e à apresentação de ferramentas utilizadas no seu planejamento. As duas seções seguintes apresentaram a situação atual dos resíduos sólidos urbanos e esgotos, e as barreiras existentes no Brasil para o seu desenvolvimento. A seção 1.5 agrupou duas questões: a primeira relativa às conseqüências decorrentes da destinação inadequada dos dejetos, que abrangem danos à saúde, ambiente e clima. E a segunda, para verificar as vantagens da geração energética pela utilização da incineração dos resíduos, em relação à utilização de combustíveis fósseis.

Este primeiro capítulo buscou o atingimento do primeiro dos objetivos específicos: contextualizar a GRU, conhecer a situação atual da gestão de resíduos brasileira e os malefícios decorrentes dos tratamentos incorretos despendidos ao lixo e esgoto urbanos, bem como os riscos das usinas termelétricas à lixo. O próximo capítulo é dedicado a estudar as possibilidades associadas à redução de custos e valorização energética nas diversas etapas da GRU.

2 A BUSCA DE SUSTENTABILIDADE NAS ETAPAS DA GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS

A busca da sustentabilidade na gestão dos resíduos urbanos – RSU e esgotos – ocorre tanto pela redução de custos como geração de receitas, e pode estar presente em todas as suas etapas, desde a minimização até a disposição final. Esta seção procura apresentar alternativas de políticas e instrumentos econômicos utilizados em diversos países, que possam ter a sua aplicação considerada pelos gestores, quando da formulação das estratégias para o segmento de resíduos e de energia.

As práticas apresentadas neste estudo seguem as etapas da GRU: minimização, reuso, coleta e transporte, reciclagem e compostagem, recuperação energética, e disposição final.

2.1 Minimização

As ações de minimização no âmbito da GRU compreendem a prevenção, visando a não geração dos resíduos, e as ações de redução, nas situações onde a eliminação completa não for possível. Incluem cada indivíduo, através de mudanças nos hábitos de consumo e atitudes. E nas organizações, ocorre pela redução dos desperdícios com matéria-prima, escolha de materiais para fabricação, racionalização das embalagens e processos industriais.

A seção 1.2 contextualizou a geração de resíduos, cuja taxa *per capita* tem se apresentado superior a 5% ao ano (NAIME, 2005), por fatores como o crescimento populacional e “sofisticação” nos padrões de consumo, resultado no aumento nas rendas pessoais. O crescimento populacional e a sua concentração em áreas urbanas aumentam a relevância da gestão de resíduos. Para exemplificar: em 1985 cerca de 68% da população da América Latina e Caribe se encontrava em áreas urbanas. Este percentual subiu para 76% em 2005, ou seja, de cada quatro habitantes, três vivem em cidades. Além da população urbana da região ter apresentado crescimento de 60% nesses 20 anos (AIDIS, 2006). O impacto ecológico da geração de resíduos pelo aumento no consumo e os limites do planeta (*carrying capacity*), podem ser quantificados através da simulação chamada “pegada ecológica” (GLOBAL FOOTPRINT NETWORK, 2009). Ao tempo em que é atenuada pelo progresso técnico, a “pegada ecológica” sofre agravamento pela dificuldade dos povos em mudarem seus padrões de consumo, já que mudanças no sentido da redução dos resíduos contrariam a

lógica do processo de acumulação do capital, vigente desde a ascensão do capitalismo (MAY et al., 2003).

É consenso que a minimização está no topo da hierarquia da gestão de resíduos, mas estranhamente não vem recebendo a devida atenção por parte dos setores públicos. Os planejamentos públicos no âmbito da GRU costumam aceitar e projetar o volume atual de resíduos, “esquecendo” de incluir as ações de minimização. Já no setor industrial a minimização é a principal medida na busca da redução dos resíduos (COOPER, 1999).

Porque os planos de gestão de resíduos dão proporcionalmente menor atenção à minimização da geração de resíduos? Várias são as respostas: naturalmente os planos tendem a se preocupar mais com as etapas de coleta, tratamento e disposição dos resíduos; os resultados da minimização são mais difíceis de medir; ao contrário da indústria e comércio, cujo custo é diretamente proporcional à quantidade de material utilizado nos produtos, o custo de descarte não é percebido diretamente pelas famílias, etc.

A tendência é de aumento na quantidade de resíduos descartados pelas famílias, em função das famílias pequenas descartam proporcionalmente mais resíduos por indivíduo do que as grandes, e a tendência atual é de famílias menores; os crescentes níveis renda, que levam a um maior consumo e descarte; e o aumento no número de famílias com mais de um imóvel, fato que aumenta a quantidade de bens consumidos (COOPER, 1999).

A cobrança pela disposição em aterros é uma forma de inibir a geração dos resíduos. Nesse caso é necessário cuidado na adoção do valor de cobrança, que deve ser suficientemente alto para estimular as medidas de redução, mas não ao ponto de induzir à geração de depósitos ilegais. As formas dessa cobrança são bastante variadas, em função da legislação de cada país. A Irlanda e a Suécia, por exemplo, adotaram esse instrumento econômico como forma de incentivar a separação do lixo nos locais de geração. A França, Alemanha e Holanda optaram por uma tributação específica para resíduos domésticos (CHERMONT; MOTTA, 1996).

A cobrança indireta pelo serviço de recolhimento e disposição, através da sua inclusão em impostos arrecadados pelos governos, não estimula a redução na geração. Alguns países adotaram sistemas de cobrança direta pela geração dos resíduos, estabelecendo preços unitários para o descarte de lixo doméstico, de acordo com o princípio do poluidor-pagador. A Bélgica, no seu programa *Waste Charges*, passou a cobrar valores diferenciados por tipo de item descartado. Por exemplo, “jogar fora” um aparelho de barbear custava US\$ 0,34 a unidade no início dos anos noventa (PEARCE; TURNER, 1992 apud CHERMONT; MOTTA, 1996). A Suíça adota um sistema de cobrança indireta por dois instrumentos, uma

tributação equivalente a cerca de R\$ 130,00 por moradia/ano, e a cobrança sobre os sacos de lixo, que são diferenciados, e tem preço variado conforme a capacidade: para 35 litros, o custo é equivalente a R\$ 3,00; e para 110 litros, R\$ 9,60. Não é coletado o lixo que estiver acondicionado em outro tipo de saco. O alto preço cobrado induz à minimização e gera receita para outras iniciativas ligadas à GRU (CAMARGO, 2009).

Mais usual é a cobrança pelo peso dos resíduos gerados, a exemplo da Alemanha, França e Estados Unidos (PEARCE; BRISSON, 1995a apud CHERMONT; MOTTA, 1996).

Alguns países adotaram cobranças pontuais, como a Dinamarca, com relação a embalagens plásticas e de papel; o Canadá, sobre material promocional em papel, na forma de encartes ou panfletos; a Coreia – no artigo 19 da *Resource Conservation and Reuse Promotion Law* – estabeleceu classes de produtos que passaram a sofrer tributação diferenciada, de acordo com seu tamanho e potencial dano ambiental do descarte (CHERMONT; MOTTA, 1996).

O estabelecimento de impostos sobre produtos que utilizam materiais danosos ao meio ambiente no seu processo produtivo é uma forma de incorporar os custos posteriores, de coleta e destinação final. Os efeitos ambientais refletidos nos preços incentivam um ajuste no comportamento do fabricante e do consumidor. Considera-se que uma cobrança simultânea de impostos sobre a matéria-prima e sobre o produto acabado induziria a uma mudança nos padrões de consumo (PEARCE; TURNER, 1992, apud CHERMONT; MOTTA, 1996). Porém a aplicação deste instrumento deve ocorrer de forma cuidadosa, em função dos problemas de dupla tributação, e da combinação com outros instrumentos associados à gestão dos resíduos. Países como a Dinamarca e Suécia adotaram esta taxação sobre produtos como pesticidas, baterias, e vasilhames descartáveis.

No Brasil, um projeto de lei que tramita na Câmara Municipal de Manaus prevê responsabilização pecuniária para a distribuição de folhetos, panfletos, cartazes, santinhos e outros impressos sem os devidos cuidados para evitar que os papéis fiquem jogados nas ruas. Prevê que os recursos arrecadados com a aplicação das punições reverterão para o Fundo Municipal de Meio Ambiente daquele município (PORTAL AMAZONIA, 2009). Se aprovada e cumprida, a legislação induzirá à redução no uso desta forma de mídia, com diminuição na geração de resíduos de papel.

Programas de governo tentam reduzir a geração de resíduos. Em 1999, Londres adotou o *Waste Reduction Plan*, baseado em cinco áreas de atuação junto às empresas e comunidade: redução no consumo de materiais; mudanças de processos pela adoção de novas tecnologias; melhoria na eficiência dos processos; incremento na reutilização dos resíduos; mudança de

percepção no sentido de fazer com que os resíduos fossem vistos como recursos aproveitáveis (COOPER, 1999). O português “Programa Nacional de Prevenção de Resíduos Urbanos” planeja reduzir a coleta de 50 a 100 quilos de lixo por pessoa/ano³⁹. Para tal, pretende adotar medidas como o estímulo à compostagem doméstica e redução no uso de fraldas descartáveis, entre outras medidas. Pretende reduzir a geração em 17% até 2016. Se nada for feito, a expectativa é de que ocorra o inverso, um crescimento na ordem de 4% (GARCIA, 2009).

As mudanças culturais são lentas e difíceis de dirigir, mas despertar a consciência ambiental da população através de campanhas educativas é uma forma importante de busca da minimização. É através de programas de educação que o governo francês busca uma redução em 5% dos cerca de 360 kg de lixo que cada habitante produz durante um ano (USINA..., 2008).

Se os esforços para a minimização não lograrem êxito, ocorre a geração do resíduo, cuja presença passa a ser um incômodo, que leva os indivíduos a demandarem pela sua coleta e transporte, tema da próxima seção.

2.2 Coleta e transporte

O planejamento da coleta e transporte começa pelo conhecimento das características e volumes dos resíduos, que sofre influência, além da renda, de fatores climáticos, costumes e nível educacional da população, entre outros. (GRIPPI, 2006).

Estas etapas consideram a origem e a categoria dos resíduos sólidos. Quanto à origem, podem ser classificados como: urbanos, industriais, de serviços de saúde, radioativos e agrícolas (NAIME, 2005). Quanto à categoria, os resíduos são classificados pela NBR 10004 em três segmentos: classe I, que agrega os perigosos; classe II, onde estão aqueles considerados como não inertes; e classe III, que agrupa os enquadrados como inertes.

Os perigosos possuem propriedades que podem apresentar riscos à saúde pública ou ao meio ambiente, ou características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Os de classe II apresentam características como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. Incluem matéria orgânica e vegetal. Nos classificados como inertes encontram-se as rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e

³⁹ A geração de lixo *per capita* em Portugal é estimada em 470 kg/ano (GARCIA, 2009).

borrachas de difícil degradabilidade.

Os resíduos sólidos podem ser classificados também como especiais e não especiais. Os especiais são aqueles que demandam tratamentos específicos, como pilhas e baterias; veículos; pneus; construção e demolição; restos de animais; resíduos volumosos; lodos de ETE; além das lâmpadas fluorescentes (GOVERNO DO RIO GRANDE DO SUL, 2006 e MONTEIRO et al., 2008).

Os resíduos não especiais podem ser divididos em: biodegradáveis – incluem a fração orgânica do lixo domiciliar e os resíduos verdes, e são “compostáveis”; recicláveis – parte não orgânica do lixo domiciliar, inclui papel, papelão, vidro, plásticos e metais (ferrosos e não ferrosos); e outros – onde se incluem têxteis, madeira e azeites vegetais de cozinha, e os qualificados como resíduos residenciais perigosos, como colas, tintas e solventes, inseticidas, óleo mineral, medicamentos e resíduos elétricos e eletrônicos (GOVERNO DO RIO GRANDE DO SUL, 2006).

A coleta de resíduos sólidos pode ser feita de “porta a porta” (ou domiciliar), em postos de entrega voluntária (PEV), em postos de troca, ou por catadores. O lixo pode estar misturado, ou com sua porção inorgânica (papel, vidro, metais e plásticos) separada, para uma coleta seletiva.

O planejamento da coleta e transporte de resíduos permite otimizações e ganhos de escala, como ilustram as Figuras 2 e 3. A Figura 2 apresenta um exemplo de redução de custos pela racionalização nas distâncias percorridas e utilização de veículos de maior capacidade de carga. Ao invés de cada distrito ou município transportar seu lixo até uma “estação de transferência”, aterro ou planta energética, utilizando veículos menores, conforme ilustrado na situação A, um município de maior porte ou consórcio pode utilizar uma menor quantidade de veículos de maior capacidade, com redução nas distâncias totais percorridas, resultando em ganhos econômicos e ambientais, pelo menor desembolso e emissão de poluentes decorrentes do transporte, conforme a situação B.

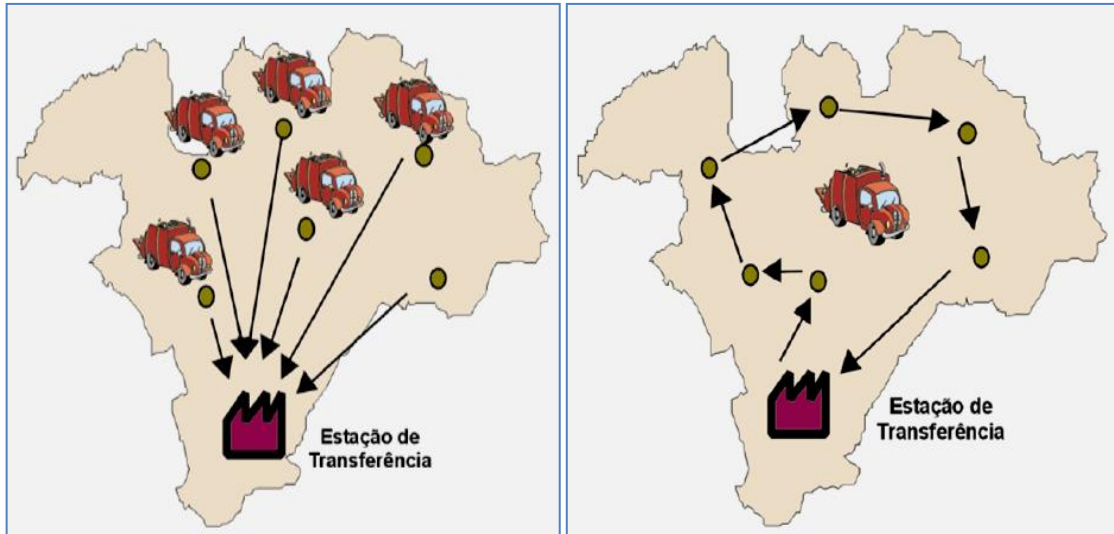


Figura 2(a) - Situação A

Figura 2(b) - Situação B

Figura 2 – Racionalização no transporte de resíduos

Fonte: GOVERNO DO RIO GRANDE DO SUL, 2006, p.130

A Figura 3 ilustra diferentes possibilidades de carregamento para transporte, com diferentes níveis de eficiência. Enquanto na situação A há necessidade de um terceiro veículo para executar o carregamento, na situação B o carregamento é direto, porém com perda de eficiência de transporte pela falta da compactação, obtida na situação C. Comparativamente à Figura 3(a), as figuras 3(b) e 3(c) representam racionalização operacional, sendo que a última demanda um investimento maior, em função do compactador.



Figura 3(a) – Estação de transferência sem compactação



Figura 3(b) – Estação de transferência direta

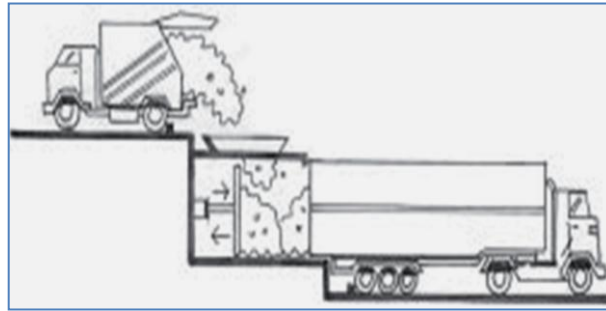


Figura 3(c) – Estação de transferência e compactação

Figura 3 – Otimização de carregamento para o transporte de resíduos

Fonte: Monteiro et al., 2008, p.122

Exemplo de iniciativa visando a racionalização do transporte dos RSU e ganhos de escala, a cidade de Belo Horizonte está obtendo uma economia de 15% sobre uma despesa mensal de R\$ 150 mil, pela utilização da sua nova Estação de Transbordo de Resíduos. O lixo coletado pelos caminhões compactadores, com capacidade de 15 m³, é transbordado para carretas com capacidade de 50 m³, racionalizando o transporte até a disposição final em aterro. A estação exigiu investimentos de R\$ 5,98 milhões e foi concluída com recursos do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), numa parceria daquela Prefeitura com o Governo Federal, viabilizada pelo programa “Saneamento para Todos”, do Ministério das Cidades. O galpão é coberto e permite a descarga simultânea de até 24 caminhões coletores compactadores em oito carretas (EVANS, 2009).

As etapas seguintes da GRU se utilizam da coleta e transporte para o encaminhamento dos RSU, inclusive lamas resultantes do tratamento dos esgotos, para a sua destinação final: reciclagem, compostagem, recuperação energética e disposição em aterros sanitários.

2.3 Reuso, reciclagem e compostagem

Dentro de uma visão mais abrangente de aproveitamento energético, a reciclagem, o reuso e a compostagem podem ser vistas como formas de minimização e recuperação energética. O reuso e a reciclagem geram redução na geração de resíduos pelo reaproveitamento das matérias-primas utilizadas nos processos de fabricação, além de reduzir a pressão exploratória sobre as suas reservas naturais. Da mesma maneira, os compostos resultantes da compostagem substituem a demanda por fertilizantes industriais, evitando a

extração dos nutrientes utilizados na sua fabricação. Como os processos industriais de produção dos recicláveis e fertilizantes demandam energia, a redução das suas produções resulta também em significativa economia energética, muitas vezes obtida às custas de poluentes fontes fósseis. Percebe-se, então, que o aproveitamento dos materiais inorgânicos pelo reuso e reciclagem, e os orgânicos, pela compostagem, apresentam múltiplas vantagens. Além das vantagens citadas, essas práticas resultam em aumento na vida útil dos aterros, pela redução na quantidade e volume de resíduos aterrados; a geração de emprego e renda, justamente para a camada mais necessitada da população; e redução na poluição gerada pelos processos produtivos (GRIPPI, 2006).

O que diferencia o reuso da reciclagem é o número de utilizações: enquanto uma garrafa de bebida pode ser reutilizada inúmeras vezes, o vidro reciclado será utilizado apenas uma vez. A economia de energia pelo reuso é maior, pois evita o dispêndio com a confecção de um novo produto ou embalagem.

Como estímulo ao reuso tem-se os “sistemas depósito-retorno” (SDR), onde são cobrados valores no ato da venda, para devolução quando da entrega da embalagem. Sua implementação pode ocorrer tanto por imposição legal, como pelas forças de mercado. No caso das forças de mercado, as duas partes envolvidas, produtores e consumidores, precisam sentir-se motivados. Os produtores a adotarão quando o custo do reaproveitamento é significativamente menor, comparativamente à aquisição de uma embalagem nova. E, para os consumidores, o valor de reembolso deve compensar o esforço de manuseio e transporte da embalagem. Na Coreia do Sul, o SDR é cobrado dos produtores (indústria), quando da venda de determinados produtos, com reembolso após efetuarem sua coleta e tratamento. Utilizam o SDR para embalagens de papel, latas de metal, garrafas de vidro, garrafas PET, baterias, pneus, óleo lubrificante e eletrodomésticos (OECD, 1994, apud CHERMONT; MOTTA, 1996).

Uma prática que vem recebendo crescente estímulo é o uso de sacolas retornáveis para transporte de compras. As sacolas descartáveis são responsáveis por diversos danos ambientais⁴⁰ e tem larga utilização mundial⁴¹, de modo que os países vêm adotando medidas para a redução da sua utilização. Na Europa, a cobrança pelas sacolas revelou-se como a forma mais eficaz de minimização. A Irlanda, desde 2002, impõe uma taxa de € 0,20 por

⁴⁰ Cada sacola plástica contribui com quatro gramas de CO₂ pela sua fabricação, contribuindo com 0,1% das emissões espanholas, por exemplo. Seu tempo de decomposição é longo, de cerca de 100 anos, e, embora a maioria (65% na Espanha) seja reutilizada uma vez como saco de lixo, constituem em importante elemento de degradação ambiental, com prejuízos também à fauna (CAPARRÓS, 2009).

⁴¹ Consumo de 238 sacolas plásticas por habitante/ano na Espanha, por exemplo (CAPARRÓS, 2009).

sacola, obtendo redução de 70% no seu uso. A partir daquele ano a iniciativa se espalhou para várias cidades do Reino Unido. Na Alemanha e Bélgica também os clientes pagam pelas sacolas. Nos Estados Unidos a cidade de San Francisco foi pioneira nessa cobrança, que está em discussão para ser adotada também em Boston e Oakland. A China foi mais drástica nos métodos: em 2008 o governo proibiu a sua distribuição pelo comércio (CAPARRÓS, 2009). No Brasil, a rede de supermercados Wal-Mart e o Ministério do Meio Ambiente lançaram a campanha nacional “Saco é um Saco”, com o objetivo de alertar a população sobre a importância de reduzir o consumo das sacolas plásticas (GOVERNO E..., 2009).

Segundo Grippi (2006, p.35) a reciclagem “é o resultado de uma série de atividades através das quais materiais que se tornariam lixo ou estão no lixo, são desviados, sendo coletados, separados e processados, para serem usados como matéria-prima na manufatura de outros bens, feitos anteriormente apenas com matéria-prima virgem”.

Segundo IPT (2000, apud CETESB, 2006), existem três modalidades de reciclagem de resíduos: a reciclagem primária, que emprega o resíduo de um produto para a sua própria produção; a reciclagem secundária, que se baseia na utilização do resíduo de um produto para a confecção de outro, distinto, como o plástico transformando-se em fibra de tecido; e a reciclagem terciária, que recupera produtos químicos ou energia dos resíduos. Nesse enfoque, as reciclagens primária e secundária são aquelas comumente chamadas de reciclagem. A terciária abrange a compostagem (recupera os produtos químicos dos restos orgânicos) e as rotas de recuperação energética, que abrangem as tecnologias de incineração e recuperação de biogás, entre outras.

Os tipos de materiais recicláveis que são separados em uma planta de segregação dependem da procura pela indústria. No entanto, na maioria das plantas os seguintes materiais são segregados: papéis e papelões; plásticos (PVC, PEAD, PET, PEBD⁴²); vidros; metais ferrosos (ferro e aço); e metais não ferrosos (alumínio, cobre, chumbo, níquel e zinco) (MONTEIRO et al., 2008 e GRIPPI, 2006).

Inventários de ciclo de vida destes materiais no Canadá, permitiram comparar a energia obtida a partir da reciclagem *versus* combustão. Os resultados apresentados na Tabela 10 mostram que a reciclagem de papéis economiza de 2,4 a 7 vezes a energia obtida a partir da combustão, e a reciclagem de plásticos, de 10 a 26 vezes.

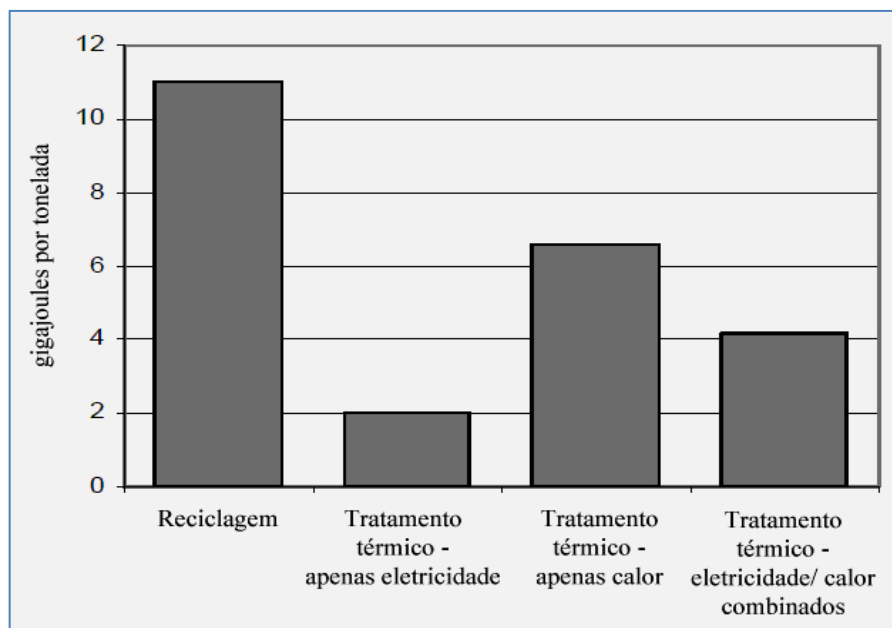
⁴² PVC: cloreto de polivinila; PEAD: polietileno de alta densidade; PET: politereftalato de etileno; e PEBD: polietileno de baixa densidade.

Tabela 10 – Reciclagem versus incineração por tipo de material

Material	Energia salva pela reciclagem (GJ/t)	Energia recuperada pela incineração (GJ/t)	Reciclagem x incineração
Jornais	6,33	2,62	2,4
Papel fino	15,87	2,23	7,1
Papelão	8,56	2,31	3,7
Polietileno de alta densidade	64,27	6,30	10,2
Politereftalato de etileno (PET)	85,16	3,22	26,4

Fonte: CAWDREC, [2005?], não paginado, tradução nossa

O Gráfico 10 demonstra ganho de energia pela reciclagem, considerando uma tonelada de RSU misturados, comparativamente a alternativas de incineração, para recuperação elétrica e/ou térmica, com base em dados de eficientes instalações WTE europeias, concluindo que a poupança pela reciclagem pode superar de 1,6 a 5,4 vezes as demais alternativas.

**Gráfico 10 – Reciclagem versus incineração por tonelada de RSU**

Fonte: CAWDREC, [2005?], não paginado, tradução nossa

Algumas avaliações econômicas estudadas por Dijkgraaf e Vollebergh (2004, in: EAI, 2005) mostraram que a reciclagem é preferível em relação à incineração e disposição em aterro. Por outro lado, segundo aqueles autores, outros estudos econômicos sugerem que os custos líquidos de reciclagem estão muito acima dos benefícios, levando-os a concluir que a reciclagem não é necessariamente sempre a melhor solução, tal como recomendado pela hierarquia de resíduos estabelecida na União Europeia. Contudo, advertem que é necessário cuidado ao interpretar os resultados desses estudos, uma vez que eles diferem na metodologia.

As condições locais, tais como a densidade populacional, são vitais para o sucesso de um sistema de reciclagem (EAI, 2005). No Brasil, o custo da coleta seletiva é cinco vezes maior que o da coleta convencional⁴³.

A utilização da ferramenta Análise do Ciclo de Vida⁴⁴ (ACV) permite a quantificação da economia energética gerada pela reciclagem dos materiais. Por exemplo, a produção de aço a partir da sucata gera economia de energia de até 70% em relação à utilização do minério de origem; o papel jornal reciclado demanda de 25% a 60% menos energia elétrica em relação ao obtido a partir da polpa de madeira; no vidro essa economia é de 70%; e nos plásticos, de 88% em comparação com a produção a partir do petróleo. Além das outras vantagens, relativas à redução da poluição do ar, consumo de água, derrubada de árvores, consumo de minérios e petróleo, etc. (ANÁLISE..., 2009). A estimativa do potencial da energia elétrica que poderia ser economizada caso a reciclagem fosse plenamente praticada no Brasil é da ordem de 7.700 MW_{médios}, equivalentes à energia assegurada proporcionada por 14.000 MW em usinas hidrelétricas ou ainda de 9.600 MW em termelétricas convencionais, operando com 80% de fator de capacidade (MME, 2008e).

O incentivo à reciclagem pode advir de instrumentos tributários. A legislação alemã vem utilizando incentivos fiscais e taxações para direcionar os agentes econômicos à adoção de materiais e processos menos danosos ao meio ambiente, além do estímulo ao reuso e reciclagem. Há incentivos para a utilização de peças biodegradáveis, economia de energia e insumos, além da racionalização dos processos produtivos. O incentivo à utilização de peças biodegradáveis e reutilizáveis ocorre pela redução na taxa de venda dos produtos com esta condição (BOURSCHEIT, 2008). No Brasil as taxações não são permitidas, pois o artigo 3º do Código Tributário Nacional (CTN) determina que o tributo não pode ser aplicado como sanção a ato ilícito. Para mudar este fato está em tramitação na Câmara de Deputados a Proposta de Emenda à Constituição (PEC) nº 353, que propõe alterações no sistema tributário nacional, para inserir a conduta de respeito ao meio ambiente como princípio geral a ser observado na fixação de alíquotas de impostos, bem como imunidades tributárias para bens e serviços que colaborem com as políticas ambientais. Em 2003, a Emenda Constitucional nº 42 já havia acrescentado à Constituição Federal que a ordem econômica tem por objetivo assegurar a defesa do meio ambiente, inclusive mediante tratamento diferenciado em função do impacto ambiental dos produtos e serviços (CARVALHO, 2009).

⁴³ Conclusão da pesquisa CEMPRE/CICLOSOFT 2008, comentada na seção 1.3 (CEMPRE, 2009).

⁴⁴ Orientações para a utilização da ACV estão contidas nas séries ISO 14040, voltadas à gestão ambiental.

Como estímulo à reciclagem, e embora sem registros de experiências internacionais de implantação, os governos poderiam criar um mercado doméstico para certificados comercializáveis de reciclagem, a exemplo do mercado internacional de créditos de carbono. Nesta concepção de mercado, os agentes que conseguissem atingir um nível menor de geração de resíduos, ou de maior reciclagem, poderiam obter ganho financeiro com a venda de certificados à outros agentes que não tivessem atingido os níveis estabelecidos (PEARCE; BRISSON, 1995, apud CHERMONT; MOTTA, 1996).

A criação de créditos para a reciclagem visa o estímulo do setor como forma de reduzir o gasto com aterros e elevar o bem-estar social, pela geração de emprego e renda. Uma das formas utilizadas é dar garantia de mercado e preço aos reciclados. O Reino Unido, pelo Environmental Protection Act, de 1990, adotou formas de estímulo à reciclagem do lixo doméstico, através de pagamentos por parte das autoridades de gerenciamento de lixo, aos agentes diretamente envolvidos com a sua reciclagem. Nos Estados Unidos, 23 unidades federativas adotaram programas de reduções de impostos sobre a venda de equipamentos de reciclagem, e a concessão de créditos e prêmios relacionados com a atividade recicladora (CHERMONT; MOTTA, 1996).

Mesmo sem uma política nacional de resíduos sólidos ou a possibilidade penalizações via política tributária, é crescente o número de empresas que vem adotando práticas sustentáveis do ponto de vista ambiental, ligadas principalmente à reciclagem. Na reciclagem de plásticos, temos que a quase totalidade dos automóveis produzidos no Brasil vem utilizando embalagens PET recicladas nos carpetes de revestimento do assoalho e porta-malas (BARROS; OLMOS, 2009). A demanda brasileira por embalagens PET é maior que a oferta, estimulando a importação e a coleta seletiva. O país importa R\$ 1 bilhão ao ano de sucata de PET, tendo internalizado em 2008 o montante de 14 mil toneladas, o que representou um crescimento de 75% em relação a 2007. Como a fiscalização é ineficiente, abre-se espaço para a importação ilegal de lixo plástico doméstico (MAIA, 2009). Segundo a Associação dos Aparadores de Papel (ANAP), no mercado de reciclagem de papel também a demanda é maior que a oferta. De acordo com a Associação Brasileira de Celulose e Papel (Bracelpa), o Brasil recicla 3,6 milhões de toneladas de papéis por ano, quantidade equivalente a 45% de todo o lixo reciclável gerado (RICO, 2009). Com relação às pilhas e baterias a situação não é diferente: existe tecnologia, mas falta “matéria prima” para dar escala à reciclagem destes produtos (COSTA, 2009).

Face ao já citado vácuo legal decorrente da falta de uma política nacional para resíduos sólidos, surgem legislações estaduais e municipais com o intuito de disciplinar

pontualmente segmentos de produtos que apresentem potenciais riscos à saúde e ao ambiente. Exemplo de legislação neste sentido é a Lei 13.576/09, do estado de São Paulo, que instituiu normas para a reciclagem, gerenciamento e destinação final do lixo tecnológico⁴⁵. Naquele Estado, os fabricantes, importadores e comerciantes desses produtos terão que reciclar ou reutilizar o material descartado, total ou parcialmente. Se o reaproveitamento não for possível, esse lixo terá que ser neutralizado (LEI ..., 2009). Auxiliará no cumprimento dessa legislação a iniciativa da Universidade de São Paulo (USP), que está implantando o Centro de Descarte e Reciclagem (CEDIR), projeto desenvolvido pelo Centro de Computação Eletrônica (CCE) com investimentos de R\$ 180 mil, visando reciclar no mínimo 500 equipamentos eletrônicos por mês⁴⁶ (SÃO PAULO..., 2009).

A desmontagem de cartuchos utilizados em impressoras para o reaproveitamento de materiais é exemplo de manufatura reversa. Nesta linha de atuação, a Hewlett Packard (HP), maior fabricante americana de equipamentos e soluções de informática, reaproveita o material PET de 20 a 25% dos seus cartuchos de impressoras. A produção de cartuchos com material recuperado deve atingir 400 milhões neste ano (ROSEMBLUM, 2009). Também a brasileira Essencis Soluções Ambientais S.A. planeja utilizar a manufatura reversa com celulares, baterias, computadores, monitores, televisores e geladeiras. A adoção deste processo em uma geladeira, com a queima do gás CFC, reduz emissão de GEE equivalente à descarga de CO₂ de um veículo ao rodar 17,5 mil quilômetros (VIEIRA, 2009), ou 875 veículos que rodem 20 km em um dia. O governo brasileiro estuda lançar o “bolsa-geladeira”, programa de substituição de refrigeradores velhos e poluentes.

O projeto de lei relativo à política nacional para resíduos sólidos, em discussão no Congresso Nacional, prevê a obrigatoriedade da logística reversa para pilhas e baterias, agrotóxicos, pneus e óleos lubrificantes. A inclusão de papéis está em discussão (GONDIM, 2009).

Um dos pontos de mudança no comportamento empresarial está na reciclagem da água utilizada nos processos industriais e de serviços, através do seu tratamento e reutilização, com

⁴⁵ A ONU calcula em 50 milhões de toneladas o lixo tecnológico descartado anualmente no mundo. no Brasil são comercializados mais de 12 milhões de computadores por ano e, de acordo com dados do Comitê de Democratização da Informática, mais de 1 milhão desses aparelhos são descartados anualmente. Em 2008 foram vendidos 11 milhões de televisores, e 82 em cada 100 brasileiros possuem telefone celular, conforme a Agência Nacional de Telecomunicações (LEI ..., 2009).

⁴⁶ No centro de descarte, os equipamentos de informática seguirão dois caminhos após passar pela triagem: irão para a reciclagem ou serão destinados à ONGs e projetos sociais, caso possam ainda ser usados.

ganhos econômicos e ambientais. Visando a obtenção da certificação ISO 14.001⁴⁷, o metrô de São Paulo vai construir duas centrais de tratamento de esgotos, para despoluir a água utilizada nos seus pátios (MANECHINI, 2008).

Assim como a manufatura reversa, a formação de bolsas de resíduos resulta no reaproveitamento das sobras de processos industriais, como plásticos, papéis e sucatas metálicas, evitando o desperdício, com redução de custos e impacto ambiental. As bolsas são ambientes na internet que permitem a compra, venda, troca ou doação de recicláveis. A Confederação Nacional da Indústria (CNI) lançou o Sistema Integrado de Bolsas de Resíduos, que numa primeira fase integrará os endereços eletrônicos voltados à comercialização de sobras de processos industriais das federações de indústrias da Bahia, Goiás, Minas Gerais, Pará, Paraná, Pernambuco e Rio Grande do Sul (CNI ..., 2009). Projeto de lei da cidade gaúcha de Caxias do Sul está criando o “Banco do Vestuário”: as indústrias daquele município irão entregar resíduos aproveitáveis – como retalhos de tecidos, malhas, fios, botões, couros, espumas e outros – ao Banco, que os repassará para clubes de mães e associações cadastradas, para serem utilizados na confecção de roupas, edredons, sacolas e peças de artesanato. A iniciativa auxilia na formação de mão-de-obra qualificada para a indústria têxtil e do vestuário, permite uma destinação adequada aos resíduos gerados por essa atividade, e ainda gera emprego e renda para a população de baixa renda (BRUM, 2009).

O Brasil apresenta exemplos de boas práticas na reciclagem de resíduos da construção civil. A cidade de Natal (RN), com o seu Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e Volumosos, estabeleceu quatro ecopontos para a coleta de cerca de 900 toneladas diárias de restos de C&D, que, depois de reciclados, voltarão ao processo produtivo, na forma de brita, areia e pedriscos (FRANCERLE, 2009).

Em matéria de reciclagem e apoio às cooperativas de catadores e comunidade, o município de Porto Alegre⁴⁸ pode ser referência de boas práticas. A capital gaúcha estendeu a coleta de recicláveis a todos os bairros, com frequência de duas vezes por semana, objetivando elevar as 71 toneladas coletadas em abril de 2009 para 100 toneladas mensais (O QUE FAZER..., 2009), parcela equivalente a 13% da geração de origem domiciliar, comercial

⁴⁷ A ISO 14.001 é uma norma internacionalmente aceita que define os requisitos para estabelecer e operar um Sistema de Gestão Ambiental. Reconhece que organizações podem estar preocupadas tanto com a sua lucratividade quanto com a gestão de impactos ambientais.

⁴⁸ A capital gaúcha produz em torno de 1.300 toneladas diárias de resíduos domiciliares, comerciais e públicos (PMPA, 2009), para uma população de cerca de 1450 mil habitantes, que resulta na geração por habitante/dia de cerca de 0,9 kg.

e pública⁴⁹. São 16 Unidades de Triagem (UT) espalhadas em diversos pontos do município, onde é feita a separação, prensagem, e negociação autônoma para a indústria de reciclagem. A Prefeitura fornece a infra-estrutura do local, mais um recurso de R\$ 2,5 mil por UT, para custeio dos locais (PMPA, 2009).

A parte orgânica dos RSU pode ser “reciclada” através da compostagem, que consiste na natural degradação biológica de matérias orgânicas de origem animal ou vegetal, resultando em produto utilizado como fertilizante agrícola, para reposição de elementos essenciais ao solo, como carbono, nitrogênio, fósforo.

As vantagens da compostagem são a economia de aterro, o aproveitamento agrícola da matéria orgânica pela reposição de nutrientes para o solo, e pode ser um processo ambientalmente seguro quando conhecida a origem do resíduo e o processo permitir a eliminação de patógenos nocivos ao homem (GRIPPI, 2006).

A compostagem pode ser aeróbia ou anaeróbia, dependendo da presença ou ausência de oxigênio no processo. Na compostagem anaeróbia, a degradação é causada por microrganismos que vivem em ambientes sem oxigênio, ocorre em temperaturas relativamente baixas, com emissão de forte odor. Na compostagem aeróbia a degradação é causada por microrganismos que vivem apenas em ambientes contendo oxigênio. A temperatura do composto pode chegar a 70°C, sem geração de odores desagradáveis (MONTEIRO et al., 2008). O tempo de processo na compostagem anaeróbia é de 3 a 4 meses, enquanto na aeróbia vai depender da oxidação⁵⁰ (quanto maior, melhor), durando de 2 a 3 meses. Em ambos os casos é conveniente a trituração dos materiais orgânicos para agilizar o processo.

Para comercialização, a qualidade do composto deve satisfazer especificações que incluem: teor de material orgânico, teor de nitrogênio, limite de umidade, relação carbono/nitrogênio (C/N) e pH⁵¹. Uma das principais preocupações é evitar a presença de metais pesados, presentes em alguns componentes dos resíduos domésticos, tais como papel colorido, têxteis, borracha, cerâmica e baterias. As unidades de compostagem devem promover a retirada destes materiais, tanto quanto possível, a partir dos resíduos recebidos (MONTEIRO et al., 2008). A qualidade do composto e a presença de metais pesados são

⁴⁹ A título de comparação, o município de São Paulo, que gera cerca de 15.000 t/dia, sendo 9.000 de origem domiciliar, teve em 2008 coleta seletiva de cerca de 41 mil toneladas, equivalente a apenas 7% do potencial (PMSP, [2009]).

⁵⁰ Fatores como umidade, temperatura e granulometria influenciam a disponibilidade de oxigênio no composto, gerando variações no tempo de compostagem.

⁵¹ pH é a medida da acidez de um meio aquoso, em função da concentração de íons de hidrogênio (H⁺). Líquidos com um pH abaixo de 7 são ácidos (GOLDEMBERG, 1998).

verificadas em periódicas análises físicas e químicas.

Os esgotos podem ser aplicados diretamente na fertilização de solos que não sejam utilizados para a produção de alimentos, assim como as lamas de depuração (composto desidratado) oriundas de ETE. As vantagens comparativas da preparação de composto utilizando o lodo desidratado são apresentadas no Quadro 10.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Redução no volume de material transportado até os locais de aplicação do composto. • Facilidade de armazenamento e utilização mesmo em locais distantes das ETEs. • Controle das especificações do material composto, o que resulta em uma bem-definida e estável composição do produto final. • Possibilidade de monitoramento da qualidade do composto em relação às normas legais. • Possibilidade de tratamento biológico anterior à aplicação agrícola. 	<ul style="list-style-type: none"> • Custo do tratamento é superior à aplicação direta dos esgotos. • Arejamento consome energia. • O produto obtido vai disputar mercado e preço com outras alternativas de fertilização dos solos. <p>Obs: a necessidade da mistura das lamas com outros materiais, a fim de obter uma ótima razão C/N, poderá representar uma vantagem, se utilizado outro resíduo, ou uma desvantagem, se o complemento precisar ser adquirido no mercado.</p>

Quadro 10 – Lamas de depuração para uso na agricultura

Fonte: ISWA, 1998, p.21. Elaboração do Autor.

Segundo Lu et al. (2009), na co-compostagem de resíduos sólidos e lamas de depuração, a proporção de 3:1 (três partes de resíduos sólidos e 1 parte de lamas de depuração) é a que apresenta melhor resultado, mas que pode ser ainda melhorado, se adicionada à proporção anterior uma parte de material já decomposto, resultando na proporção (3:1:1).

Além dos resíduos urbanos, uma variedade de outras sobras orgânicas podem ser utilizadas na produção de adubos. Em graxarias ou farinheiras: tortas de filtro, bagaços, farinha de osso, carne ou sangue, cinza de caldeira; em usinas: tortas de filtro, bagaço de cana, cinza de caldeira, vinhoto; em serrarias ou fábrica de móveis: pó de serra; em indústrias de alimentos: torta de filtro, limpeza de fábrica, lodo de efluentes, cinza de caldeira; em laticínios: lodo de efluentes, resíduos de limpezas, cinza de caldeiras; em curtumes: raspa de couro, resíduos de calheiro (lama de cal), carnaça, cinza de caldeira; em cervejarias: torta de filtro, lodo de efluentes, cinza de caldeira; em indústrias de celulose: cinza de caldeira, lama de cal, lodo biológico, lodo primário, biomassa vegetal, dregs/grits (resíduos do processo); além de: resíduos de hortifrutigranjeiros, casca de todos os cereais (milho, entre outros), cama de frango, esterco de confinamento, fosfato natural, pedra diabásica, borra do refino de óleo

lubrificante, bagaço de laranja, fuligem, calcário, carvão e limpeza de silos (BRIDI, 2009). Esse rol de possibilidades mostra o grande potencial representado pela compostagem de resíduos industriais, que pode ter sua produção e comercialização realizada a nível local, através do estabelecimento de parcerias entre as indústrias e os produtores agrícolas.

Narayana (2009), após destacar aspectos negativos da incineração: custo e poluição do ar; e dos aterros: impactos na saúde e meio ambiente, conclui que a compostagem é a melhor alternativa de destinação final para a porção orgânica dos resíduos em países em desenvolvimento como a Índia⁵², local do seu estudo. Defende a adoção do princípio do poluidor-pagador pelas residências, indústrias e estabelecimentos que geram os resíduos, que assumiriam a responsabilidade pela sua separação. Os resíduos então separados seriam destinados integralmente à compostagem ou reciclagem. Pela sua visão a participação das pessoas é imprescindível à GRU.

Segundo Hazra e Goel (2009), a experiência com as plantas de compostagem tem demonstrado que um dos principais motivos da baixa utilização é a sua incapacidade de gerar lucro. Por razões de qualidade e economia, os agricultores raramente estão interessados em comprar o composto, apenas os aceitam sem custos. Mas, na visão dos autores, a GRU é, e deverá continuar a ser, um serviço essencial a ser prestado aos cidadãos, de modo que não se deve fazer esforço em busca do lucro.

No Brasil, a compostagem tem sido utilizada no aproveitamento dos RSU e esgotos. A PMPA, por exemplo, busca benefícios sociais e ambientais quando, ao promover a compostagem diária de cerca de 100 t de resíduos domiciliares⁵³, direciona a renda da sua comercialização para os cooperativados que trabalham no local. (PMPA, 2009). Em São José dos Campos (SP), o lodo resultante do tratamento de esgotos da ETE Lavapés transforma-se em 450 toneladas mensais de fertilizante, utilizado na jardinagem e cultivo de árvores de três fazendas daquele Estado (ESGOTO..., 2008).

O município de Maringá (PR) adotou, de forma pioneira na América Latina (AL), a tecnologia Biopuster para compostagem. Este sistema permite a digestão aeróbia em ambiente fechado – reservatório tipo contêiner – através da injeção de oxigênio e sucção, separação e filtragem dos gases da decomposição. As vantagens em relação à compostagem em ambiente aberto são: a redução no tempo do processo para quatro semanas, e a eliminação do mau cheiro. Esta tecnologia pode ser utilizada para transformar a decomposição de aterros sanitários de anaeróbia para aeróbia, com a eliminação da formação de metano

⁵² Onde 90% dos resíduos são destinados à lixões (NARAYANA, 2009).

⁵³ A reciclagem de Porto Alegre ocorre em processo aeróbio com ciclo de 100 dias.

(TECNOLOGIA..., 2009 e BIOPUSTER, 2009)

Além de contextualizar o reuso, reciclagem e compostagem no âmbito da GRU, esta seção buscou apresentar exemplos de políticas e iniciativas que visam à sustentabilidade da gestão de resíduos como atividade econômica, conforme preconizado Por Azambuja et al. (1998), com igual atenção aos aspectos sociais e ambientais envolvidos. De fato a GRU é um serviço essencial, conforme colocado por Hazra e Goel (2009), mas por que desperdiçar o potencial econômico dos RSU e esgotos, cujas receitas podem potencializar os esforços na reversão de uma situação atual indesejável, apresentada nas seções 1.3 e 1.4? Além da utilização para compostagem, as lamas e os gases resultantes dos tratamentos de esgotos podem ser utilizados para geração de energia: eletricidade, calor, frio, ou combustível para transporte, conforme poderá ser verificado na próxima seção.

2.4 Aproveitamento energético dos esgotos

As águas residuárias urbanas podem ter origem doméstica, comercial e industrial, e são denominadas esgotos sanitários ou simplesmente esgotos. Para seu tratamento são utilizadas as ETE, cujos processos buscam remover as impurezas, representadas por sólidos em suspensão, matéria orgânica, nutrientes, organismos patogênicos e metais pesados, de modo que a água resultante possa ser devolvida ao meio ambiente sem causar danos (COSTA, D., 2006).

O processo tradicional de tratamento de esgoto é o aeróbio, mas, associado ou não a este tipo, o anaeróbio vem se tornando mais comum (H₂O, 2009). As etapas do tratamento aeróbio incluem grades e malhas, para reter os materiais maiores; desarenadores, para reter os materiais sólidos granulares; adição de flocculantes, para provocar a sedimentação de grânulos menores (concentração); sedimentação primária, para uma primeira precipitação de lodo; aeração, para acelerar o processo de digestão aeróbia; e nova sedimentação (secundária), para a obtenção da despoluição final (H₂O, 2009). O processo anaeróbio se utiliza de tanques que possuem os processos de decantação e digestão anaeróbia, resultando em esgoto tratado, com

redução de sua carga orgânica, biogás⁵⁴ e lodo digerido. Pode-se utilizar ainda lagoas com plantas macrófitas de purificação biológica, ou lagoas do tipo australiano, onde ocorre a digestão aeróbia na superfície e anaeróbia no interior do esgoto. O esgoto pode ainda ser lançado diretamente ao solo, para fertilização, nos casos cuja finalidade não seja a produção de alimentos.

Numa comparação entre os processos, o aeróbio possui a vantagem de reduzir a geração do odor resultante da formação do biogás. Por outro lado, há demanda de energia elétrica para a aeração. O processo anaeróbio permite o aproveitamento do biogás, que pode ser utilizado para geração elétrica de uso da própria ETE, além de apresentar plantas de pequena área ocupada. As desvantagens são a instabilidade do processo; a necessidade de contenção de gases gerados; e a necessidade de um laboratório de controle dos principais parâmetros: temperatura, acidez, nutrientes e substâncias tóxicas (ALVES, 2000).

Além da água tratada – que pode ser lançada diretamente em corpos d'água; utilizada em processos industriais que requeiram apenas a sua neutralização; ou direcionada para Estações de Tratamento de Água (ETA) – resultam do processo também a espuma, o biogás, e as lamas de depuração.

A espuma é a camada de gordura que fica sobre o esgoto, que pode servir como insumo para a produção de biodiesel⁵⁵. O biogás obtido no processo de digestão anaeróbia do esgoto, além da utilização para consumo da própria ETE para geração elétrica e/ou calor, úteis na movimentação dos aeradores ou na secagem do lodo, pode ter as sobras exportadas para utilização em outros processos industriais, ou servir como combustível auxiliar em processos termoquímicos de geração energética. Este biogás pode se juntar também ao obtido de outras duas fontes relativas ao RSU: aterros sanitários e digestão anaeróbia (DA). Por sua vez, as lamas resultam da fração de sólidos (TS), parcela em torno de 1 a 2% do peso total do esgotos (HONG et al., 2009).

As lamas ou lodos obtidos dos processos operacionais aeróbios ou anaeróbios das ETE podem ser direcionados a processos de desidratação, secagem, compostagem ou pasteurização, em função da destinação desejada. A Figura 4 apresenta possibilidades de rotas de recuperação energética e destinação final das lamas.

⁵⁴ O biogás é essencialmente constituído de CO₂ (dióxido de carbono) e CH₄ (metano), com pequenas concentrações de NH₃ (amônia), H₂S (gás sulfídrico), indol e mercaptanas (as pequenas concentrações podem ser desprezadas), de tal forma que o biogás é por aproximação, uma mistura de metano e dióxido de carbono (PIEROBON, 2007).

⁵⁵ Em média, existem 800 gramas de espuma (totais) por metro cúbico de esgoto, sendo 10% de gordura (OLIVEIRA, 2004).

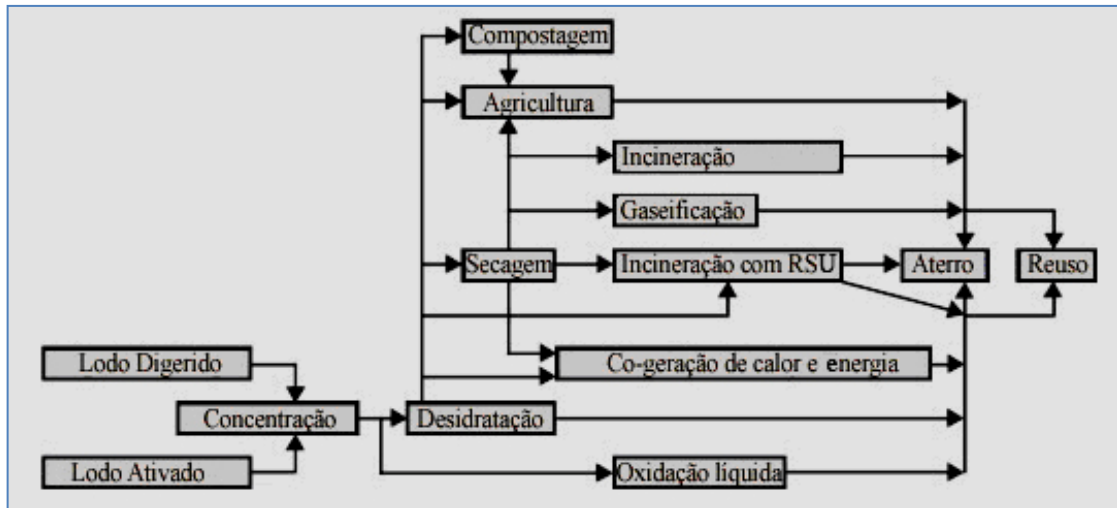


Figura 4 – Rotas de tratamento e depósito de lamas de depuração

Fonte: ISWA, 1998, p.12. Tradução nossa

A utilização na agricultura pode ocorrer após a compostagem, ou depois de simples desidratação ou secagem. A incineração de forma combinada com os RSU também pode ocorrer com ou sem secagem. Porém para a incineração, gaseificação e fusão (sludge melting process) sem mistura com os RSU a secagem é economicamente recomendada. A oxidação líquida (wet oxidation) é uma nova tecnologia, em fase experimental, onde o conteúdo orgânico do lodo (a aproximadamente 5% de TS) é oxidado em reatores a temperaturas de entre 200°C e 300°C , e níveis de pressão entre 30 bar e 150 bar (sistemas de baixa / alta pressão) (ISWA, 1998). O reuso aparece como alternativa ao aterramento, pela utilização como agregado na construção civil. A descrição das tecnologias termoquímicas citadas serão apresentadas na seção 2.5, relativa ao aproveitamento energético dos RSU.

Para maior eficiência (tempo de processo), é preferível a utilização prévia dos métodos mecânicos de centrifugação e decantação, mesmo nos processos que utilizem a desidratação por secagem/evaporação, face ao menor custo relativo. Quando realizada, a pasteurização do lodo ocorre associada ao processo de secagem e separação granulométrica. As lamas contaminadas têm destinação prioritária em processos de recuperação energética (calor e/ou energia) em usinas termelétricas, fornos de siderurgia e indústrias de fabricação de cimento, que utilizam a recuperação energética direta, pois permitem a estabilização dos poluentes (ISWA, 1998).

Outros aspectos técnicos dos processos de aproveitamento dos esgotos levantados por ISWA (1998) foram:

- a co-incineração das lamas com os resíduos sólidos pode ser interessante, principalmente se o incinerador estiver próximo à ETE;

- o lodo muito úmido pode diminuir o desempenho energético das plantas de combustão, de modo que sua pré-secagem à 65% de TS resulta em um valor energético semelhante ao dos RSU (2000 kcal/kg);
- as lamas podem ser utilizadas em forma de material granulado, de importante valor energético, fácil armazenagem e baixo odor. Ou na forma pastosa (18 a 30% de TS), neste caso, injetadas por meio de bombas de pressão, para mistura com os RSU;
- e diferentes sistemas podem tratar uma massa total de lamas na proporção de aproximadamente 20% em comparação com os RSU (5:1). Se as lamas estiverem muito hidratadas, ocorre vaporização após a injeção, de forma que a tonelagem de resíduos sólidos tratados não muda muito.

O Quadro 11 apresenta as vantagens e desvantagens da incineração dos lodos de ETE.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Redução significativa de volume após a incineração. • Obtenção de valorização energética. • Reciclagem de subprodutos do tratamento, tais como cinzas e material inerte, que podem ser utilizados como material de enchimento na produção de asfalto e concreto e na fabricação de tijolos. • Baixa sensibilidade à composição das lamas. • Sistemas confiáveis. • Minimização dos cheiros, devido a sistemas fechados e de alta temperatura. • Possibilidade de cogeração associada a resíduos sólidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incineradoras são intensivas em capital e justificáveis para situações de maior volume. • Exige complexo sistema de limpeza dos gases de combustão. • Exige cuidadosa calibragem nas proporções e condições físicas dos resíduos para obter eficiência energética na queima.

Quadro 11 – Incineração de lamas de depuração

Fonte: ISWA, 1998, p.34. Elaboração do autor.

Tanto o biodiesel obtido a partir da espuma como o biogás podem ser utilizados para transporte ou como combustível auxiliar na incineração dos RSU e lodos. O calor excedente da geração pode ser utilizado como pré-tratamento, na secagem do lodo e dos RSU a serem incinerados, otimizando o sistema. E no processo de produção do biodiesel, que requer cerca de 80°C (OLIVEIRA, 2004).

O aproveitamento desses três insumos de forma combinada com os RSU permitem a otimização das operações e a redução de custos na geração energética. O gerenciamento combinado dos lodos de depuração com os RSU, na maioria dos casos, permite a superação de problemas técnicos específicos em relação aos seus tratamentos em separado, com a obtenção de significativas vantagens econômicas e benefícios ambientais. Na compostagem, os dois tipos de resíduos utilizados de forma integrada geram um produto de melhor

qualidade, em função da maior proporção de sólidos e C/N contrabalançar a menor concentração de sólidos e C/N das lamas. No caso da disposição direta dos lodos de esgoto em aterros sanitários, a observação de uma proporcionalidade em relação aos RSU é vantajosa (SPINOSA, 2000). A codisposição de lodo de esgoto em aterros sanitários na base de 30% de sólidos reduz o tempo de bioestabilização da matéria orgânica; aumenta a produção de metano do aterro (LEITE et al., 1997 apud CETESB, 2006); e ainda gera lixiviados menos poluentes (SPINOSA, 2000). Análises econômicas evidenciaram economias entre 12-26% da co-incineração de lamas e RSU em relação as suas incinerações em separado (U.S.EPA, 1976 apud ESPINOSA, 2000), além do aproveitamento do calor da incineração evitar gastos com a secagem das lamas.

As ULE funcionando de forma consorciada com as ETE podem ser vistas como ecopolos, que receberiam também os RSS, cabendo a adaptação técnica para a recepção dos resíduos e alimentação do forno sem o contato humano (USINAVERDE, [2008?]b). As decisões com relação ao nível tecnológico e tipo da integração dependem das condições econômicas e técnicas locais (SPINOSA, 2000).

Exemplo de iniciativa para a utilização do biogás resultante da DA de esgotos é a parceria da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), pelo seu Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), com a Companhia de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE), em projeto de avaliação da viabilidade econômica da recuperação energética do biogás oriundo do processo de tratamento dos esgotos da ETE Alegria. Atualmente o biogás gerado nesta Estação é queimado e o lodo descarregado na baía da Guanabara. O projeto está dividido na avaliação de três aproveitamentos: da gordura (escuma), para a produção de biodiesel; do lodo, para geração de biogás através de biodigestor; e do lodo digerido, para geração de bio-óleo. Para a avaliação da viabilidade econômica, o biogás será medido e qualificado, além de testados tipos diferentes de motores, quanto ao custo operacional e a eficiência, ao longo de um ano. O objetivo é uma avaliação dos custos e benefícios do processo, considerando o investimento inicial, a redução nos gastos com energia elétrica, e os ganhos pela exportação à rede de distribuição. A ETE Alegria vem recebendo 1.700 litros de esgoto por segundo, com a geração de 25 mil m³ de biogás por dia, com 70% de metano, que podem ser utilizados para gerar 2,5 MWh de energia elétrica, ou em substituição ao gás natural no abastecimento dos caminhões da CEDAE que recolhem gordura em restaurantes (LOBO, 2008).

Esta pesquisa constatou que no Brasil é insipiente o aproveitamento dos resíduos das ETE. Se nem sequer ocorre o aproveitamento energético do biogás nos próprios locais, a idéia

da instalação de ecopolos ainda parece muito distante, o que representa grande desperdício, tendo em vista as possibilidades de sinergia na visão integrada do aproveitamento conjunto dos RSU e esgotos, expostas por Spinosa (2000) e CETESB (2006). Por envolver serviços que normalmente não são geridos e executados de forma centralizada, a instalação de ecopolos pressupõe um amadurecimento institucional difícil de ocorrer em países em desenvolvimento, como o Brasil. As barreiras políticas, como a distribuição partidária de cargos, foram mencionadas na seção 1.4. Muitas das dificuldades técnicas de integração decorrem da gestão dos RSU e esgotos normalmente ocorrer por agentes distintos, de fraca ligação administrativa entre si: os RSU, via de regra, são geridos pelos municípios; e os esgotos, pelos estados ou concessionárias. Nesse aspecto a estrutura administrativa de apresenta um facilitador, quando coloca a gestão energética e de saneamento sob a mesma secretaria. Uma atuação mais forte do Governo Federal, inclusive com a criação de políticas de incentivo, poderiam provocar a ruptura dessas barreiras.

Estudadas as alternativas de aproveitamento energético dos esgotos, a próxima seção busca levantar essas possibilidades, porém relativas aos RSU.

2.5 Geração de energia a partir dos resíduos sólidos urbanos

Para o aproveitamento energético da fração orgânica dos RSU podem ser utilizadas as mesmas rotas tecnológicas das demais biomassas, através das vias físico-químicas, bioquímicas e termoquímicas, sintetizadas na Figura 5, sendo que a fração inorgânica dos resíduos aceita apenas a conversão termoquímica.

Através dessas três vias, que podem ser utilizadas de forma combinada, a energia contida nos RSU pode se transformar em energia e utilidades, na forma de frio, calor, eletricidade ou combustível para transporte. Pela via físico-química o óleo de fritura, ácidos graxos, gordura animal e espuma podem ser utilizados para a produção de biodiesel pelo processo da transesterificação. Embora a quantidade disponível desses insumos residuais seja pequena⁵⁶, comparativamente ao consumo de óleo diesel, apresenta vantagens como: reduzidos, ou até negativos, custos de obtenção; poderem ser utilizados imediatamente; estarem permanentemente disponíveis nos grandes centros urbanos; e, por serem poluentes,

⁵⁶ De cerca de 1% do consumo total (500 milhões de litros por ano) (OLIVEIRA, 2004)

seu consumo caracterizar-se como uma forma de tratamento sanitário (OLIVEIRA, 2004).

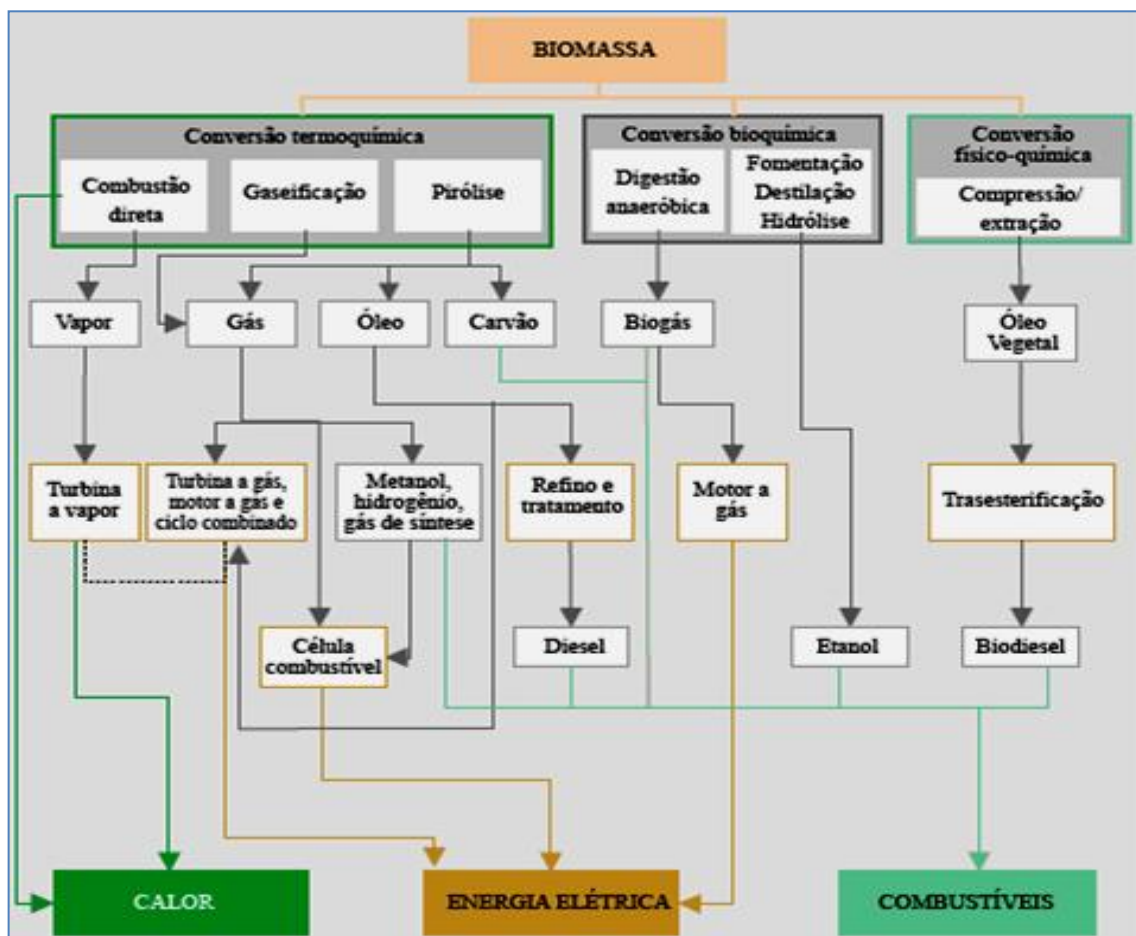


Figura 5 – Rotas tecnológicas da conversão energética da biomassa

Fonte: MME, 2007c, v.8, p.105

A via bioquímica ocorre pelo aproveitamento energético do biogás, resultado da digestão anaeróbia (DA) da matéria orgânica existente nos esgotos, excrementos de origem animal (bovinos, suínos, aves, etc.), e fração orgânica dos RSU, para utilização em motores de combustão interna ou turbinas a gás.

A recuperação energética dos resíduos pela via termoquímica pode ocorrer através de processos como a incineração (combustão direta), gaseificação e pirólise. Na combustão direta o calor gerado é utilizado para gerar vapor d'água, utilizado para mover turbinas a vapor. No chamado “ciclo combinado⁵⁷”, o gás resultante da combustão também é aproveitado para mover turbinas a gás. O “gás de síntese” ou “syngas”, resultante da gaseificação, que pode ser utilizado em motores de combustão interna ou turbinas a gás,

⁵⁷ Nas centrais de ciclo combinado, o ar que sai da turbina a gás, ainda aquecido, é encaminhado a uma caldeira de recuperação, na qual o calor nele contido converte água em vapor. A combinação dos dois ciclos praticamente dobra o rendimento na geração (PINTO JUNIOR et al., 2007)

podendo o resíduo sólido (*char*) resultante do processo ser aproveitado para combustão direta. Na pirólise, além do gás de síntese e do *char*, pode-se obter também resíduo líquido, um óleo combustível, que pode ser utilizado para acionar motores de combustão interna. De forma resumida pode-se afirmar que, desses três processos termoquímicos, derivam cinco produtos intermediários: vapor, gás de combustão, gás combustível, óleo combustível e *char*, utilizáveis em três tipos de máquinas motrizes: turbina a vapor, motor de combustão interna, e turbina a gás (TOLMASQUIM et al., 2004).

Das três rotas citadas, apenas a incineração é utilizada em escala comercial, porém outras duas, a fusão/vitrificação e a gaseificação por plasma apresentam uso comercial, principalmente no Japão.

As tecnologias relativas à via bioquímica de geração energética pelos RSU estão descritas no tópico a seguir. E aquelas de natureza termoquímica, no tópico 2.5.2.

2.5.1 Conversão bioquímica pela digestão anaeróbica

A digestão anaeróbia ou anaeróbica (DA) é o processo natural de decomposição de resíduos orgânicos, mas serve também para designar as tecnologias que se utilizam desse fenômeno para a recuperação do biogás resultante do processo.

A DA ser dividida em quatro etapas: pré-tratamento, digestão, recuperação do biogás, e destinação final dos resíduos (MME, 2008e). A maioria dos sistemas requer pré-tratamento, que consiste na separação de materiais não biodegradáveis e trituração. Na digestão propriamente dita, a massa é diluída para obter o conteúdo de sólidos desejado, e permanece no interior do reator por um tempo pré-determinado. A calibragem da umidade requer água, que pode ser obtida diretamente dos esgotos ou da rede pública. Além da possibilidade do aproveitamento da umidade dos lodos de esgotos ou pela recirculação do líquido efluente do próprio reator. E a calibragem da temperatura requer um trocador de calor. O biogás obtido é purificado e armazenado em gasômetros. O resíduo da DA pode ter as mesmas destinações das lamas de ETE apresentadas na Figura 4.

O Quadro 12 sumariza os parâmetros que demandam monitoração permanente e simultânea, durante o processo da DA.

Parâmetro	Observações
A proporção de sólidos voláteis biodegradáveis	Em geral, resíduos orgânicos de cozinha, com maior umidade, são mais propícios à degradação anaeróbia; e resíduos com alto teor de lignina e celulose, como resíduos de podas e jardinagem, são mais indicados para a degradação aeróbia (compostagem)
Taxa de carga orgânica (TCO)	É a medida da capacidade de conversão biológica de um sistema de DA. A unidade de medida é usualmente kg de sólidos voláteis/m ³ /dia.
pH	As Bactérias anaeróbicas, especialmente as metanogênicas, são sensíveis a condições ácidas do reator, que podem inibi-las.
Temperatura	Há basicamente duas faixas de temperatura que resultam em condições ótimas para a produção de biogás: a mesofílica (entre 20°C – 40°C) e a termofílica (entre 50° – 60°C). Os sistemas termofílicos geram até 41 % mais de biogás que os processos mesofílicos.
Relação (C/N) Carbono/Nitrogênio	O valor ótimo para relação C/N está entre 20 e 30.
Tempo de retenção	Depende da tecnologia adotada. Em processos mesofílicos varia de 10 a 40 dias. Em termofílicos, 14 dias.
Mistura	Depende do tipo de reator e do teor de sólidos contidos no reator.

Quadro 12 – Parâmetros do processo de digestão anaeróbica

Fonte: Reichert, 2005, p.3. Elaboração do autor

Os sistemas utilizados em DA variam quanto ao tipo de funcionamento, classificando-se em estágio único, duplo estágio (onde o primeiro serve para hidrólise/liquefação e acetogênese, e o segundo para a metanogênese), e à batelada. Variam também quanto ao teor de sólidos na mistura, em baixo (TS < 15%), médio (TS entre 15% e 20%) e alto (TS entre 22% e 40%), sendo que, via de regra, os sistemas que funcionam com maior volume de sólidos são mais eficientes. Outra diferenciação é o tipo de bactérias adotadas: mesofílicas ou termofílicas (REICHERT, 2005).

O Quadro 13 apresenta as vantagens e desvantagens da DA, comparativamente à utilização simples de aterros sanitários.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta a vida útil dos aterros sanitários • Retira a fração orgânica dos RSU, geradora de odores desagradáveis e lixiviados de alta carga nos aterros sanitários • Maximiza a coleta de todo o biogás gerado (em aterros o índice de recuperação é de 30 a 40 %) • Minimiza a emissão de gases de efeito estufa • Gera produtos valorizáveis: biogás (energia e calor) e composto 	<ul style="list-style-type: none"> • A natureza (composição) dos resíduos pode variar dependendo da localização (zona de geração) e da estação do ano • Uma mistura ineficiente de RSU e lodo de esgoto pode afetar a eficiência do processo • Podem ocorrer obstruções de canalização por pedaços maiores de resíduos, principalmente em sistemas contínuos

Quadro 13 – Vantagens e desvantagens da digestão anaeróbica

Fonte: Reichert, 2005, p.6. Elaboração do autor.

Algumas das tecnologias mais utilizadas na DA com suas características são apresentadas no Quadro 14.

Teconologia	Características
Valorga	reator vertical alimentado pela base. De estágio único, alto TS, e funciona tanto na fase mesofílica como na termofílica, apresenta tempo de retenção médio de 21 dias. E produz de 80 a 160 Nm ³ de biogás por tonelada de resíduo
Dranco	reator vertical alimentado pelo topo. De estágio único, alto TS, bactérias termofílicas, retenção de 13 a 30 dias, produção de 100 a 200 m ³ /t
BTA	reator vertical. De estágio único ou duplo. Baixa TS. Produção de 80 a 120 m ³ /t
WAASA	reator vertical. De estágio único. Baixa TS. Produção de 100 a 150 m ³ /t. Temperatura mesofílica e termofílica. Retenção de 20 dias (mesofílica) e 10 dias (termofílica)
Kompogas	cilindro horizontal com rotação. De estágio único. Alto TS. Produção de 130 m ³ /t. Temperatura mesofílica e termofílica. Retenção de 15 a 20 dias
Linde-KCA	reator horizontal para altas TS e vertical para baixas TS. De estágio único ou duplo. Produção de 100 m ³ /t

Quadro 14 – Algumas das tecnologias mais utilizadas na digestão anaeróbica

Fonte: Reichert, 2005, p.14. Elaboração do autor

O biogás pode ser utilizado como energético nas máquinas motrizes, que exigem do combustível parâmetros específicos de funcionamento, com relação à vazão, composição química e poder calorífico (COELHO, 2006). Por sua vez, a eficiência da geração elétrica dependerá da máquina motriz escolhida. O Quadro 15 apresenta algumas destas características, de forma comparativa.

Parâmetro	Motores de combustão interna	Turbinas a gás	Turbinas a vapor
Tamanho do projeto (MW)	> 1	> 3	> 8
Necessidade de biogás (m ³ /dia)	> 17,7	> 56,6	> 141,9
Custos de capital (US\$/kW)	1.000 – 1.300	1.200 – 1.700	2.000 – 2.500
Custos de O & M ⁵⁸ (US\$/kWh)	1.8	1.3 – 1.6	1.0 – 2.0
Eficiência elétrica (%)	25 – 35	20 – 28 26 – 40 (CC ⁵⁹)	20 – 31
Potencial de cogeração	Baixo	Médio	Alto
Vantagens	Baixo custo; alta eficiência; tecnologia mais comum	Resistente à corrosão; baixo custo O&M; pequeno espaço físico; baixa emissão NO _x	Resistente à corrosão; permite controlar a composição e o fluxo do gás

Quadro 15 – Parâmetros para a escolha da tecnologia de geração elétrica a partir do biogás

Fonte: Oliveira, 2004, p. 31.

Segundo Hazra e Goel (2009), as opções de geração de biogás são bem sucedidas apenas em plantas de grande escala, com equipamentos de boa qualidade, e com a disponibilidade de adequadas competências técnicas e de gestão. Nas plantas de pequena e

⁵⁸ O&M: operação e manutenção

⁵⁹ Ciclo combinado de gás e vapor

média escala, a geração de biogás sofre com problemas como flutuações na qualidade e na quantidade do gás.

Utilização da DA em grande escala deverá ocorrer no Paraná, onde a cidade de Curitiba e região metropolitana formaram o consórcio Sistema de Tratamento e Processamento de Resíduos (SIPAR), ao amparo das leis nº 11.107/05 e 11.079/04. O projeto prevê o tratamento das 2.400 t/dia com deposição máxima de 15% em aterro sanitário, para aqueles materiais que não contam com tecnologia disponível para tratamento. Os 85% restantes deverão ter aproveitamento na biodigestão, compostagem, reciclagem ou transformação em insumos energéticos. Há exigência do edital da não geração de chorume, nem descarte de efluentes líquidos, que deverão ser reutilizados dentro da planta. Pela proposta os 17 municípios integrantes do SIPAR farão a coleta e encaminharão o material para a usina, onde o lixo passará por triagem mecanizada, antes da triagem humana (USINA ..., 2009).

No âmbito dos resíduos rurais, a DA é utilizada em biodigestores para a geração elétrica a partir dos dejetos de animais. Segundo relatório da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), elaborado em parceria com a Itaipú Binacional, a criação de bois, porcos e aves confinados podem gerar um bilhão de kWh/mês⁶⁰, suficiente para abastecer uma cidade de até 4,5 milhões de habitantes (BRAGA, 2009). A empresa Sadia S.A., com investimentos de R\$ 90 milhões, tem biodigestores instalados em mil fazendas de engorda de porcos de cinco diferentes estados, no programa Suinocultura Sustentável Sadia (LUZ, 2008 e JURGENFELD, 2009).

A adoção da tecnologia DA oferece vantagens bastante consistentes do ponto de vista ambiental, pois reduz os volumes de resíduos resultantes do processo a proporções inferiores a 35% da inicial (MME, 2008e), que pode ser utilizado como fertilizante agrícola, ou para processos termoquímicos, pois ainda apresenta potencial energético para exploração; e evita a ocorrência do chorume e liberação de metano para a atmosfera, pois o processo ocorre em ambiente fechado. Do ponto de vista social, por utilizar apenas a parte orgânica do lixo, maximiza a reciclagem, com geração de emprego e renda na etapa de pré-tratamento, onde são separados os recicláveis. Do ponto de vista econômico, o investimento em plantas DA é bastante inferior ao das plantas ULE, porém sua eficiência para geração elétrica, entre 120 e 290 kWh por tonelada de RSU, dependendo do conteúdo energético do lixo utilizado (MME, 2008e), é bastante inferior ao da incineração. A significativa diferença de valores entre os

⁶⁰ Equivalentes a uma potência de 1.389 MW.

custos de capital, e a posterior possibilidade de geração de fluxo de caixa, faz com que a escolha do investimento não seja uma decisão simples.

As peculiaridades da recuperação de biogás a partir dos aterros sanitários são apresentadas na seção 2.6, pelo fato da sua extração ocorrer após a disposição final. O próximo tópico foca as rotas tecnológicas de aproveitamento dos RSU, porém agora por conversão termoquímica.

2.5.2 Energia pela conversão termoquímica

Estima-se a energia contida em uma tonelada de RSU como equivale a 2,5 t de vapor (400°C, 40 bar); 30 t de água quente (180-130°C); 200 kg de óleo; ou a 500 kWh de eletricidade (EfW WORKING GROUP, 2003). Os processos termoquímicos convertem essa energia em calor através da oxidação. Entre as tecnologias utilizadas estão a produção de Combustível Derivado de Resíduos (CDR), a combustão direta, a gaseificação, a pirólise, a fusão/vitrificação, a gaseificação por plasma, e a tecnologia B.E.M..

Os resíduos podem sofrer um processo de separação da sua parte inorgânica (papel, plásticos, madeiras e podas, tecidos), que aquecidos e fragmentados, resultam no CDR. O CDR, então, concentra a porção energética dos RSU em forma de *pellets* (cubos), de modo a facilitar o transporte e armazenamento, para utilização como energético em processos industriais que demandem combustão, inclusive para geração termelétrica, em locais diferentes daquele onde é feita a sua fabricação (EfW WORKING GROUP, 2003). Entre as vantagens do processo estão a redução da umidade e a eliminação de inertes, com aumento na concentração calorífica, de cerca de 1.800 kcal/kg dos RSU para 3.000 kcal/kg.

As plantas WtE utilizam a combustão direta, cuja qualidade do processo depende da combinação de três “T”: tempo, temperatura e turbulência. O valor calorífico dos resíduos também é fator crucial para o desempenho das WtE ou ULE. Segundo Hauser (2006), o tratamento térmico de lixo com um valor calorífico de 6 MJ⁶¹/kg tem um custo líquido 30% superior àquele que apresentar 9 MJ/kg.

Os elementos básicos das WtE são: admissão primária e secundária de ar; esteira metálica para o deslocamento dos resíduos; forno de combustão; zona de combustão secundária; sistema de recirculação de ar; sistema auxiliar de queima; sistema de controle de queima; sistema de remoção de cinzas e escórias; boiler; sistema de circulação do vapor; sistemas de limpeza de contaminantes; e chaminé (EfW WORKING GROUP, 2003). O forno

⁶¹ 1 joule equivale a 0,2390 cal (ou 1 cal = 4,186 J), então 6 MJ = 1434 kcal e 9 MJ = 2151kcal.

de combustão (câmara primária) é o receptor direto do lixo. Nesse dispositivo, a temperatura de operação comumente varia entre 500°C e 900°C, evitando-se gradientes elevados de temperatura como forma de minimizar a poluição (OLIVEIRA, 2004). A zona de combustão secundária (câmara secundária) funciona a uma temperatura entre 1000°C e 1250°C. É rica em oxigênio, para favorecer a combinação dos átomos na formação de dióxido de carbono e água.

O Quadro 16 oferece exemplo de funcionamento de uma usina de geração energética pela incineração, explicando a geração elétrica pelo protótipo Usinaverde S/A, em uso no Rio de Janeiro.

O processo de tratamento térmico para a geração de energia a partir dos RSU é precedido da separação manual e mecânica dos materiais recicláveis – garrafas “pet”, papelão, latas de aço e de alumínio, vidros, etc. – para destinação à reciclagem. São submetidos ao tratamento térmico a matéria orgânica e os resíduos combustíveis não recicláveis (papel e plástico contaminado com matéria orgânica, etc). A incineração ocorre a uma temperatura média 950°C, e a oxidação dos gases, na câmara de pós-queima, a cerca de 1050°C, com um tempo de residência de 2 segundos. As cinzas são recolhidas em arrastadores submersos em corrente de água e lançadas no decantador. Os gases quentes são aspirados através de uma Caldeira de Recuperação, onde é produzido o vapor, com 45 Bar de pressão e 420°C de temperatura. O vapor, por sua vez, acionará um turbo-gerador com potência efetiva de 3,2 MW, gerando aproximadamente 0,6 MW de energia elétrica por tonelada de lixo tratado. Os gases exauridos da Caldeira de Recuperação são neutralizados por processo de lavagem em circuito fechado (lavadores e tanque de decantação), não havendo a liberação de efluentes líquidos. A lavagem utiliza “*spray jets*” e “*barreiras*” de solução de lavagem, criadas por hélices turbinadas existentes no interior dos lavadores, ocorrendo o chamado “*polimento dos gases*”. A solução de lavagem proveniente dos lavadores é recolhida em tanques de decantação, onde ocorre a neutralização com as cinzas do próprio processo, hidróxido de sódio e a mineralização (decantação dos sais), retornando posteriormente ao processo de lavagem⁽¹⁾. Os gases limpos, após a passagem por eliminador de gotículas (demister), são liberados para a atmosfera pela chaminé. Exaustores instalados antes da chaminé garantem que todo o sistema de gases, desde o forno até a saída dos lavadores, ocorra em pressão negativa. Restará no decantador um precipitado salino (concentração de cálcio e potássio) e material inerte⁽²⁾, correspondendo a algo em torno de 8%, em peso, dos resíduos tratados.

Quadro 16 – Descrição do funcionamento de uma ULE

Fonte: Usinaverde, [2008?]b, não paginado. Elaboração do autor.

Notas: (1) A neutralização dos gases e vapores utilizando uma solução de água alcalinizada com as cinzas do próprio processo e hidróxido de cálcio, apresentam custos de aquisição e manutenção inferiores à solução usual, que utiliza “filtros de manga”. (2) Esse material está sendo testado em substituição à areia, na fabricação de tijolos e pisos. Um módulo de 150 t/dia gera material suficiente para a produção de 1500 tijolos/dia (1 casa de 50 m² por dia).

A Tabela 11 apresenta uma típica composição dos gases de saída de uma usina WtE, que mostra pequena participação de poluentes (cloridrato de hidrogênio e óxidos de nitrogênio), e uma proporção em torno de 12% de dióxido de carbono, do qual se estima que

85% seja oriunda da parcela biológica dos resíduos (PORTEOUS, 2001). O maior percentual – cerca de 87% – é composto por inertes: vapor d’água, oxigênio e nitrogênio.

Tabela 11 – Composição típica dos gases de saída das usinas WtE

Material	Percentual
CO ₂ (85% bioderivado)	12,3
H ₂ O	8,37
O ₂	10,3
N ₂	68,4
NO _x	0,014
HCl (após limpeza)	0,001
Total (arredondado)	100

Fonte: Porteous, 2001, p.159, tradução nossa.

A gaseificação ou gasificação é o processo pelo qual a parte orgânica do lixo é aquecida a ponto de provocar a desintegração das suas cadeias poliméricas, gerando uma mistura combustível de gases, chamada “gás de síntese” ou *syngas*, formada principalmente por monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H₂), que são coletados e aproveitados, deixando um resíduo sólido na forma de carvão (*char*). Neste processo ocorre uma queima incompleta, na faixa de temperatura de 400°C a 900°C, com oxidação parcial, de modo que o gás resultante ainda é um combustível. O valor calórico do gás obtido pode ser aumentado se o oxidante (ar) for enriquecido de oxigênio. O gás de síntese contém poluentes como alcatrão e partículas contaminantes, e terá de ser limpo antes de ser utilizado (EfW WORKING GROUP, 2003). Os sólidos resultantes da gaseificação podem ser utilizados para geração energética pela incineração direta. Se o material gaseificado for de origem orgânica, o carvão vegetal resultante do processo poderá ser utilizado também como fertilizante agrícola.

A pirólise (ou desvolatilização) se inicia a 300°C, quando ocorre vaporização das partes voláteis e se inicia a fragmentação das partículas sólidas. Pode-se dizer que é um caso particular de gaseificação, onde os resíduos são termicamente degradados na ausência do agente oxidante (ar ou oxigênio). Os reatores das plantas pirolíticas são projetados para evitar a penetração do ar. Na prática, a eliminação completa de ar é difícil de se conseguir, de modo que ocorre pequena oxidação. O processo de pirólise produz gases, líquidos e CDR, cujas proporções dependem da temperatura operacional, do tempo de exposição e do tipo de resíduo. Longa exposição (horas), com baixas temperaturas (400-500°C) irá maximizar a produção de resíduos sólidos. Breves exposições (inferiores a 1 segundo), com altas temperaturas (500-1000°C), designadas por “*flash*” pirólise, irão dar uma maior proporção de gás ou líquido. Se um combustível líquido (óleo de pirólise) é desejado, é necessária a rápida

extinção dos gases produzidos. O líquido combustível pode ser armazenado e transportado facilmente, permitindo maiores oportunidades de aproveitamento energético. O “char” obtido na pirólise tem valor energético e pode ser submetido à gaseificação, e o gás então obtido pode ser somado ao produzido na pirólise (EfW WORKING GROUP, 2003).

O processo de fusão/vitrificação do lodo de ETE (sludge melting process) e RSU ocorre numa faixa de temperatura superior a da incineração – entre 1300 e 1800 °C – e, segundo Hong et al. (2009), pode ser mais vantajoso que a incineração, pelas seguintes razões: a menor produção de dioxinas, devido a sua cristalização a altas temperaturas; a possibilidade da escória ser utilizada como material de construção, pois fica vitrificada; e a significativa redução no volume dos resíduos para disposição final. Porém apresenta maior custo de geração energética que a incineração. Segundo os autores, tanto a fusão como a incineração são bastante utilizadas no Japão, face aos escassos recursos naturais do país, que avalia permanentemente o potencial econômico e aceitabilidade ambiental dessas tecnologias.

A gaseificação por plasma⁶² difere da gaseificação normal por ocorrer a altíssimas temperaturas, superiores a 5.500°C, que convertem praticamente todo o carbono em gás combustível, e não gera cinzas no fundo do reator. O gaseificador de plasma pode processar qualquer tipo de lixo, sem necessidade de uniformização de tamanho ou redução prévia de umidade. As altas temperaturas do processo de gaseificação a plasma derretem os metais, o vidro, o silicone, o solo, etc., que escorrem pelo fundo do reator, transformando-se em coque vitrificado (RECOVERED ENERGY INC, 2009 e VIMEO, [2009?]).

Outro processo termoquímico que está sendo desenvolvido no Brasil é a tecnologia B.E.M. (biomassa-energia-materiais). Esta tecnologia realiza um “cozimento” da fração orgânica dos resíduos, com uma mistura de 1% de ácido sulfúrico, produzindo um pó, a celulignina catalítica, que apresenta um poder calorífico de cerca de 4.500 kcal/kg (SABIÁ et Al., n.d.), utilizável na produção energética. Gera também uma fração líquida, o furfural, insumo usado na fabricação de resinas, nylon, viscose têxtil, açúcar dietético, medicamentos e inseticidas (DALTRO..., 2008). Segundo Tolmaquim et al. (2003), não se tem um estudo detalhado das emissões resultantes da combustão da celulignina, e o furfural, se não tiver uso na indústria, pode ir para o meio ambiente, provocando poluição. Outro ponto negativo é a baixa redução na quantidade de resíduos pelo processo, pois 1.250 toneladas de lixo orgânico resultam em apenas 225 toneladas de celulignina. A tecnologia BEM é utilizada na cidade de Lorena (SP) desde 2004, e funcionará também em Ribeirão Preto, estado de São Paulo

⁶² O plasma pode ser considerado um quarto estado da matéria, caracterizando-se por ser um gás ionizado, que permite a corrente elétrica.

(DALTRO..., 2008).

A principal iniciativa brasileira de utilização da energia dos RSU pela incineração foi – em 2001 – a criação do Centro Tecnológico Usinaverde, em área da Fundação BIORIO, no campus da UFRJ, na Ilha do Fundão, com acordo de cooperação técnica estabelecido com a Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos (COPPETEC). A ULE protótipo vem operando desde 2005 no tratamento de 30 t/dia de lixo, gerando 600 kWh de energia elétrica por tonelada de lixo. A Usinaverde comercializa módulos com capacidade para tratar 150 toneladas de “lixo bruto” por dia, com geração efetiva de 3,2 MW de energia elétrica, sendo 2,6 MW exportáveis. Cada módulo é capaz de atender às necessidades de disposição final de lixo de uma comunidade em torno de 180 mil pessoas, e de suprir de energia elétrica cerca de 13 mil residências (considerando o consumo médio residencial de 140 kWh/mês, estimado pela EPE). Cerca de 30% da população poderá ser abastecida pela energia do lixo gerado no próprio município (USINAVERDE, 2008b).

O Governo de São Paulo, por meio da Empresa Metropolitana de Águas e Energia (EMAE), está projetando a instalação de ULE junto aos polos petroquímicos – como os de Mauá, Cubatão e Paulínia – que têm forte demanda industrial por energia elétrica e vapor, e concentram população para a geração de mais de 150 toneladas diárias de RSU, volume considerado mínimo para um projeto desse porte ser considerado economicamente viável. A idéia é implantar a primeira usina em 2011. Com a iniciativa, aquele Estado pretende solucionar a falta de locais para aterros na sua região metropolitana e litoral norte. O investimento previsto é da ordem de R\$ 200 milhões para uma usina com capacidade para 600 t/dia (CREDENTIO et al., 2009).

Outra iniciativa para a instalação de ULE, ao amparo da Lei 11.079/04, que disciplina as PPP, partiu da Prefeitura Municipal de Recife, estado de Pernambuco, que em janeiro de 2008 contratou com o Consórcio Recife Energia a prestação de serviços públicos de destinação dos RSU e de serviços de saúde, que prevê o tratamento energético do lixo produzido por aquele município. Trata-se de uma concessão de 20 anos para recepção do lixo de Recife e municípios vizinhos, na ordem de 2.000 t/dia. O projeto envolverá a implantação de planta de triagem e separação de recicláveis; planta de preparação do combustível (CDR); planta termoeletrica de cogeração⁶³, envolvendo caldeiras alimentadas com CDR, turbo-geradores de energia elétrica, e máquinas de absorção para a produção de frio. Serão

⁶³ A fração compostável deverá ser submetida à fermentação anaeróbica, com a produção de biogás, que auxiliará na alimentação dos motores-geradores de energia.

produzidos aproximadamente 160 t/h de vapor, 24 MWh de energia elétrica, e 1.200 TR⁶⁴ de frio. A energia total será equivalente ao consumo de 153 mil residências, o que corresponde a uma população da ordem de 610 mil pessoas (MENEZES, 2008). A Figura 6 apresenta, de forma esquemática, o Projeto Recife Energia, que inclui reciclagem, compostagem, e recuperação energética da fração orgânica dos RSU via DA, para utilização na própria planta industrial.

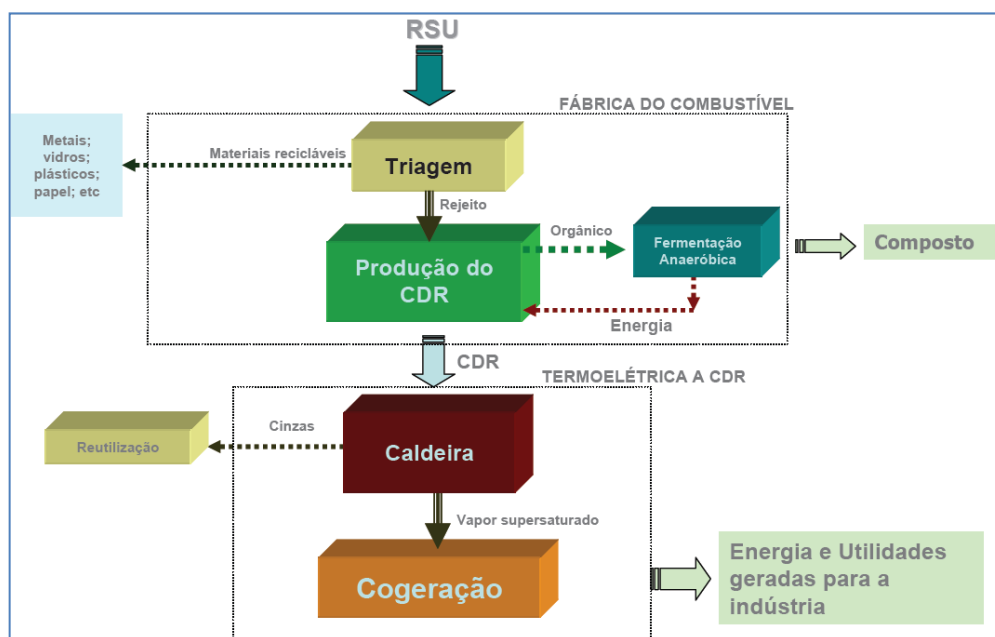


Figura 6 – Fluxo de produção do CDR

Fonte: Menezes, 2008, slide 30.

As indústrias cimenteiras estão começando a aproveitar energeticamente os RSU para reduzir o seu custo com energia, que representam cerca de 30% dos gastos totais. É o caso do município de Cantagalo (RJ) que destina parte do lixo urbano para os fornos da cimenteira Lafarge. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), na Europa e nos EUA os resíduos industriais e urbanos já representam 98% da demanda de energia de algumas plantas de cimento (BARROS, 2009).

Outro exemplo é a Prefeitura de Corumbá (MS), que vai destinar os materiais de origem vegetal, oriundos da varrição urbana e podas de árvores, para a empresa Cerâmica Bela Vista produzir tijolos, no projeto “Tijolo Verde” (ARRUDA, 2009). Também no Estado do Amazonas as olarias têm apostado em novas fontes de energia ambientalmente corretas. O projeto do Polo Oleiro e Ceramista dos municípios de Iranduba e Manacapuru, desenvolvido

⁶⁴ Uma TR (tonelada de refrigeração) equivale a 3024 kcal/h.

pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), incentiva o uso de materiais, como sobras de madeiras e resíduos do açaí, para combustão em substituição à madeira nativa (CAROÇO..., 2009). Mas, para que a incineração dos RSU nos exemplos citados traga reais benefícios ambientais, suas emissões precisam ser filtradas, de modo a respeitar a Resolução CONAMA 316/2002.

A busca da sustentabilidade da GRU pela via termoquímica de recuperação energética implica na atenção às suas diversas perspectivas. Do ponto de vista ambiental, são fundamentais o controle dos três “T” e da limpeza dos gases resultantes do processo. Para a sustentabilidade do ponto de vista social, o projeto pode prever a reciclagem prévia dos resíduos, através de parcerias com cooperativas de recicladores, gerando renda pela separação dessa fração ainda na fase de pré-tratamento do processo. Do ponto de vista econômico, a viabilidade do projeto pode ser calculada, considerando a amortização do investimento inicial e os custos de operação e manutenção, frente a um horizonte de tempo e uma taxa de retorno desejados. Comparativamente à DA, a incineração implica em maior investimento inicial e controle permanente das emissões gasosas, porém permite níveis superiores de receitas, face à melhor eficiência energética dessa rota tecnológica. A escolha entre essas duas alternativas se caracteriza, portanto, como uma relação de *trade-off*.

Os processos físico-químicos, bioquímicos ou termoquímicos a que são submetidos os RSU geram novos resíduos, que passam a demandar uma destinação. Podem ainda permitir um aproveitamento econômico, como o resíduo da DA para incineração ou fertilização agrícola, ou o dejetos da incineração para agregado na construção civil. Se não, sua destinação se junta aos demais RSU e lamas de ETE, a disposição em aterros sanitários.

Mas também o aterramento permite valorização econômica, conforme demonstra a próxima seção.

2.6 Aterros e aproveitamento energético do biogás

As formas incorretas de disposição final dos RSU são o lançamento a céu aberto, em terrenos baldios ou áreas periféricas, formando os chamados “lixões”, e a utilização do aterro controlado, que se diferencia do lixão pelo fato dos RSU receberem uma cobertura de terra. O primeiro caso representa a pior situação do ponto de vista sanitário, por permitir a proliferação dos micro e macro vetores de doenças, e facilitar o contato da população diretamente com o resíduo. A segunda alternativa diminui o risco de doenças, mas permite que as substâncias

tóxicas se infiltrem no solo, contaminando-o, assim como as águas, superficiais e subterrâneas. Este caso maximiza a geração do gás metano, pois toda a decomposição se dá de forma anaeróbia, aumentando a emissão do gás metano, que é cerca de 21 vezes mais danoso para o aquecimento global, em relação ao dióxido de carbono. A terceira alternativa, representada pelo aterro sanitário, pode ser bastante eficiente em evitar os problemas apresentados pelas alternativas anteriores, se bem construído e manejado, embora não consiga evitar a fuga para a atmosfera de cerca da metade do metano gerado na decomposição dos resíduos, mesmo com a utilização de dispositivos de queima.

As duas primeiras alternativas caracterizam-se como soluções precárias, merecedoras de ações governamentais para a sua erradicação. A terceira pode efetivamente ser considerada como uma real alternativa de “solução” para o problema da destinação dos RSU. Tanto que, para Naime (2005), é aquela que apresenta a melhor relação custo *versus* benefício para os países em desenvolvimento, por possibilitar também a fixação das famílias de catadores, melhorando as condições de trabalho.

Se representam uma alternativa barata de destinação para o lixo, e aceitável do ponto de vista da saúde humana e ambiental, os aterros apresentam outros inconvenientes além da referida emissão de metano: necessitam de extensa área para operacionalização, muitas vezes não disponíveis dentro dos municípios mais populosos, onde a localização próxima permitiria reduzidas distâncias de transporte, mas o preço da terra é maior. Se a opção for de uma localização mais distante, onde o custo da área é menor, aumentam os desembolsos e a poluição decorrentes do transporte. Como observa-se a tendência dos novos aterros serem instalados cada vez mais distantes dos grandes centros⁶⁵, despesas e externalidades provocadas pelo transporte tendem a se agravar ao longo do tempo. Também reduzem o bem-estar das populações do seu entorno em função do mau cheiro decorrente do tratamento do chorume, provocando a desvalorização dos imóveis atingidos. Outros pontos negativos são a possibilidade da ocorrência de vazamentos de chorume; a necessidade da queima permanente ou recuperação energética do biogás ou gás do lixo (GDL), como forma de evitar as emissões de GEE; e a permanência das despesas operacionais por muitos anos após seu fechamento, face à necessidade da manutenção dos controles de chorume e gases. Por fim, aterrar significa abrir mão do aproveitamento energético dos resíduos, equivalentes a aproximadamente um barril de petróleo por tonelada (TERZIAN, 2008).

⁶⁵ A exemplo do aterro sanitário da empresa Sil Soluções Ambientais, que funciona no município gaúcho de Minas do Leão, e recebe os RSU de cerca de 30% dos municípios do Rio Grande do Sul, alguns a uma distância de 400 Km, como é o caso da cidade de Santana do Livramento

Em posição diversa da brasileira, que não possui uma política de abrangência nacional para os resíduos sólidos, a União Européia (UE) vem aumentando o rigor de sua legislação ambiental, a exemplo da Diretiva 1999/31/EC, de 26 de abril de 1999, que introduziu restrições e requisitos técnicos rigorosos para os aterros. O artigo 5º desta legislação estabeleceu o prazo máximo de cinco anos para uma redução de 25% na quantidade total (por peso) de resíduos urbanos biodegradáveis destinados a aterros, em relação ao ano de 1995. Este percentual de redução cresce para 50% em 8 anos, atingindo 75% no prazo máximo de 15 anos da publicação (UE, 1999).

Face à precária destinação dos RSU e esgotos no Brasil, as legislações podem atuar como elementos de pressão para o fim dos lixões e esgotos a céu aberto, além dos aterros não gerenciados. Com esta preocupação, o Estado de Minas Gerais fixou meta para elevar a 60% a parcela de sua população urbana atendida por sistemas de tratamento ou disposição final de RSU tecnicamente adequados e licenciados, e a erradicação de 80% dos lixões, até 2011. O programa chamado “Minas Sem Lixões” estabeleceu prazos para que os municípios com mais de 30 mil habitantes formalizem pedidos de Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO) de aterros (MUNICÍPIOS..., [2008]).

Em diversas regiões do País os municípios estão formando consórcios, de acordo com a lei nº 11.107/05, para a utilização conjunta de aterros sanitários e outras ações de melhoria. O Quadro 17 relaciona algumas dessas associações.

Abrangência	Características
12 municípios do Sertão – Alagoas	Previsão de 22 obras na região, que prevêm encerramento de lixões, recuperação da área degradada, implantação de um ponto de entrega voluntário, para a coleta seletiva, e galpão de triagem
6 municípios na Microrregião do Alto Sapucaí – Minas Gerais	Associação em função do alto custo do aterro sanitário, estimado em R\$ 1,2 milhões. Os consórcios têm prioridade em processos de captação de recursos e habilitação ao ICMS ecológico (MG).
60 municípios em 7 consórcios – Ceará	O objetivo é a destinação adequada dos resíduos e a implantação de centros de triagem para reciclagem.
14 municípios na região norte e 8 na região leste – Espírito Santo	Eliminação de 102 lixões nos próximos anos, com a adesão de 61 municípios para uso de aterro sanitário a partir de outubro de 2010; redução de R\$ 43 para cerca de R\$ 15/t o preço do aterramento; contratos de 20 anos com as empresas vencedoras da licitação

Quadro 17 – Consórcios intermunicipais para gestão de resíduos

Fontes: PREFEITOS..., 2009; PREFEITURA..., 2009; FINALIZADA..., 2009; COSTA, 2009c. Elaboração do autor.

Entre as boas práticas governamentais, seja por iniciativa própria ou por força coercitiva externa, aparecem também instrumentos de comunicação, como a formação de recicladores e a capacitação técnica dos municípios. Por exigência do Ministério Público de

Pernambuco, como compensação pelo passivo social gerado com a formação do lixão de Muribeca, as prefeituras municipais que o utilizaram (Recife, Jaboatão dos Guararapes, e Moreno), assumiram o compromisso de capacitar catadores daquele lixão. As aulas foram divididas em módulos, e os inscritos no curso receberam ajuda de custo mensal no valor de um salário mínimo (CATADORES..., 2009). Visando a capacitação técnica de municípios selecionados pelo programa Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos (GIRSU), as secretarias de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais firmaram convênio com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), no valor de US\$ 400 mil, destinados à preparação de manual e contratação de consultorias sobre o tema (GOVERNO INCENTIVA..., 2009).

Se, do ponto de vista ambiental, é importante a queima do GDL, do ponto de vista econômico também o é, pois permite a obtenção receitas MDL, conforme exposto na seção 3.1. Sem prejuízo a dessas receitas, se ao invés do GDL ser simplesmente queimado, pode ser aproveitado para geração energética. Para tanto, o planejamento da exploração do GDL necessita estimar os volumes de biogás que serão gerados, com base na composição local dos RSU, e a quantidade de resíduos que serão dispostos, ao longo da vida útil do aterro.

A decomposição dos resíduos depositados em aterros sanitários ocorre em uma fase aeróbia e três anaeróbias. A primeira fase é aeróbia, e dura cerca de duas semanas, com emissão de nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2), não energéticos. As próximas, cuja vida útil dependerá da composição dos resíduos, mas sempre superior a 10 anos, são anaeróbias, e liberam inicialmente muito dióxido de carbono (CO_2), 80% aos dois anos de aterro, com decréscimo até a fase de estabilização, quando a proporção fica em torno de 45% deste gás. A geração do metano (CH_4) inicia por volta do 2º ano, crescendo até o patamar de cerca de 50%⁶⁶ na fase de estabilização (RODRIGUES; FARIA, [2001?]). O Gráfico 11 demonstra de forma simplificada as fases e proporções da composição do GDL com o passar do tempo.

⁶⁶ Os restantes 5% são compostos por H_2S (gás sulfídrico) e outros gases.

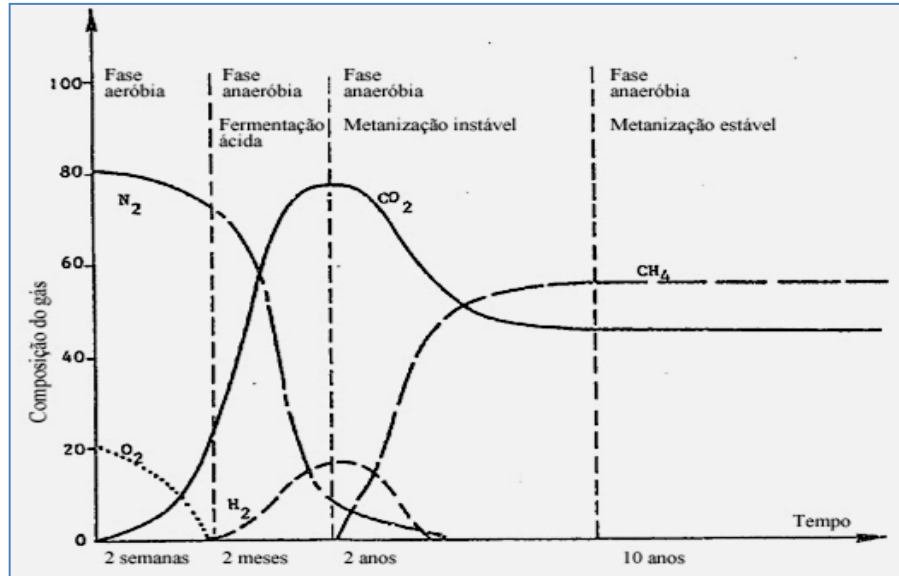


Gráfico 11 – Composição simplificada do GDL ao longo do tempo, em (%)

Fonte: Rodrigues e Faria, [2001?], não paginado

Além da composição, também o volume de GDL gerado nos aterros varia muito ao longo do tempo, dependendo dos tipos e proporções dos materiais que compõem a massa aterrada. Enquanto resíduos de comida, papéis e restos de jardim geram biogás durante cerca de 5 anos, os resíduos de degradação lenta (plásticos, têxteis, couro, borracha, madeira) atingem a emissão máxima de metano por volta do 5º ano, decrescendo até o 15º ano. Como exemplo, o Gráfico 12 apresenta o perfil do volume de gases produzidos por um aterro que receba resíduos durante cinco anos, resultado da ponderação entre os ritmos de decomposição.

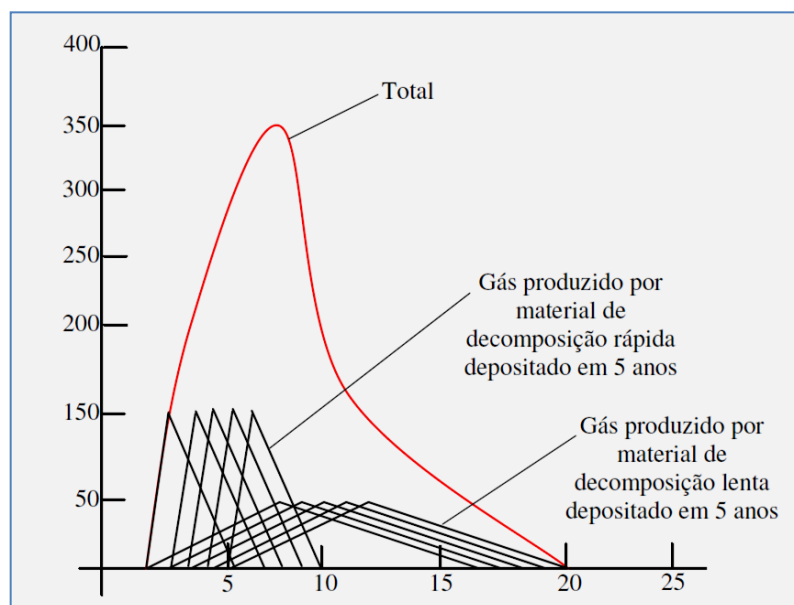


Gráfico 12 – Volumes de gases produzidos por um aterro de 5 anos

Fonte: Brito Filho, 2005, não paginado

A quantidade total da produção, corresponde à área sob a curva em vermelho, dependerá de diversos fatores, como a composição e o teor de umidade dos resíduos.

A coleta do GDL produzido no aterro é realizada através de um sistema que inclui poços verticais, trincheiras horizontais e tubos coletores. O gás captado é conduzido ao sistema de tratamento, que remove a umidade, particulados e outras impurezas (principalmente o gás sulfídrico, por apresentar características corrosivas). Um compressor é utilizado para puxar o gás dos poços de coleta e comprimí-lo para introdução no sistema de conversão energética. *Flares*⁶⁷ são instalados para a queima do gás em excesso ou aquele coletado durante os períodos de manutenção dos equipamentos (OLIVEIRA, 2004).

Rodrigues e Faria ([2001?]) relacionam como aproveitamentos para o GDL a venda direta a clientes próximos; a produção de energia elétrica e calor (cogeração⁶⁸); além da venda direta a empresas que comercializam gás natural; e a produção simples de energia elétrica, para uso próprio e/ou venda a distribuidoras ou clientes próximos.

Entre as características do processo está a necessidade da remoção do sulfureto de hidrogênio (H₂S) e a da umidade, pois causam danos aos equipamentos da instalação e reduzem o poder calorífico do GDL (COELHO et al., 2006). Por ser mais leve que o ar, o GDL tende a se dissipar com muita facilidade, diminuindo o risco de acidentes explosivos. Por outro lado, não podendo ser liquefeito à temperatura ambiente, apresenta uma grande dificuldade de armazenamento, necessitando de grandes pressões para liquefação (PIEROBON, 2007).

Em termos de poder calorífico o GDL é inferior ao metano puro, gás natural, diesel, gasolina e gás de refinaria; equipara-se ao etanol e ao carvão vegetal; e supera o metanol e a madeira na maioria das amostras (PIEROBON, 2007).

Se o aterro receber apenas inertes oriundos de processos de incineração, apresentará características diferentes das de um aterro sanitário comum. Enquanto um aterro normal é chamado em inglês como “*landfill*”, este será um “*monofill*”, e não apresentará geração de odores, devido ao baixo conteúdo orgânico de cinzas, nem existe a possibilidade do desenvolvimento de vetores de doenças. As cinzas podem conter metais pesados e outros

⁶⁷ O *flare* é um dispositivo simples para ignição e queima do gás do lixo (GDL). Pode ser aberto (tipo vela), ou enclausurado, mais caro, mas que pode ser preferível (ou requerido) porque proporciona testes de concentração, permite eficiência de combustão ligeiramente mais alta, além de reduzir os incômodos de ruído e iluminação (CETESB, 2006).

⁶⁸ Cogeração: produção simultânea de energia elétrica ou mecânica e energia térmica (utilizável) num sistema de conversão simples de energia. Ou: produção combinada de potência (elétrica e/ou mecânica) e calor a partir de uma única fonte primária (PROCKNOR, 2007).

materiais tóxicos, porém a lixiviação desses materiais geralmente não se mostra um problema, porque as cinzas evitam a formação de ambientes ácidos (MIRANDA; HOLE, 1997).

O Brasil possui exemplos de aproveitamento elétrico do GDL, como o da Prefeitura Municipal de São Paulo, que assinou contratos de concessão para exploração dos gases dos aterros sanitários Bandeirantes⁶⁹ e São João, com geração de energia elétrica suficiente para iluminar 10% das residências daquela Capital (BARROS, 2007). O aterro Bandeirantes ostenta a condição de ser a maior utilização mundial de GDL para a produção de energia elétrica: trata-se de exploração pela empresa Biogás Energia Ambiental S/A, com potência líquida de 20 MW, suficiente para abastecer uma cidade de 400 mil habitantes durante 10 anos (BIOGÁS ENERGIA AMBIENTAL S/A, 2009).

No estado do Rio de Janeiro foi inaugurada em junho de 2009 a Usina de Biogás do Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho, situada no município de Duque de Caxias, que produzirá cerca de 160 milhões de metros cúbicos de biogás por ano, equivalente ao gás natural consumido pelas residências da cidade do Rio de Janeiro, e evitando a liberação de 75 milhões de metros cúbicos de metano por ano na atmosfera. Este projeto, da empresa Novo Gramacho Energia Ambiental, é o maior do Brasil em redução de GEE, e demandará investimentos de R\$ 91 milhões até a sua fase final, dos quais R\$ 41 milhões já foram aplicados. O restante será investido na purificação do gás e no seu transporte, além de obras de compensação ambiental. O contrato firmado com a Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB) tem duração de 15 anos, e assegura a manutenção do aterro até 15 anos após seu encerramento, com monitoramento ambiental e geotécnico. Também será criado um fundo para auxiliar os cerca de mil catadores da região a se capacitar em outras atividades, pois a área está saturada e deve ser desativada em cinco anos no máximo. O Aterro Jardim Gramacho começou a funcionar em 1978, ocupa uma área de 1,3 milhão de metros quadrados e recebe mais de 80% do lixo produzido na região metropolitana do Rio, cerca de 8 mil toneladas de resíduos por dia (NOVO..., 2009).

Enquanto o Brasil ainda luta para extinguir a disposição irregular, em Portugal os aterros sanitários, em parte por necessidade de ampliar as receitas, como compensação à diminuição na recepção de lixo face às exigências da Diretiva 1999/31/EC, estão ampliando a prestação de serviços às comunidades, e passando à condição de “ecoparque”. Exemplo é o Ecoparque Braval, que atende seis municípios portugueses e, com investimentos de € 30 milhões, oriundos do programa português Quadro de Referência Estratégico Nacional

⁶⁹ O Aterro Sanitário Bandeirantes funcionou de 1976 a 2007, chegando a receber 7 mil toneladas de resíduos/dia, produzidos na cidade de São Paulo, armazenando 30 milhões de toneladas de lixo.

(QREN), está agregando diversas unidades transversais. Foram agregadas unidades de reciclagem, compostagem, valorização de GDL, tratamento de resíduos hospitalares, instalação de canil/gatil intermunicipal com crematório, produção de biodiesel, armazenamento de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, ponto de recolhimento de pneus usados, tratamento de veículos em fim de vida. Além da instalação de mini ecopontos em escolas (PEREIRA, 2009).

Este tópico iniciou analisando os prós e contras do uso dos aterros sanitários para disposição final dos RSU, mostrando que está em curso no País um processo de erradicação de lixões e aterros precários. Apresentou aspectos técnicos relativos à recuperação energética do biogás, e exemplos de usos em andamento no Brasil. E finalizou trazendo a perspectiva de futuro representada pela mudança na sua concepção para “ecoparques”.

Vimos que a escolha entre DA e incineração caracterizava uma relação de *trade-off*: menor custo e risco de poluição, com menor eficiência energética *versus* maior custo e risco de poluição, porém com maior possibilidade de sustentabilidade econômica pela recuperação energética. A introdução da alternativa representada pela valorização econômica do biogás dos aterros torna ainda mais complexa a tomada de decisão relativa à escolha da melhor opção para a GRU. Na comparação com as duas primeiras, a opção pelos aterros representa a alternativa de menor investimento inicial⁷⁰ entre as três, porém é também aquela de menos aproveita o potencial energético dos resíduos⁷¹, gerando as menores receitas. Do ponto de vista ambiental perde para a DA e também para a incineração, se pensarmos na tecnologia utilizada nas modernas WtE. Do ponto de vista social, as três possibilitam o aproveitamento pleno dos recicláveis, com a possibilidade desse direcionamento para a geração de renda nas camadas mais carentes da população. A seção 3.3 introduz novos elementos a essa análise, pela apresentação de estudos realizados por diversos autores.

Considerando-se o contexto atual de carência energética, e a necessidade dos governantes promoverem uma destinação correta para os resíduos, torna-se presente na visão governamental o interesse de resolver um dos problemas (resíduos), usando-o para amenizar o outro (energia). Mas como estimular os agentes econômicos na direção desejada? A próxima seção procura responder esta questão, verificando que instrumentos podem ser acionados para tal.

⁷⁰ O custo de implantação é da ordem de R\$ 1,2 milhões de reais (PREFEITURA..., 2009).

⁷¹ Para ilustrar: o estudo MME (2008e) concluiu por um aproveitamento de 64,9 kWh/t de RSU da cidade de Campo Grande (MS).

2.7 Instrumentos econômicos de apoio à geração energética pelos resíduos

A geração elétrica pelos resíduos é enquadrável como fonte de energia elétrica renovável (E-FER), a exemplo da biomassa, eólica, solar, hídrica, entre outras. Portanto, as iniciativas e instrumentos utilizados para estímulo às E-FER, de uma maneira geral, podem incluir os resíduos, e assim constituir-se em mecanismo de sustentabilidade para a GRU.

A nível global, o conjunto dos estímulos oferecidos às E-FER vem possibilitando o incremento no aproveitamento energético dos resíduos nas suas diversas rotas tecnológicas, sendo que, para a geração elétrica, são utilizadas principalmente a incineração, o biogás a partir de biodigestores e aterros sanitários, a fusão/vitrificação e a gaseificação por plasma.

Na Europa, o ponto de partida para o estímulo às E-FER originou-se por questões ambientais e climáticas. O documento *Energy Policy for the European Union*, emitido pelo Parlamento Europeu em 1995, requereu o estabelecimento de um plano de ação para a promoção das fontes de energia renováveis (FER). O documento *White Paper for a Community Strategy and Action Plan*, de 1997, estabeleceu metas por estado-membro, com o objetivo de dobrar a contribuição das FER, de 6% para 12%, até o ano de 2010, o que elevaria para 22% a participação das E-FER no mercado europeu (COSTA, C., 2006). Essa quota foi posteriormente reduzida para 21% (SOUSA et al., 2005).

O estabelecimento de metas por estado-membro específicas para as E-FER ocorreu pela Diretiva 2001/77/EC do Conselho e Parlamento Europeu, de 27 de setembro de 2001, intitulada *The promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market* (COSTA, C., 2006).

Os principais instrumentos de incentivo utilizados na Europa para promoção de E-FER são o sistema de leilões (*tender system*); o sistema de quotas com certificados verdes (*quota obligation system*); e o *feed-in tariffs*. Esses instrumentos representam incentivos diretos, e normalmente coexistem com outros instrumentos, tais como, incentivos fiscais e apoio à pesquisa e desenvolvimento (COSTA, C., 2006). Os incentivos podem vir também de forma indireta, como resultado de medidas sobre outros mercados ou fontes, a exemplo do favorecimento às E-FER decorrentes de taxações aplicadas aos combustíveis fósseis.

Os instrumentos diretos de políticas para E-FER podem ser aplicados sobre preços ou sobre quantidades, e podem ter origem regulatória ou voluntária. O Quadro 18 classifica os instrumentos utilizados pelos países europeus em incentivo às E-FER.

Os subsídios financeiros para as E-FER podem ser oferecidos como uma porcentagem sobre o valor investido no projeto, ou sobre a capacidade a ser instalada, em MW. O nível de incentivo costuma ser específico para cada tecnologia a ser empregada (RAGWITZ, 2005).

Por sua vez, os incentivos fiscais representam redução de custos para as E-FER, e podem ser aplicados de várias formas: isenção ou reembolso das taxas aplicadas sobre o consumo dessas energias, redução de impostos, benefícios fiscais para aqueles que investirem em fontes de energia renovável, etc. (COSTA, C., 2006).

No *feed-in tariffs* (FIT) (tarifas de aquisição) é pago um preço superior ao de mercado para a eletricidade gerada a partir de fontes renováveis. As distribuidoras de energia são obrigadas a comprar, durante determinado prazo, uma quantidade fixa de eletricidade de E-FER, por um preço também pré-estabelecido, normalmente superior ao de mercado. As condições podem ser diferentes para cada tecnologia, e prever uma regressão periódica no preço, como forma a promover a eficiência energética (COSTA, C., 2006).

		Incentivos diretos		Incentivos Indiretos
		Sobre o preço	Sobre a Quantidade	
Sistema regulado	Sobre o investimento	<ul style="list-style-type: none"> • Subsídios financeiros • Incentivos fiscais 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de leilão (<i>Tender system</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • Taxas ambientais
	Sobre a geração	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Feed-in tariffs</i> • Incentivos fiscais 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de leilão (<i>Tender system</i>) • <i>Quota obligation system</i> 	
Sistema voluntário	Sobre o investimento	<ul style="list-style-type: none"> • Programas de acionistas • Programas de financiamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Acordos voluntários, com certificados verdes 	<ul style="list-style-type: none"> • Acordos voluntários
	Sobre a geração	<ul style="list-style-type: none"> • Tarifas verdes (<i>Green tariffs</i>) 		

Quadro 18 – Instrumentos diretos de incentivo às E-FER

Fonte: Costa, C., 2006, p.14.

O *tender system* é um processo de leilão administrado pelo governo, através do qual os empreendedores concorrem para ganhar os contratos de fornecimento elétrico em condições vantajosas. Pode incluir subsídios financeiros aos projetos. Pode, também, ser separado por tipo de tecnologia, e, normalmente, as distribuidoras são obrigadas a comprar a eletricidade pelo preço do ganhador do contrato. O sobrepreço resultante poderá ser repassado à tarifa, ou compensado por fundo governamental. Até o momento foi pouco utilizado pelos países europeus (RAGWITZ, 2005 e COSTA, C., 2006).

No *quota obligation system*, sistema de cotas com certificados verdes, o governo

estabelece metas para a geração elétrica por E-FER, e obriga qualquer parte da cadeia de fornecimento elétrico (gerador, distribuidor ou consumidor) ao seu cumprimento. O preço é estabelecido pelo mercado na negociação dos certificados verdes, acompanhando as condições de demanda e geração (estabelecida pela regulação). A venda dos certificados verdes garante aos produtores de E-FER um valor adicional em relação ao valor da venda da eletricidade no mercado. Os certificados também podem ser comercializados entre as companhias de energia elétrica, caso alguma delas não consiga atender à meta estipulada pelo governo (RAGWITZ,2005 e COSTA, C., 2006).

Os certificados verdes são comumente usados no sistema de quotas, mas podem também ser utilizados nos chamados “acordos voluntários”, para verificar e monitorar a produção e venda de eletricidade, e para facilitar o mercado. Os certificados fornecem um sistema de contabilidade para autenticar a fonte de energia e verificar se a demanda foi atendida. A demanda pode ser voluntária, baseada na conscientização do consumidor, que paga um valor a mais para obter eletricidade verde, ou imposta pelo governo (como no *quota obligation system*), caso em que são aplicadas multas pelo não cumprimento da obrigação (COSTA, C., 2006).

O instrumento econômico FIT é de longe o mais utilizado na Europa, adotado por 19 dos 27 estados-membros da UE. Os incentivos fiscais e sistemas de cotas são adotados por cinco países cada um, sendo que o Reino Unido utiliza ambos. A Irlanda utiliza o sistema de leilões para estabelecer os preços do FIT. O sistema de certificados verdes é utilizado tanto no FIT como nos sistemas de cotas e incentivos fiscais. Os países que os utilizam são: Reino Unido, Holanda, Bélgica, Itália e Suécia (RAGWITZ, 2005).

Da experiência europeia com incentivos às E-FER, o estudo de Ragwitz (2005) apresentou as seguintes conclusões:

- os melhores progressos ocorreram em países com sistemas de apoio estável e com poucas barreiras para seu desenvolvimento, como Dinamarca, Finlândia, Alemanha e Espanha;
- a maior eficácia na promoção de opções de baixo custo do portfólio das E-FER, como biogás a partir de esgotos e biomassa agrícola tem sido maior em países que adotaram incentivos fiscais e regimes de cotas com certificados, embora a adoção de FIT também tenha resultado em avanços;
- comparando o nível de apoio oferecido pelos diferentes sistemas com a correspondente eficácia, tem-se que o sistema de cotas com certificados gera maior

renda aos produtores, e conseqüente maior custo aos consumidores, mas baixa eficácia (taxa de crescimento);

- os resultados sugerem que os ganhos mais significativos de eficiência podem ser obtidos simplesmente pelo aperfeiçoamento dos regimes de apoio às E-FER: mais de 2/3 da redução de custos potenciais podem vir deste aperfeiçoamento;
- ao centrar a atenção sobre a transferência dos custos para os consumidores, observa-se que o sistema de cotas com certificados é menos eficaz em relação aos sistemas FIT e de leilões, porque os riscos maiores são absorvidos pelos investidores, e os ganhos de eficiência, pelos produtores. Os outros dois sistemas referidos permitem uma distribuição mais homogênea entre as diversas tecnologias, permitindo o apoio “a longo prazo” de tecnologias atualmente não rentáveis.

Ainda com relação à reflexão sobre o resultado das experiências européias na adoção de instrumentos de incentivo às E-FER, Costa, C. (2006) concluiu que o *quota obligation system* é novo para se avaliar a sua efetividade, apresentado custo operacional ainda muito alto. Também os acordos voluntários com certificados verdes aplicados na Holanda apresentaram um resultado abaixo do esperado. Concluiu que o FIT é o instrumento de melhor eficácia, por possuir flexibilidade para acompanhar as mudanças tecnológicas e permitir o ajuste das tarifas ao longo do desenvolvimento das tecnologias.

Nos Estados Unidos existem programas de estímulo ao aproveitamento energético do biogás de aterros, como o *Landfill Methane Outreach Program* (LMOP) da *United States Environmental Protection Agency* (U.S.EPA), onde, de forma voluntária, são assinados acordos de parceria pelos quais a U.S.EPA provê assistência técnica em troca do compromisso do aproveitamento energético do GDL. A U.S.EPA estima em 200 os projetos de recuperação de GDL nos EUA, sendo que poderiam ser instalados projetos economicamente viáveis em mais de 750 aterros sanitários americanos (TOLMASQUIM et al., 2003).

No Brasil, o MCT, através da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), oferece recursos para projetos e pesquisas relativas às E-FER através de fundos setoriais como o CT-ENERG⁷² e CT-VERDE-AMARELO⁷³(MCT, [200-?]).

As E-FER eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH), foram estimuladas por um mecanismo de C&C do tipo FIT, a Lei 10.438/02, que estabeleceu o

⁷² Fundo destinado a financiar programas e projetos na área de energia, cujas ênfases incluem fontes alternativas de energia estímulo à tecnologia industrial nacional (MCT, 2009).

⁷³ Programa de estímulo à interação universidade-empresa para apoio à inovação (MCT, 2009).

Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica⁷⁴ (PROINFA), gerenciado pela empresa Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás), beneficiando 144 usinas com 3.299,40 MW de capacidade instalada, para geração de aproximadamente 12.000 GWh/ano, envolvendo investimentos da ordem de R\$ 10 bilhões. Desta potência instalada, 1.191,24 MW são provenientes de 63 PCHs; 1.422,92 MW de 54 usinas eólicas; e 685,24 MW de 27 usinas a biomassa. A garantia de contratação vigorará por 20 anos (ELETROBRÁS, 2007).

O PROINFA foi uma iniciativa isolada que o Governo não tem intenção de reeditar, pois a resposta do mercado ficou aquém da expectativa, principalmente quanto ao cumprimento dos prazos contratuais por parte dos investidores. Dos empreendimentos enquadrados no programa, 70 ainda não entraram em operação, dos quais 30 sequer iniciaram as obras. No total, 1652,3 MW ainda estão em obras ou na fase de projeto. A fonte mais prejudicada foi a eólica, face à determinação de índice de nacionalização de 60%, aliada aos atrasos nas entregas dos equipamentos por conta do aumento no número de pedidos (PROINFA..., 2009).

Incentivo fiscal recente foi a criação do Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infra-estrutura (REIDI), pela Medida Provisória nº 351 de 22 de janeiro de 2007, convertida na Lei nº 11.488 de 15 de junho de 2007, que suspendeu as contribuições para o Fundo PIS/PASEP e para a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) sobre a venda ou importação de máquinas, aparelhos, instrumentos e equipamentos novos, e de materiais de construção, para utilização ou incorporação em obras de infra-estrutura nos setores de transportes, portos, energia e saneamento básico. O enquadramento de empreendimentos elétricos no REIDI depende de aprovação do MME, com publicação no Diário Oficial da União (DOU) (BRASIL, 2007b).

Pede resultar em novos incentivos o Projeto de Lei nº 630, de 2003, em estudo na Comissão de Fontes Renováveis de Energia da Câmara de Deputados, que está unificando 18 projetos de lei que tratam de políticas de fomento às E-FER, porém as propostas em discussão, do tipo FIT, não estão abrangendo a energia pelos resíduos urbanos (TEIXEIRA, 2009). Com base nas barreiras ao desenvolvimento da GRU apresentadas na seção 1.4, o ceticismo com relação ao controle das emissões das usinas à lixo contribui sobremaneira para a falta de disposição política em fomentar essa fonte energética.

⁷⁴ O PROINFA estabeleceu a contratação de 3.300 MW de energia no SIN, produzidos por fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), sendo 1.100 MW de cada fonte. O prazo para as geradoras contempladas pelo Programa entrarem em funcionamento terminou em 31 dez.2008 (BRASIL, 2002a).

Apesar da pouca disponibilização de incentivos econômicos, aumentos de preço da energia elétrica aproximam esse preço de mercado ao necessário para a viabilidade das E-FER, inclusive com relação ao relativo à energia pelos resíduos: na geração pela tecnologia Usinaverde, a viabilidade financeira ocorre a partir de R\$ 180,00 por MWh para um módulo comercial (processamento de 150 t/dia de RSU) e R\$ 160,00 para quatro módulos (600 t/dia) em função dos ganhos de escala⁷⁵(TEIXEIRA, 2009). A ABRELPE estima os custos de geração pelos resíduos, pelas tecnologias alternativas disponíveis⁷⁶, em até R\$ 210,00 o MWh (TEIXEIRA, 2009). Compatível a outras fontes alternativas, pois Dantas (2009) informa custos de R\$ 210,00 e R\$ 150,00 o MWh para as gerações eólica e de biomassa brasileiras. Outro aspecto que auxilia na viabilização financeira das usinas à lixo é a obtenção de receitas com a comercialização de subprodutos: água quente e vapor d'água. Tanto que, segundo a EMAE, as facilidades (subprodutos) que resultarão de ULE em fase de planejamento⁷⁷ no Estado de São Paulo, podem bancar quase todo o custo da operação (CREDENTIALIO et al., 2009). Porém é cabível a ponderação de MME (2008d), de que o aproveitamento energético dos resíduos não deve ser considerado como um investimento convencional de geração de energia, que busque maximizar o retorno dos investidores, pois o benefício principal é de natureza sócio-ambiental, pela contribuição ao enfrentamento de um importante impacto ambiental antropogênico.

Esta seção, ao apresentar as possibilidades de instrumentos econômicos de apoio à geração energética pelos resíduos, conclui o segundo capítulo, que estudou as possibilidades de redução de custos e obtenção de receitas nas diversas etapas da GRU, visando a sua sustentabilidade sob os aspectos econômico, social e ambiental, associando a cada uma delas exemplos de políticas econômicas e o relato de casos de aplicação.

Mas existem outros aspectos a serem abordados, sem os quais essa análise não estaria completa. Trata-se da alternativa de receita representada pela comercialização de créditos de carbono, possibilidade presente em cada uma das etapas da GRU. Outro aspecto é a verificação do papel e potencial da geração energética pelos resíduos no cenário energético brasileiro. E ainda, conhecer as vantagens comparativas das diversas alternativas de valorização econômica, com base nas publicações referentes ao tema. Esses são os focos do estudo apresentados no próximo capítulo.

⁷⁵ O preço teto fixado do Governo para os leilões de fontes térmicas vigente em set. 2009 foi de R\$ 148,00/MWh (COSTA, 2009b).

⁷⁶ A matéria não informa quais as rotas e tecnologias consideradas.

⁷⁷ A Emae já orçou uma usina com capacidade para 600 toneladas/dia por R\$ 200 milhões (CREDENTIALIO et al., 2009).

3 ALTERNATIVAS DE VALORIZAÇÃO ECONÔMICA DOS RESÍDUOS

Este terceiro capítulo verifica as alternativas de valorização econômica pelos RSU e esgotos. A seção 3.1 introduz no estudo a receita relativa ao MDL, oriundo do Protocolo de Quioto. E, como a experiência mundial vem apresentando a geração elétrica como a principal alternativa de receita pelos resíduos, a seção 3.2 aborda o potencial de inserção dessa energia no mercado elétrico brasileiro. Por fim, a seção 3.3 complementa a análise dos diversos aspectos presentes na escolha entre as alternativas de valorização econômica presentes na GRU.

3.1 O mecanismo de desenvolvimento limpo como elemento de sustentabilidade para a gestão de resíduos urbanos brasileira

As economias na emissão de GEE proporcionadas pelas diversas rotas de tratamento dos resíduos urbanos expostas no capítulo anterior podem resultar em receitas adicionais na busca de sustentabilidade da GRU. Esta seção traz os antecedentes históricos que culminaram na criação do mercado de créditos de carbono, apresentando o mecanismo estabelecido para a concessão dos certificados, e as possibilidades para a GRU neste mercado.

Um bom ponto de partida para na busca dos antecedentes históricos que culminaram com o Protocolo de Quioto foi a publicação, em 1972, do relatório “Os Limites do Crescimento”, contratado pelo Clube de Roma⁷⁸, pois obteve repercussão mundial, e serviu de alerta para as limitações da “capacidade de carga” do planeta diante do crescimento populacional e da poluição. Naquele mesmo ano ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, chamada de Declaração de Estocolmo, que buscou estabelecer uma visão global e princípios comuns, para servirem de inspiração e orientação aos povos na preservação e melhoria do meio ambiente, que culminou com a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), agência do Sistema ONU, responsável por catalisar as ações internacionais para a proteção do meio ambiente no contexto do desenvolvimento sustentável.

⁷⁸ Clube de Roma é um grupo de pessoas ilustres que se reúnem para debater um vasto conjunto de assuntos relacionados a política, economia internacional e, sobretudo, ao meio ambiente e desenvolvimento sustentável.

Outros marcos evolutivos da defesa ambiental foram a Convenção de Viena, em 1985, e o Protocolo de Montreal, de 1987, que levaram os países signatários a se comprometerem com a substituição das substâncias redutoras da “camada de ozônio”. Também em 1987 ocorreu a divulgação do relatório “Nosso Futuro Comum”⁷⁹, publicado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, da ONU, propondo a integração da questão ambiental e do desenvolvimento econômico pelo desenvolvimento sustentável.

A Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), em 1992, no Rio de Janeiro, contribuiu para a divulgação do conceito de desenvolvimento sustentável e a aceitação pelos países desenvolvidos de princípios como o das responsabilidades comuns, mas diferenciadas, com relação ao meio ambiente. Resultou na publicação da “Agenda 21”⁸⁰ e na adoção da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), com o objetivo de buscar a estabilização da concentração de GEE na atmosfera em níveis que evitem uma maior interferência no sistema climático. E estabeleceu a realização de reuniões periódicas entre os países membros, chamadas Conferência das Partes (COP) (ONU, 1992).

Na COP-1, de 1995, foi estabelecido o “Mandato de Berlim”, que teve como principal foco o consenso de todos os países em se tomar ações mais enérgicas quanto à mitigação do efeito estufa. Foi constituído o grupo *Ad Hoc* sobre o Mandato de Berlim (AGBM), encarregado de propor ações que impedissem o agravamento do aquecimento global provocado pela interferência humana. Surgiu então um esboço de acordo que culminou com a definição do Protocolo de Quioto, em 1997, na COP-3.

No Protocolo de Quioto, um conjunto de países classificados como “desenvolvidos” – que juntos foram responsáveis pela geração de 55% dos GEE emitidos antropicamente no ano de 1990 – foram relacionados no seu Anexo 1, e receberem uma meta individual de emissões de GEE⁸¹ listadas no seu Anexo B, que conjuntamente representavam uma redução de 5,2% em relação aos níveis de 1990, para atingimento até o ano de 2012. Foram aprovados nesse Acordo três mecanismos de flexibilização na contabilidade dos GEE, para uso dos países constantes do Anexo I, como auxílio para o atingimento das metas de reduções: o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), a Implementação Conjunta e o Comércio de Emissões. Desses, o único que representa estímulo financeiro direto aos países em desenvolvimento

⁷⁹ O relatório “Nosso Futuro Comum” ficou conhecido também como “Relatório Brundtland”.

⁸⁰ Referida anteriormente na seção 1.2.

⁸¹ O Anexo A relacionou os GEE que são objeto de acompanhamento pelo Protocolo de Quioto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF₆).

(não-Anexo I) é o MDL (ONU, 1997).

O mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) foi instituído pelo artigo 12 do Protocolo também com o objetivo de auxiliar as Partes não incluídas no Anexo I a buscar o desenvolvimento sustentável. A operacionalização do MDL ocorre pela emissão autorizada de Certificados de Reduções de Emissões – *Certified Emission Reductions* (CER) – ou simplesmente “Créditos de Carbono”. Sendo que cada CER equivale a uma tonelada métrica de CO₂ (ou equivalente) seqüestrada ou mitigada. Se constitui em instrumento de crédito, negociado em ambientes de balcão, com mercados primário, secundário e de derivativos (contratos de swap).

O texto do Protocolo estabeleceu as bases para a concessão das certificações: participação voluntária; benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo relacionados com a mitigação da mudança do clima; e que as reduções de emissões sejam adicionais às que ocorreriam na ausência da atividade certificada de projeto. Também constituiu um Conselho Executivo, para a gestão do MDL, constituído por dez membros das Partes no Protocolo de Quioto, e a prerrogativa da utilização de painéis e grupos de trabalho para auxiliá-lo no desempenho das suas funções (GOVERNO DO JAPÃO, 2006).

Com base em critérios estabelecidos pelo Conselho, os projetos de MDL podem ser classificados como de pequena ou grande escala, e apresentam as seguintes fases: elaboração do documento de concepção de projeto (DCP); validação por uma Entidade Operacional Designada⁸² (EOD); aprovação pela Autoridade Nacional Designada⁸³ (AND); registro pelo Conselho Executivo; monitoramento; verificação/certificação; e emissão dos CER pelo Conselho Executivo (MCT, [2008]).

As metodologias e fluxos para os projetos de pequena escala são simplificados, gerando DCP de menor complexidade. As simplificações decorrem do agrupamento de atividades e etapas nas diversas fases, redução de requisitos, metodologias de linha de base e planos de monitoramento simplificados, e a mesma EOD pode realizar a validação e a verificação/certificação (GOVERNO DO JAPÃO, 2006).

Segundo os Acordos de Marraqueche, são de pequena escala as seguintes atividades de projeto: energia renovável com capacidade máxima de produção equivalente a até 15 MW; melhoria da eficiência energética que reduzam o consumo de energia do lado da oferta e/ou da demanda até o equivalente a 15 GWh/ano; e outras que tanto reduzam emissões por fontes

⁸² No Brasil o papel de AND é desempenhado pela Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC).

⁸³ As EOD podem ser certificadas para atuação nas fases de validação e/ou verificação/certificação. A relação dessas entidades está disponível em UNFCCC, 2009c.

antrópicas quanto emitam diretamente menos do que 15000 tCO₂e ao ano (MCT, [2008]).

O mapeamento das emissões de GEE permitiu a criação de lista com 15 escopos setoriais, onde o setor 1 abriga os projetos associados a fontes de energia e o setor 13 ao tratamento e disposição de resíduos.

A elaboração do projeto MDL demanda a aplicação de metodologias, que podem ser usadas para determinação da linha de base, monitoramento e adicionalidade. Podem ser utilizadas metodologias já referendadas pelo Conselho Executivo, ou novas, que demandarão aprovação. Em maio de 2009 eram 61 metodologias de linha de base e monitoramento disponíveis (numeradas com a caracterização “AM”), mais 14 metodologias que, além de aprovadas, estão consolidadas (numeradas com a caracterização “ACM”). O Quadro 19 relaciona aquelas de maior probabilidade de uso no âmbito da GRU.

Metodologia	Utilização	Setor
AM0024	Pela recuperação energética de resíduos em indústrias cimenteiras	1
AM0025	Pelos processos de tratamento alternativos da parcela orgânica dos resíduos	1,13
AM0039	Pelo tratamento combinado da parte orgânica de resíduos sólidos e esgotos	13
AM0053	Pela utilização combinada do biogás com o gás natural	1
AM0055	Pela utilização de biogás em refinarias	1
AM0057	Pela utilização de biogás em indústrias de celulose ou na produção de biodiesel	13
AM0069	Pela utilização de biogás como combustível nas redes de fornecimento urbano	1
ACM0001	Para projetos com gás de aterro	13
ACM0002	Para geração elétrica com fontes renováveis de energia	1
ACM0006	Para geração elétrica a partir de resíduos de biomassa	1
ACM0007	Para conversão de geração energética de ciclo simples para ciclo combinado	1
ACM0012	Pelo aproveitamento energético dos resíduos em plantas ULE	1
ACM0013	Pela utilização de tecnologias menos intensivas em GEE	1
ACM0014	Pelo reaproveitamento industrial de águas servidas	13

Quadro 19 – Metodologias MDL para escopos setoriais ligados a resíduos e energia renovável, em maio de 2009.

Fonte: UNFCCC, 2009a. Elaboração do autor.

A ferramenta para demonstrar a adicionalidade dos projetos é do tipo passo-a-passo, e pode ser aplicada a uma ampla gama de tipos de projetos, demandando ajustes em alguns casos. Inclui a identificação de alternativas à atividade do projeto, de forma condizente com a legislação e regulamentações em vigor; análise do investimento; análise das barreiras; prática corrente; efeito do registro do MDL; e a conclusão se a atividade do projeto é adicional (GOVERNO DO JAPÃO, 2006).

Alem das referidas metodologias, UNFCCC (2009a) apresenta sete ferramentas metodológicas que combinam metodologias e adicionalidade, sendo três delas relativas a este estudo: ferramenta para determinar as emissões de metano evitado da eliminação dos resíduos em um LDRS; ferramenta de projeto para determinar as emissões da queima de gases contendo metano; e ferramenta para calcular as emissões ou fugas de CO₂ da queima de combustíveis fósseis.

O caminho percorrido pelo DCP até a chegada na 7ª etapa é longo, complexo e caro, mas pode ser amplamente superavitário dependendo da escala e da viabilidade econômica intrínseca do projeto. Dependendo da conjuntura mercadológica em que o investimento estiver inserido, a obtenção de CER pode ser o diferencial financeiro viabilizador de um projeto.

Uma vez emitidos os CER, as posses, transferências e aquisições de unidades de Quioto serão acompanhadas e registradas por meio de sistemas computadorizados de registros, no país de origem e internacional, pelo *International Transaction Log* (ITL) (UNFCCC, 2009e). O tempo de validade do CER depende de regra estabelecida: dez anos corridos, ou sete, renovável duas vezes, totalizando vinte e um anos. E também da “adicionalidade” de cada projeto⁸⁴.

A atratividade do mercado de MDL reside nos diferenciais de custos: enquanto os países do Anexo I necessitam de US\$ 15.00 a US\$ 100.00 para reduzir uma tCO₂e, nos países em desenvolvimento este dispêndio pode variar de US\$ 1.00 a US\$ 4.00 (SANTIN, 2007).

O Protocolo de Quioto não vem conseguindo os resultados esperados. As emissões do Japão estão aumentando. O Canadá recuou da sua meta. A União Européia depende dos países-membros adotarem uma postura mais rigorosa. Os EUA e a China, responsáveis por 40% das emissões globais provenientes da queima de combustíveis fósseis, não assumiram compromissos de redução (BALL, 2007). A Alemanha (- 21,3%) e Reino Unido (-19%) obtiveram reduções, sendo que parte da conquista Alemã decorreu pela modernização das plantas industriais dos países do Leste Europeu, nos anos 90, o que não está se repetindo (BARREIRAS..., 2007).

A amplitude das conseqüências do aquecimento global é tema de discussão científica, mas o fenômeno em si, e que gera conseqüências irreversíveis, é ponto pacífico. Como as ações mundiais até o momento são insuficientes, o tema será recorrente, na busca do engajamento dos países, principalmente EUA e China, e na discussão de soluções. UNFCCC

⁸⁴ O período de obtenção de créditos só poderá ter início após a data de registro da atividade de projeto proposta no âmbito do MDL.

(2009b) traz as bases das proposições para as futuras negociações de reduções. Aborda a proposição de novas metas de redução de emissões para um horizonte de tempo até 2050; reforços nas ações de adaptação e mitigação; e reforços nos mecanismos de financiamento, tecnologias e capacitações. Está em discussão metas como a estabilização da concentração de GEE entre 350 a 450 ppm de CO₂e em 2050 com a elevação da temperatura global de 1,5 ou 2°C em relação aos níveis pré-industriais.

Em agosto de 2009 o número de projetos MDL registrados totalizava 1647, com a participação relativa dos países apresentada no Gráfico 13.

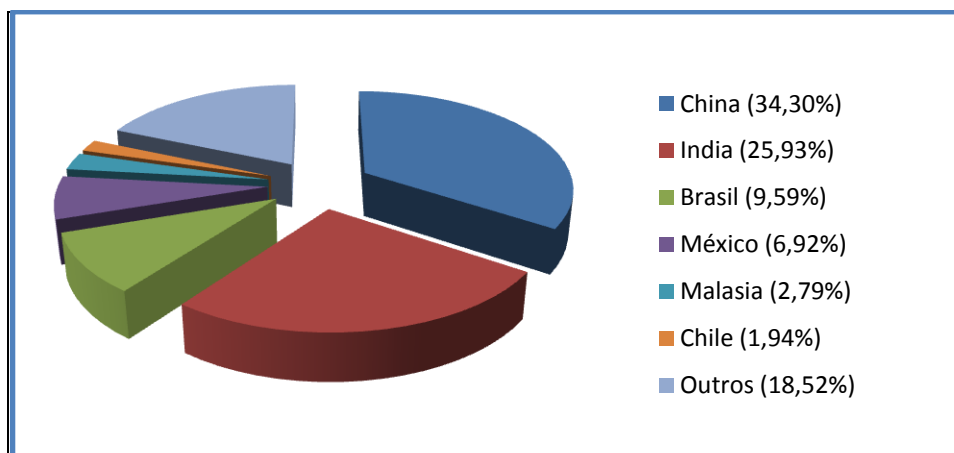


Gráfico 13 – Participação dos países em quantidade de projetos MDL registrados

Fonte: UNFCCC, 2009d. Elaboração do autor

Dos projetos registrados, 57,26% eram de grande escala e 42,74% de pequena escala. Os projetos do setor 1 e 13 representam 59,79% e 17,36% do total. Dos 287.819.365 CER emitidos, 44,56% pertencem a projetos chineses, conforme apresentado no Gráfico 14. A fatia brasileira, de 10,47%, corresponde a 30 milhões de CER.

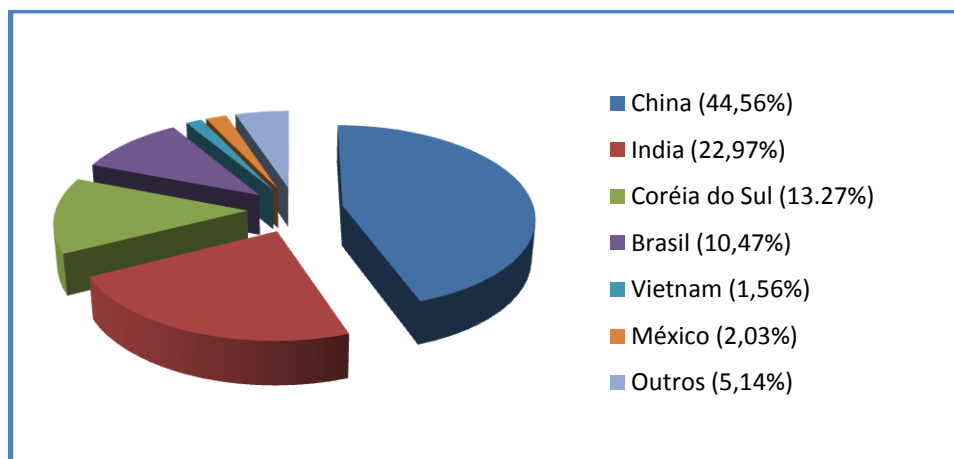


Gráfico 14 – Participação dos países na quantidade de CER emitidos

Fonte: UNFCCC, 2009d. Elaboração do autor.

Até maio de 2009 a AND brasileira havia recebido 240 projetos, sendo que 210 foram aprovados. Destes, 88 tratavam de energia renovável, 38 de manejo de dejetos animais, 27 de resíduos, 11 de eficiência energética, 8 de processos industriais, e 25 de outros escopos (MCT, 2009).

Levantamento elaborado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), em conjunto com a Unicamp, estima um potencial de redução de 25,7% no consumo de energia elétrica no processo produtivo, referentes a 14 setores industriais brasileiros, na comparação com países desenvolvidos, sendo que 75% deste potencial se refere à eficiência energética no consumo de combustíveis (MAIA, 2009a). A atualização tecnológica que resultar em aumento na eficiência energética pode fazer jus à créditos de carbono. Como a substituição de fontes elétricas fósseis por E-FER também são enquadráveis no MDL, se a indústria promover essa eficiência, além dos ganhos operacionais normais pela redução de consumo, pode maximizar sua receita MDL, unindo num único projeto as reduções de GEE dos dois tipos, simultaneamente.

Segundo Alvim (2007), o Brasil apresenta grande potencial para crescimento no mercado de créditos de carbono, porém existem entraves como a falta de linhas de crédito especiais; demora na concessão das licenças ambientais; e falta de divulgação do mecanismo de Quioto. Dificulta também a demora da AND brasileira na análise dos projetos.

No Brasil, as negociações de créditos de carbono ocorrem no Mercado Brasileiro de Reduções de Emissões (MBRE), constituído a partir de uma parceria da Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros (BM&FBovespa) com o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC). O MBRE apresenta um Banco de Projetos que objetiva fomentar a realização de negócios no mercado de carbono pela divulgação de projetos validados, intenções de projetos, e intenções de compra de créditos de carbono. Este mercado possui um sistema eletrônico que possibilita a negociação à vista de créditos de carbono já gerados por projetos de MDL, ou a termo, para os CER que ainda estiverem em processo de geração e certificação. Os leilões de créditos de carbono são realizados pela BM&FBovespa, com acesso via internet pelos compradores qualificados do mercado de carbono global. Essas sessões de negociação são estruturadas respeitando-se as práticas internacionais desse mercado, e buscando a adequação às necessidades do titular dos créditos a serem leiloados (BM&FBOVESPA, 2009).

A primeira experiência desse leilão ocorreu em 26 de setembro de 2007, com a venda de 808.440 CER pela Prefeitura de São Paulo, referentes à queima de metano pelo seu Aterro Bandeirantes, a um preço de € 16,20, gerando arrecadação de R\$ 34,5 milhões. Até então

todas as negociações vinham ocorrendo através de negociações diretas em mercado de balcão (MAIA, 2007a).

A Usina de Biogás do Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho, situada no estado do Rio de Janeiro, inaugurada em junho de 2009, passou a ser o maior projeto brasileiro de redução de GEE, pois evitará a liberação de 75 milhões de metros cúbicos de metano por ano na atmosfera. Passou a ser também o maior do mundo em emissões de CER autorizadas, com estimativa de obter 10 milhões de créditos de carbono em um período de 15 anos. (NOVO..., 2009).

Em agosto de 2008, a Comissão de Valores Mobiliários (CVM) se pronunciou favoravelmente à negociação de CER por fundos de investimentos constituídos no Brasil, medida que traz liquidez a esse mercado. Determinou que o regulamento desses fundos deve conter disposições específicas dos CER, como fatores de risco, formas de negociação, contabilização e limites de alavancagem (SIQUEIRA, 2009). O mercado disponibiliza também operações de swap, que permitem aos investidores a exposição indireta ao preço dos CER em reais. Um índice utilizado como referência é o *Barclays Capital Global Carbon Index – Certificate Emissions Reductions* (BGCI-CER).

Segundo relatório do Banco Mundial, o mercado global de CER dobrou de valor no ano de 2008: de US\$ 63 bilhões em 2007 para US\$ 126 bilhões em 2008, embora o mercado primário, formado pela comercialização das novas reduções, tenha reduzido de US\$ 7,4 bilhões para US\$ 6,5 bilhões no período, correspondente a 389 milhões de CER (LUCCHESI, 2009).

O término do Protocolo de Quioto, em 2012, dificilmente significará o fim do mercado de créditos de carbono, pois a conscientização mundial para o problema do aquecimento global é crescente. Este fato permite a expectativa de valorização dos CER nos próximos anos e em oportunidade crescente para a geração de receitas extra-operacionais no âmbito da GRU.

As receitas oriundas dos créditos de carbono representam uma excelente oportunidade de ganhos, podendo ser um elemento determinante para a viabilidade de um projeto, em casos onde as receitas decorrentes da atividade econômica, como as obtidas no mercado elétrico, estão próximas das mínimas esperadas como retorno para o investimento.

Esta seção buscou contextualizar a obtenção de receitas extra-operacionais via crédito de carbono pelo mercado de resíduos e de E-FER. Na próxima, os RSU são vistos sob a ótica de E-FER, no atual cenário institucional e legal do mercado elétrico brasileiro.

3.2 A inserção da energia dos resíduos no mercado elétrico brasileiro

A valorização econômica dos resíduos pela geração de energia depende da sua capacidade de atendimento à demanda e da competitividade na inserção nesse mercado. Em vista disso, esta seção visa contextualizar a energia dos resíduos no cenário elétrico brasileiro e avaliar o seu potencial para a geração elétrica.

A necessidade de energia é ascendente. Espera-se que o uso mundial de energia cresça 50% até 2030 (BALL, 2007), com a demanda dos países em desenvolvimento representando 74% deste total (BARREIRAS..., 2007).

No Brasil a situação não é diferente. A análise do perfil do setor energético brasileiro, cuja matriz energética é apresentada na Tabela 12, mostra pequena predominância da energia de fontes não renováveis (54,7% da total), numa oferta que alcançou 252,2 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep)⁸⁵ no final de 2008, num crescimento de 5,6% frente a 2007 (MME, 2009b).

Tabela 12 – Oferta Interna de Energia – participação (%) por fonte

	2006	2007	2008
Petróleo e Derivados	37,8	37,4	36,7
Gás Natural	9,6	9,3	10,3
Carvão Mineral e Derivados	6,0	6,0	6,2
Urânio(U₃O₈) e Derivados	1,6	1,4	1,5
Energia não Renovável	55,1	54,1	54,7
Energia Hidráulica	14,8	14,9	13,8
Lenha e Carvão Vegetal	12,7	12,0	11,6
Produtos da Cana-de-açúcar	14,5	15,9	16,4
Outros Renováveis	2,9	3,2	3,5
Energia Renovável	44,9	45,9	45,3

Fontes: MME, 2008b e MME, 2009b. Elaboração do autor.

As maiores variações das participações relativas a cada fonte, ocorridas em 2008, foram o aumento do mercado de cana-de-açúcar e seus derivados, que atingiu 16,4% da matriz, em função do crescimento no consumo do álcool anidro; e do gás natural, que teve sua

⁸⁵ A contabilização das diferentes formas de energia se viabiliza por meio da utilização de fatores de conversão, que levam em consideração o conteúdo energético de cada fonte, tendo como referência a sua capacidade de liberação de calor, quando da sua combustão completa. A conversão em tep ocorre na comparação com o petróleo, que apresenta poder calorífico de 10.000 kcal/kg (MME, 2007a).

utilização aumentada em substituição ao fornecimento elétrico das UHE no daquele ano, face à estiagem.

Inserido no segmento energético está o setor elétrico, que vem crescendo a um ritmo de 140 GW ao ano na oferta global, considerando-se o período entre 2000 e 2005. Estima-se que este crescimento suba para cerca de 154 GW ao ano, no período entre os próximos 5 a 10 anos (ROSAS, 2008).

Nesse contexto, a equalização das variáveis: crescimento econômico, geração elétrica e poluição, passa a ser uma difícil tarefa enfrentada pelos governantes, pois o crescimento econômico demanda o fornecimento de energia em quantidade suficiente e de forma contínua, sob pena da ocorrência de “apagões”. Para tanto, os países planejam a geração elétrica considerando cenários de médio e longo prazos⁸⁶ e as potencialidades energéticas locais, buscando, por um lado, minimizar os custos de geração, como forma de obter diferenciais na competição comercial internacional, e de outro, ponderando os impactos sociais, ambientais e climáticos dos empreendimentos, além das conseqüências dessas escolhas no âmbito político. Porém, a necessidade da produção elétrica acompanhar o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) é relativizada, para mais ou para menos, em função da variação na eficiência da utilização da energia elétrica⁸⁷.

As soluções adotadas pelos países variam em função da existência de recursos naturais que possam ser explorados, como hídricos, eólicos, solar, mares, áreas agriculturáveis para a biomassa, etc. Além da existência ou proximidade com fontes fósseis, como o carvão e o gás natural. Dependem também, entre outros aspectos, dos graus de restrição das legislações locais às emissões das termelétricas e de incentivo às E-FER. O Gráfico 15 demonstra que, à exceção da geração a óleo diesel, todas as demais fontes de eletricidade apresentam tendência de crescimento, com destaque ao uso do gás natural e, principalmente, ao carvão mineral⁸⁸, que avançaria de um patamar de 7,5 trilhões de kWh em 2005, para o dobro desse valor em 2030.

⁸⁶ A necessidade de horizontes mais longos de planejamento decorrem do tempo necessário para a implementação dos investimentos em usinas de maior porte, que varia de três a cinco anos, dependendo do tipo, se não ocorrerem atrasos.

⁸⁷ Atualmente a paridade do crescimento do PIB *versus* o consumo de energia, no Brasil, é próxima de um para um (ROSAS, 2008b).

⁸⁸ Cujos malefícios foram apresentados no tópico 1.5.2.

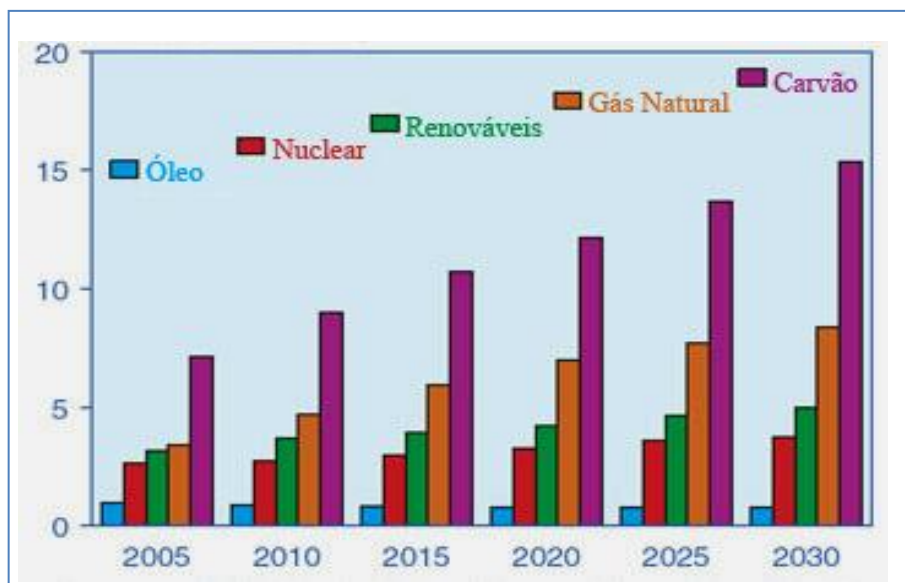


Gráfico 15 – Tendência da geração mundial de eletricidade, por tipo de fonte, até 2030 (Capacidade instalada, em trilhões de kWh)

Fonte: EIA, 2008, não paginado.

Conforme apresentado no tópico 1.5.2, no Brasil também é maior a tendência de crescimento das fontes “sujas”. A oferta total de eletricidade no Brasil, em 2008, atingiu 497,4 terawatt/hora (TWh)⁸⁹, num aumento de 2,4% frente a 2007. A Tabela 13 apresenta a evolução da oferta dos últimos três anos, por tipo de fonte.

Tabela 13 – Oferta interna de energia elétrica, de 2006 a 2008, por fonte (em TWh)

	2006	2007	2008	Var % 2007/2008
Gás Natural	18,3	15,5	29,9	92,8
Derivados de Petróleo	12,4	13,4	15,1	13,4
Nuclear	13,8	12,3	13,9	12,8
Carvão e Derivados	7,2	6,8	7,2	6,3
Energia não Renovável	51,7	48,0	66,2	37,9
Hidráulica + Importação (Itaipú)	389,7	414,9	406,7	-2,0
Biomassa	18,5	22,5	24,0	6,7
Eólica	0,2	0,56	0,56	-0,4
Energia Renovável	408,4	437,9	431,2	-1,5
Total	460,1	485,9	497,4	2,4

Fonte: MME, 2008b e MME, 2009b. Elaboração do autor.

Nota: a biomassa inclui lenha, bagaço de cana, lixo e outras recuperações.

Ao passo em que a utilização de fontes não renováveis cresceu 37,9% em 2008,

⁸⁹ Enquanto o watt é uma unidade de potência, o watt-hora é uma unidade de energia. Ex: uma lâmpada cuja potência é de 100W, consome energia a uma taxa de 100 joules por segundo. Em uma hora consome 360.000 joules ou 100 Wh. Se é acesa durante 10 horas, consumirá 1.000 Wh ou 1 kWh. Portanto, os 497,4 TWh consumidos no Brasil em 2008 foram equivalentes a 56.780 MWh médios.

principalmente na utilização de gás natural (92,8%), o uso das fontes renováveis decresceu 1,5%, em grande parte por conta da forte estiagem registrada naquele ano. A Tabela 14 apresenta a participação de cada fonte no fornecimento elétrico nos anos de 2006 a 2008, em forma percentual, onde se observa que, embora tenha ocorrido um decréscimo na participação das fontes renováveis em 2008, elas ainda representaram 85,4% da energia elétrica gerada.

Tabela 14 – Oferta interna de energia elétrica, de 2006 a 2008, por fonte (em %)

	2006	2007	2008
Gás Natural	4,0	3,5	6,6
Derivados de Petróleo	2,7	3,0	3,3
Nuclear	3,0	2,8	3,1
Carvão e Derivados	1,6	1,5	1,6
Energia não Renovável	11,3	10,8	14,6
Hidráulica + Importação (Itaipú)	84,7	84,0	80,0
Biomassa	4,0	5,1	5,3
Eólica	<0,1	0,1	0,1
Energia Renovável	88,7	89,2	85,4

Fonte: MME, 2008b e MME, 2009b. Elaboração do autor.

Nota: a biomassa inclui lenha, bagaço de cana, lixo e outras recuperações.

O mercado elétrico brasileiro tem a Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, como o marco regulatório atual. Esta legislação e suas alterações posteriores dispõem sobre a comercialização da energia elétrica entre concessionários, permissionários e autorizados de serviços e instalações de energia elétrica, bem como destes com seus consumidores, no âmbito do Sistema Interligado Nacional (SIN). (BRASIL, 2004a)

O órgão máximo desse segmento econômico é o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), órgão interministerial de assessoria à Presidência da República. Cabe a esse Conselho definir as políticas que balizarão o planejamento do setor elétrico brasileiro, equalizando a geração elétrica ao crescimento econômico, ponderando aspectos ligados à sustentabilidade, como a questão da poluição. A escolha entre as alternativas para a geração elétrica é uma decisão complexa, que depende de diversos fatores, como o fluxo de demanda previsto em cada um dos estados brasileiros, o tipo, localização e a capacidade assegurada de geração de cada empreendimento.

O Ministério das Minas e Energia (MME) é encarregado da condução da política energética do País, apoiado pela autarquia Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), classificada como “empresa pública”. A ANEEL é a agência reguladora e fiscalizadora dos sistemas de geração, transmissão, distribuição e comercialização da energia elétrica. A EPE tem por finalidade prestar serviços na área de

estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético. Esse Ministério coordena diretamente o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), que acompanha e avalia a continuidade e a segurança do suprimento elétrico, além de identificar problemas futuros de abastecimento e elaborar propostas de ajustes (CCEE, 2008).

A função de operacionalização do sistema é executada por uma entidade de direito privado, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), subordinado à ANEEL, respondendo pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no SIN. O SIN interliga as geradoras à rede de transmissão, que abrange quase todo o território nacional⁹⁰ (ONS, 2008). Cabe ao ONS o gerenciamento permanente do fluxo de oferta, para fazer frente às oscilações da demanda do sistema elétrico.

Em outubro de 2009, o Brasil possuía um total 2.129 empreendimentos em operação, que apresentavam 105,7 GW de potência fiscalizada. Com previsão de acréscimo de 38,9 GW nesse montante, pela entrada em funcionamento de 174 empreendimentos, que estão em construção, e mais 418 outorgadas (MME, 2009a). A Tabela 15 apresenta essa capacidade fiscalizada, distribuída por tipo de fonte, perfazendo praticamente 114 GW, onde, no conjunto das UTE, estão 339 usinas à biomassa, numa potência instalada de 5,74 GW, ou 5,16% do total, que inclui bagaço de cana, licor negro, madeira, casca de arroz e biogás. A participação do biogás é de 41,8 MW em sete usinas (MME, 2009a).

Tabela 15 – Empreendimentos geradores de energia elétrica em operação no Brasil, por tipo de fonte, em outubro de 2009

Fonte	Quantidade	Capacidade Fiscalizada (MW)	%
Usinas hidrelétricas (UHE)	163	75210,5	71,12
Usinas termelétricas (UTE)	1275	24874,6	23,52
Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH)	352	2881,7	2,73
Energia nuclear	2	2007	1,90
Energia eólica	36	602,2	0,57
Central Geradora Hidrelétrica	300	168,6	0,16
Energia Solar	1	0,02	0
Total	2129	105744,7	100

Fonte: Fonte: MME, 2009a, não paginado.

Nota: a Potência Fiscalizada é definida por medições realizadas quando da entrada em operação comercial da unidade geradora.

O mercado de energia elétrica está dividido entre os mercados livre e regulado ou cativo, ambos disciplinados pela Lei 10.848. O mercado usual, disponível para qualquer consumidor, é o mercado regulado, onde a contratação e precificação da venda de energia das geradoras às distribuidoras ocorrem através do mecanismo de leilões. No mercado livre os

⁹⁰ Não estão integradas ao SIN os pequenos sistemas isolados na região amazônica.

preços entre as partes são negociados caso a caso, por prazo estipulado entre elas, mediante a intermediação de empresas comercializadoras. Só podem aderir a esse mercado empresas de maior porte, que apresentem tensão superior a 69 quilovolts (kV), e demanda mínima de 3 MW. Representava, em agosto de 2008, 17% do total, sendo utilizado por 674 empresas⁹¹. O atrativo do mercado livre, em relação ao regulado, é a possibilidade da negociação de redução nos preços da energia elétrica (MAIA, 2007b). Se o grande consumidor do mercado livre ficar descontratado, será obrigado a comprar a energia pelo preço *spot*, de grande volatilidade.

As transações do mercado de energia elétrica (leilões, contratos, e mercado à vista) são registrados na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) – que em 2004 absorveu as funções do Mercado Atacadista de Energia (MAE) – a partir dos quais apura o preço de mercado, chamado de Preço de Liquidação de Diferenças (PLD). Realiza a liquidação financeira dos contratos, e promove, por delegação da ANEEL, os leilões de compra e venda de energia do mercado regulado (CCEE, 2008). Além dos leilões de energia nova, para entrega de energia em três ou cinco anos, no ambiente da CCEE são realizados também os leilões de energia de reserva⁹², com o objetivo de dar segurança ao sistema; e os leilões de energia de fontes alternativas, para incentivos pontuais a essas fontes, entre outros.

O planejamento do mercado elétrico considera as variáveis que influem tanto na oferta com na demanda do setor. Enquanto a demanda depende do crescimento populacional, do nível da atividade econômica e do grau de eficiência energética do País, a oferta é sensível às dificuldades de implementação dos investimentos nas fontes predominantes, UHE e UTE. As UHE sofrem com os regimes de chuvas, condições de crédito para investimento, autorizações ambientais para instalação, custo da rede de transmissão pela distância da geração em relação aos grandes centros consumidores, etc. E as UTE, pela tendência de legislações cada vez mais restritivas à poluição, variações de preço e insegurança no fornecimento dos combustíveis fósseis, etc. Neste cenário de demandas crescentes e incertezas na oferta elétrica convencional, crescem em importância as demais fontes elétricas consideradas “limpas” e “renováveis”, como a solar, eólica e biomassa, que inclui as gerações pelos resíduos. Estima-se em US\$ 60 bilhões a soma de investimentos mundiais na indústria de energia renovável em 2006 (SARAIVA, 2007).

Com relação ao aproveitamento dos resíduos como E-FER, a avaliação de MME (2008e, cap.III-1, p.29), foi: “o aproveitamento energético dos RSU é uma alternativa

⁹¹ A quantidade de empresas é posição de dezembro de 2007.

⁹² O 1º leilão de reserva foi realizado em agosto de 2008, e contratou 2.379,40 MW para entrega em 2009 e 2010, por 31 termelétricas à biomassa (bagaço de cana-de-açúcar e capim elefante), a um preço final médio de R\$ 58,84/MWh, em contratos de 15 anos, envolvendo recursos na ordem de R\$ 10 bilhões (MME, 2008c).

promissora para a geração e conservação da energia elétrica, para a redução do espaço necessário à deposição dos resíduos e como redutor de emissões de gases de efeito estufa”. Também o pronunciamento de abertura do seminário internacional “Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos no Estado de São Paulo”, ocorrido em 17 de outubro de 2007, apresentou uma avaliação positiva do potencial de aproveitamento energético dos resíduos urbanos:

No caso do Brasil, segundo o IBGE, a produção de resíduos sólidos urbanos chega hoje a 230.000 toneladas dia, que mantidas as mesmas proporções, poderiam gerar até 5.000 MW médios, o que representa quase uma nova Usina de Itaipu, ou quase o dobro do que se espera gerar no polêmico complexo do Rio Madeira. É importante dizer que essa produção seria apenas se os resíduos fossem totalmente convertidos em energia elétrica com um rendimento térmico de aproximadamente 30%. Caso fossem implementados processos de cogeração e aproveitamento integral do calor do processo, o rendimento do ciclo térmico chegaria até a 88%, **o que significaria dizer que o aproveitamento energético dos resíduos em termos de país significaria mais de 10.000 MW médios equivalentes** (GOVERNO DE SÃO PAULO, 2007, não paginado, grifo nosso).

Enquanto a análise apresentada considera apenas a rota termoquímica, o MME (2007d) inclui as alternativas bioquímicas. Prevê que a fração inorgânica dos resíduos tende a aumentar no Brasil, assim como os potenciais de geração de eletricidade com os resíduos urbanos, conforme apresentado na Tabela 16, podendo chegar a 8.440 MW em 2030. Dentro de uma perspectiva de longo prazo, considerou a possibilidade de instalação de até 1.300 MW nos próximos 25 anos em usinas termelétricas à RSU (MME, 2008d).

Tabela 16 – Potencial de geração de eletricidade pelos RSU no Brasil pelo PNE 2030

	2020	2030
Características dos resíduos		
Volume (milhões de toneladas por ano)	62,7	92,2
% de material orgânico	56,0	47,5
% de material reciclável	39,0	47,5
Potencial de geração de eletricidade* (MW)		
Biogás de aterros	1.700	2.600
Digestão anaeróbia	980	1.230
Incineração	3.740	5.280
Ciclo combinado otimizado	5.980	8.440

Fonte: MME, 2007d, p.178

Nota: (*) Considerando o fator de capacidade de 80%

Em nova avaliação, o MME (2008e), considerando as atuais tecnologias maduras de aproveitamento do RSU e parâmetros de rendimento energético, apresentou a estimativa do potencial de geração elétrica pelos RSU em 2007 e sua projeção para 10 anos, onde a tecnologia de maior eficiência, a incineração com ciclo combinado, permitiria a geração de

11.000 MW em 2017, conforme demonstra a Tabela 17.

Tabela 17 – Potencial de geração de eletricidade pelos RSU no Brasil, segundo o PDE 2008/2017, em MWmédio

Tecnologia	2007	2017
Incineração	8.000	10.200
GDL (biogás de aterros)	1.600	2.000
DA (digestão anaeróbia)	2.700	3.400
Incineração ciclo combinado	8.700	11.000

Fonte: MME, 2008e, Cap.III, p.31

As tecnologias consideradas por MME (2008e) foram a incineração para geração em ciclo simples a vapor, a queima do biogás produzido em aterros sanitários ou em biodigestores para geração em turbinas de ciclo simples ou máquinas de combustão interna, e a incineração com o auxílio de combustível auxiliar, em ciclo combinado. Os parâmetros adotados para o ano horizonte de 2017 foram: uma população urbana de 159,9 milhões de habitantes produzindo diariamente 1,1 kg por habitante de área urbana, um índice de coleta dos resíduos urbanos de 88% (equivalente ao índice atual), e os seguintes consumos específicos de RSU: 2,0 t/MWh para a incineração; 10,0 t/MWh para o aproveitamento direto do GDL; 6,0 t/MWh na DA; e 1,9 t/MWh para o aproveitamento do RSU em ciclo combinado. Se, por um lado, as estimativas apresentadas incluíram na geração elétrica por incineração, materiais que talvez fossem mais bem aproveitados na reciclagem, por outro, não somaram aos resultados o potencial energético do biogás e lodo oriundo dos esgotos.

Entre as vantagens da utilização dos RSU, estão: o aumento na segurança do sistema elétrico pelo fato dos resíduos viabilizarem a geração descentralizada a custos competitivos; o combustível (RSU) ser cotado em moeda nacional, com um custo normalmente negativo, permitindo ao Brasil a redução na utilização de derivados de petróleo e importação de gás natural; além da captação de recursos do exterior decorrentes do MDL, pela redução na emissão de metano oriundo de vazadouros de lixo e de dióxido de carbono proveniente das usinas termelétricas de combustíveis fósseis (TOLMASQUIM et al. (2003). Também porque a geração de energia pelos resíduos, comparativamente com outras fontes renováveis, como a eólica, solar e hídrica, pelo seu suprimento contínuo, estável e garantido (GOVERNO DE SÃO PAULO, 2007).

Em resumo, esta seção apresentou, num primeiro momento, a atual oferta brasileira de energia, que se mostra ainda bastante limpa, com cerca de 85% de utilização de fontes renováveis, graças à exploração dos potenciais hídricos pelas grandes UHE. Mas observa-se um indesejável aumento na utilização de fontes fósseis (14,5% entre 2006 a 2008), situação

que aparece também quando verificada particularmente a oferta elétrica (3,3% entre 2006 a 2008), situação que eleva o interesse na utilização das E-FER, de uma maneira geral, e que pode ser aproveitada pela GRU na busca da valorização econômica dos resíduos. Apesar das disparidades verificadas nas estimativas desse potencial, como consequência do uso de metodologias extremamente simplificadas, é possível a conclusão de que existe um significativo potencial energético passível de exploração, e que varia bastante, dependendo da metodologia utilizada: segundo MME (2008e), a incineração cerca de três vezes mais eficiente na geração elétrica que a DA, e cinco, em relação ao GDL de aterros.

Porém, como temos colocado ao longo deste estudo, a escolha da alternativa mais sustentável, mesmo sob o ponto de vista econômico, precisa considerar muitos outros fatores, especialmente a utilização da reciclagem e a relação custo *versus* benefício de cada tecnologia. A próxima seção procura trazer novos elementos à discussão, a partir de estudos publicados por diversos autores sobre o tema.

3.3 Estudos comparativos das alternativas de recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos e esgotos

Tanto sob a ótica do setor de resíduos como na do setor elétrico, o aproveitamento energético dos dejetos pode abrigar uma visão mais restrita, que considera apenas o aspecto financeiro, de maximização dos resultados de curto prazo, como uma perspectiva mais abrangente, que pondera a sustentabilidade econômica e socioambiental das rotas tecnológicas, onde também são computados os custos decorrentes das suas externalidades negativas ao longo do tempo.

A relevância do aproveitamento energético dos resíduos para a GRU, sob a perspectiva financeira, depende da sua capacidade de geração de receitas, frente aos custos decorrentes dos investimentos na instalação e operacionalização das unidades de valoração. Nessa mesma perspectiva, a decisão de investimento pelos gestores do mercado elétrico depende da eficiência na geração de eletricidade – preço e quantidade – frente às demais fontes energéticas. A perspectiva econômica complementa a financeira, examinando os impactos positivos e negativos globais do projeto sob a ótica da sociedade como um todo. Nela são avaliados e internalizados os custos e benefícios de outras dimensões, como a social e ambiental.

Visando aprofundar a análise das alternativas de destinação dos resíduos, e suas combinações, são apresentados a seguir os resultados de trabalhos científicos, apresentados nos últimos anos sobre o tema.

Miranda e Hale (1997) analisaram mais de trinta trabalhos buscando avaliar criticamente a utilização da tecnologia WtE na produção de energia e gestão de resíduos, comparativamente às plantas de combustíveis fósseis e aterros sanitários. Afirmaram ter conseguido quantidade razoável de boas informações sobre essas plantas com relação aos seus impactos na qualidade do ar e da água, mas não obtiveram elementos conclusivos em dois pontos: a aceitação da comunidade que vive no entorno das plantas e a preocupação pública com relação às emissões tóxicas. Na primeira, entendem que os residentes afetados diretamente pela planta podem sentir-se desproporcionalmente sobrecarregados pelas externalidades, principalmente se a planta receber resíduos de outras comunidades, pelas quais não sentem lealdade. Na outra, pode ocorrer a crença de que as estimativas quantitativas de risco são falhas, e os potenciais efeitos das emissões não sejam controlados suficientemente bem. Colocam que, aos decisores, seria sensato considerar estes aspectos para determinar se uma planta WtE é a resposta certa para as suas comunidades.

Como a energia pelos resíduos não vem conseguindo competir, em termos de preço, com a oriunda dos combustíveis fósseis, sua escolha ocorre mais com base nas necessidades da gestão de resíduos. A questão passa a ser se os benefícios resultantes da utilização dessa geração elétrica sobrepõem-se ao gasto extra na produção de energia para tornar a opção viável. Segundo os autores, a resposta vai depender de vários fatores: em geral, as plantas WtE podem representar uma alternativa razoável na ocorrência de algumas situações, como a escassez de locais para a construção de aterros, com o custo da terra muito alto e em áreas densamente povoadas; as externalidades dos aterros forem muito elevadas, pela emissão de metano e geração de poluição da água e do solo; as externalidades da produção a partir de combustíveis fósseis forem muito elevadas, principalmente pelo uso do carvão e óleo diesel; a geração à lixo detenha tecnologias que maximizem o aproveitamento energético⁹³ e tirem proveito de ganhos de escala; e os custos das suas externalidades sejam baixos, pelo aproveitamento das cinzas, e controle da poluição atmosférica.

Concluíram que, com a crescente oferta de resíduos e o aumento da procura por energia nos mercados por eles considerados: Alemanha, Suécia, Reino Unido e Estados Unidos, as comunidades deveriam avaliar as WtE no contexto das políticas sociais e

⁹³ Pelo desenvolvimento de mercado que aproveite o vapor e/ou água quente, além da eletricidade, e procedimentos pré-incineração aumentem o valor calórico dos resíduos.

econômicas locais, considerando os objetivos e metas da GRU, impactos ambientais, padrões de produção e consumo, e o perfil da produção energética local, são aspectos que influem na sustentação dessa tecnologia.

Brisson (1997, apud EIA, 2005) publicou em sua tese de doutorado uma análise de custos e benefícios sociais da GRU para países de representatividade média na UE, checando a conveniência da hierarquia estabelecida: (1) reciclagem (incluindo compostagem); (2) incineração; e (3) disposição em aterro. Sua estimativa dos custos privados e externalidades das diferentes opções de tratamento dos resíduos sugerem que a reciclagem é a melhor opção, num ponto de vista de custos e benefícios sociais. Porém a compostagem não seria melhor do que as outras opções da hierarquia, ao contrário, a incineração e até a disposição em aterro seriam alternativas melhores. Nesse estudo a preferência pela incineração, em relação ao aterro sanitário, não pôde ser confirmada com base em análise do tipo custo *versus* benefício.

Vollebergh (1997, apud EAI, 2005) calculou os custos sociais das usinas WtE na Holanda, separando os custos privados e as externalidades ligadas aos resíduos e à produção de energia. Utilizou a disposição em aterro como opção de oportunidade de destinação final para os resíduos, e o sistema holandês de geração energética a partir de combustíveis fósseis como alternativa energética. A conclusão foi de que tanto os custos privados como os ambientais da utilização de aterros tendem a ser bastante reduzidos. E os custos para a função de eletricidade da WtE bastante elevados. Seus cálculos mostraram que a preferência do governo holandês pela incineração de resíduos aumentou o custo social do tratamento dos resíduos e da produção de eletricidade, de modo que o governo estaria indiretamente subsidiando as plantas WtE através da política de gestão de resíduos, sendo uma parte do custo dessa política pago pelos consumidores de eletricidade, e a outra pelos fornecedores de resíduos, como as famílias e empresas, também através de tarifas mais elevadas.

Döberl et al. (2002, apud EAI, 2005) avaliaram diferentes cenários para a GRU na Áustria, incluindo a destinação para o lodo de esgotos, também numa análise do tipo custo-benefício. Os autores incluíram grande número de variáveis, em nove alternativas de tratamento para os resíduos. Focaram os efeitos de longuíssimo prazo, considerando as emissões nos próximos 10.000 anos. Encontraram a incineração como melhor opção, seguida pelo tratamento mecânico-biológico. A disposição em aterro foi classificada como a pior opção. O desempenho da incineração foi melhor que o tratamento mecânico-biológico pelo fato das cinzas da incineração apresentar menores emissões na fase de aterro.

Tolmasquim et al. (2003) realizaram estudo de viabilidade financeira comparando quatro das rotas tecnológicas de geração elétrica pelos resíduos, a celulignina, oriunda da

tecnologia BEM; a DA, pela tecnologia DRANCO; o GDL, obtido de aterros sanitários; e a recuperação direta pela incineração. A metodologia utilizada pelos autores calcula o Índice Custo-Benefício (ICB) anualizado, dado em (\$/MWh), composto pelo somatório de quatro custos: o investimento na construção da usina, o gasto com operação e manutenção (COM), os custos com a transmissão da energia elétrica, e o custo de combustível (CC) da usina.

As especificações para cada tecnologia estão apresentadas na Tabela 18, onde o custo de combustível (CC) foi considerado zero para o GDL, pois já teria sido pago quando da disposição dos RSU nos aterros, e negativo nas outras rotas, por evitarem parcialmente o gasto com o aterramento. As receitas/despesas dos subprodutos gerados pelas rotas tecnológicas – furfural, adubo orgânico, e cinzas – foram desconsiderados.

Tabela 18 – Dados comparativos entre rotas de geração elétrica pelos resíduos

Características	BEM	DA	GDL	Incineração
Toneladas/dia	1.250	200	300	500
MW	25	3	3	16
Investimento (US\$/MW)	840	1.500	1.000	1.563
Vida Útil (anos)	30	30	15	30
Prazo de instalação (meses)	18	9	12	18
CC (US\$/MWh)	- 1.30	- 10.66	0	- 8.18
COM	5.99	10.70	7.13	7.67
Custo de transmissão	0	0	0	0

Fonte: Tolmasquim et al., 2003, p. 116

Nota: O custo de transmissão foi desconsiderado em função da proximidade da geração por resíduos com os grandes centros consumidores de energia elétrica.

Aplicando a metodologia e dos dados relativos às quatro rotas tecnológicas, os autores obtiveram o ICB⁹⁴ de cada alternativa, considerando uma taxa de desconto de 20% a.a., sem impostos, o melhor resultado foi apresentado pela BEM, de 29.09 US\$/MWh, seguido da incineração, de 43.61 US\$/MWh, DRANCO, de 45.70 US\$/MWh, e GDL, de 46.34 US\$/MWh. Concluíram que as três tecnologias em uso até aquele ano (2003) apresentavam ICB equivalente a da geração a partir de gás natural em tecnologia de ciclo combinado, estimada em US\$ 43.32/MWh.

A partir da estimativa das emissões de GEE pelos resíduos em LDRS sem aterro e queima, de 1,3 tCO₂e por tonelada de RSU, obtiveram as reduções de emissões apresentadas na Tabela 19, e que servem de base para o cálculo de reduções de emissões passíveis de certificação pelo MDL.

⁹⁴ Por se tratar de um somatório de custos, quanto menor o ICB, melhor.

Tabela 19 – Emissões evitadas pelas rotas de geração elétrica pelos resíduos

	BEM	DA	GDL	Incineração
t/MWh	2,1	2,8	4,2	1,3
Emissão evitada pelo consumo do lixo (tCO ₂ e/MWh)	0,55 ^(*)	3,61	5,41	1,50
Emissão evitada pela substituição do gás natural (tCO ₂ e/MWh)	0,449	0,449	0,449	0,449
Emissão evitada total (tCO ₂ e/MWh)	1,0	4,06	5,87	1,95

Fonte: Tolmasquim et al., 2003, p. 119

Nota: (*)Apenas 20% da matéria-prima é transformada em celulignina.

Segundo os autores, a metodologia ICB é sensível a fatores como risco cambial, que poderá incidir de forma variada nas metodologias comparadas em função dos seus índices de nacionalização; a redução do preço dos equipamentos pelos ganhos de escala; e, à exceção da rota GDL, as demais se beneficiam da tendência de aumento no preço da disposição em LDRS, decorrente do aumento de distância e do preço da terra utilizada para os aterros sanitários.

Como cerca de 50% dos gases do aterro acabam escapando do sistema de coleta e indo para a atmosfera, do ponto de vista ambiental a DA resulta como melhor alternativa, pois sua tecnologia impede a fuga do metano relativa a todo o volume de resíduos tratados.

Rasmussen & Reimann (2004, apud EAI, 2005) analisaram se os acréscimos na geração de RSU deveriam ser acomodados pelo aumento na capacidade das WtE ou pela utilização dos resíduos em substituição aos combustíveis fósseis em usinas termelétricas convencionais. A conclusão foi pela segunda hipótese, que dispensa investimentos nas WtE.

Murphy e Mckeogh (2004) compararam o aproveitamento energético pela incineração e gaseificação produzindo apenas eletricidade, e estas tecnologias produzindo valoração também pelo calor. Além da geração de biogás para eletricidade e como combustível de transporte. Aplicaram uma abordagem integrada da GRU, onde os componentes recicláveis dos RSU são previamente removidos e a fração orgânica é digerida, de modo que somente os resíduos dos processos são incinerados.

Embora a composição dos RSU seja variável, e considerando apenas a incineração dos componentes residuais dos RSU (não-recicláveis e não-orgânicos), consideraram uma eficiência média na geração elétrica por esta tecnologia como de 20%, e uma eficiência térmica de 50%. Os autores ponderaram que para a Irlanda esta não é uma situação interessante, pois naquele país o aproveitamento térmico não é regra⁹⁵. Concluíram que, para um melhor desempenho financeiro no uso das tecnologias termoquímicas, e redução nas suas

⁹⁵ Provável situação brasileira, caso adotasse a incineração longe de polos industriais.

contabilidades de emissões de GEE, seria importante a criação de usos para a energia térmica gerada. Se o aproveitamento térmico não for valorizado, a gaseificação tende a ser mais interessante, pois apresenta eficiência de cerca de 34% para a eletricidade e 30% para o calor. A gaseificação também demandaria menor investimento inicial e menor geração de GEE, se apresentasse planta com escala comercial em funcionamento.

Para a análise relativa à produção de biogás, os autores consideraram os preços e o desempenho da tecnologia DRANCO de digestão anaeróbia. A DA apresenta grande redução na geração de GEE, dada a baixa eficiência da captação de biogás apresentada pelos aterros sanitários. A tecnologia permite a geração de 140 kWh de eletricidade ou 270 kWh de calor, para cada tonelada de lixo orgânico utilizada. Pelos valores de 2003, uma planta grande, com capacidade de processamento em torno de 270 t/dia de resíduos orgânicos, custava cerca de € 20 milhões, com um custo operacional bastante baixo, de € 15 por tonelada. Comparando os investimentos e as capacidades de geração elétrica das tecnologias, os autores concluíram que até o preço de € 0.09 por kWh de energia elétrica o biogás representa a melhor alternativa. A partir desse patamar o preço da energia elétrica se tornaria tão interessante, que melhor seria utilizar até a fração orgânica do lixo para a incineração ou gaseificação. Aos preços usuais do mercado elétrico, ponderam que essas alternativas não devem ser vistas de forma excludente, pois a DA aproveita a fração orgânica e os processos termoquímicos preferencialmente a fração inorgânica dos RSU.

A terceira via trabalhada pelos autores, da utilização do biogás para transporte, requer algumas adaptações na planta, para purificação e enriquecimento do combustível. A adição de um purificador removerá o sulfeto de hidrogênio (H_2S) e a umidade, além de reduzir o dióxido de carbono (CO_2), deixando o gás com uma proporção de 95 a 98% de metano (CH_4). Pelo cálculo dos autores, com um custo de €11/t de RSU, considerando uma fração orgânica de 39%, poderiam ser mantidos cerca de 5 mil veículos utilizados na coleta e transporte de RSU. O estudo permitiu concluir que as rotas que utilizam biogás necessitam de menor investimento de capital, comparativamente à incineração e gaseificação, não geram emissões prejudiciais à saúde, e apresentam uma maior eficiência no combate aos gases do aquecimento global, porém apresentam uma menor capacidade de geração energética.

Dijkgraaf e Vollebergh (2004, apud EAI, 2005) realizaram análise semelhante à de Vollebergh (1997), sobre custos e benefícios comparativos entre a disposição em aterro e a incineração, na Holanda. Os dados obtidos forneceram suporte para a preferência política pela incineração, somente se a análise for restrita aos custos ambientais, e incluir os ganhos na recuperação de materiais e geração de energia. Os custos internos, no entanto, são muito mais

elevados para a incineração. A disposição em aterro é a opção que minimiza o custo social, mesmo em um país densamente povoado como a Holanda. Consideraram que os resultados podem ser generalizados para outros países europeus e, provavelmente, para os EUA. Concluíram que a disposição final adequada e o aproveitamento energético dos aterros parecem ser a alternativa mais adequada para as políticas de resíduos. E que as WtE são uma forma muito cara de evitar as emissões de GEE. Também, que o custo social líquido da incineração ultrapassa em muito o do aterro, pois os custos financeiros da incineração são mais elevados em comparação com aterro sanitário, enquanto que os custos ambientais são aproximadamente equivalentes para os dois métodos. Assim, o resultado global indicou que o aterro pode ser uma opção melhor do que a incineração.

Muitos dos estudos de custo-benefício sociais compilados por EAI (2005) levantaram dúvidas sobre a hierarquia dos resíduos defendida no âmbito da UE, pois concluíram que as usinas WtE reduzem os custos sociais somente nas situações em que já ocorre a incineração de resíduos sem recuperação de energia, ou se existe infra-estrutura para o aproveitamento do calor. De modo que torna-se questionável se a redução dos impactos ambientais a partir da hierarquia atual é grande o suficiente para compensar os maiores custos privados.

Os resíduos são heterogêneos e as circunstâncias locais diferem substancialmente (a exemplo das variações no meio ambiente local ou no sistema de energia existente), de modo que uma solução adequada para todas as situações é bastante improvável de ocorrer. Muito mais deve ser feito em termos de análises do tipo custo-benefício para a avaliação das políticas de resíduos (EAI, 2005).

Hauser (2006) realizou análises de ordem financeira e econômica para a utilização da tecnologia Usinaverde de incineração, visando verificar a oportunidade de criação de valor para os empreendedores e a sua contribuição para a solução dos problemas da GRU no Brasil, além do auxílio à proteção do clima. Para a análise financeira utilizou o método do fluxo de caixa descontado⁹⁶ (FCD), em três cenários: pior, médio e melhor. Considerou de R\$ 30, 40 e 50 a receita por tonelada de RSU recebido das prefeituras municipais; de R\$ 110, 125 e 170 os créditos por MWh de energia elétrica exportado à rede; de R\$ 10, 16 e 22 a receita por CER comercializado; e de 0,6, 0,8 e 1,0 o fator de mitigação⁹⁷(FM), em tCO₂e/t RSU incinerado. Nas três hipóteses, para um módulo comercial da Usinaverde, com a capacidade

⁹⁶ Os fluxos de caixa futuros são trazidos para o tempo do momento do primeiro investimento, quando são somados para obter o valor presente líquido (VPL) do investimento (HAUSER, 2006).

⁹⁷ Os fatores de mitigação quantificam a redução de tCO₂e por t de RSU incinerada.

de recepção de cerca de 150 t/d de RSU, e capacidade de combustão aproximada de 100t/d⁹⁸, obteve taxas internas de retorno inferiores à mínima esperada, de 12% a.a.. As taxas internas de retorno (TIR) foram de -0,26%, 5,45% e 11,39%, respectivamente. Concluiu que a viabilidade financeira deste projeto depende de preços adequados para a eletricidade e RSU, necessitando ainda da venda de CER, com os riscos associados ao projeto MDL.

Já a análise econômica do autor obteve melhores resultados. Comparou os aspectos sociais do projeto Usinaverde com os advindos de aterros não gerenciados (ANG), aplicando uma metodologia do tipo dose-resposta⁹⁹ para a estimativa das externalidades decorrentes da incineração dos resíduos também em três cenários: zona rural, cidades médias e grandes concentrações populacionais. Implementando então a avaliação econômica, com a utilização de metodologia ACB¹⁰⁰, obtendo TIR de 15,55%, 13,45% e 9,04% respectivamente, resultados superiores as taxas mínimas de desconto social esperadas, entre 2% e 6%. O autor concluiu que a tecnologia Usinaverde de incineração é uma solução interessante, pois resolve os problemas urgentes dos ANG ao tempo em que aumenta o bem-estar da sociedade.

MME (2008d) apresentou estudo comparando as alternativas para o aproveitamento energético dos RSU de Campo Grande (MS). Os dados coletados indicaram uma produção em torno de 500 t/dia de RSU, equivalente a 0,709 kg/dia de resíduo por habitante. A análise gravimétrica do RSU coletado apresentou 62,6% de materiais não recicláveis, 35,8% de materiais recicláveis, e 1,6% de inertes.

Com relação ao aproveitamento energético dos resíduos de Campo Grande, o estudo concluiu pela inviabilidade da exploração do GDL do aterro existente, pelo reduzido tempo ainda restante de aproveitamento dos gases (entre 5 e 6 anos) e o fato de incêndios terem reduzido o poder calorífico do aterro. Para o novo aterro, estimou uma capacidade de geração de 1,39 MW_{med}, com o aproveitamento de 64,9 kWh/t. Neste caso o papel não deve ser retirado para reciclagem, sob pena da produção de GDL reduzir drasticamente. A coleta seletiva dos demais recicláveis possibilitaria economia de energia de até 24,4 MW_{med}. O tempo previsto de aproveitamento econômico do GDL do aterro é de 18 anos.

Se os RSU forem utilizados para DA, considerando uma produção média de 120 m³ por tonelada de matéria orgânica e rendimento da transformação da energia térmica em elétrica de 35%, os resultados esperados são de uma geração de 2,99 MW_{med}, com o

⁹⁸ A diferença de peso entre a recepção e a combustão se deve ao fato da reciclagem e secagem dos materiais ocorrerem antes da combustão.

⁹⁹ Citada no Quadro 2, a montagem da metodologia de dose-resposta permite visualizar a origem de um poluente, seu caminho subsequente e a geração de impacto nos receptores afetados.

¹⁰⁰ Descrita na seção 1.2.

aproveitamento de 139,9 kWh/t. Neste caso a destinação à reciclagem pode ser completa, com ganho energético de até 28,3 MW_{med} (24,4 mais 3,9 MW_{med} da reciclagem do papel).

Na hipótese do aproveitamento ocorrer pela via da incineração, o estudo estimou o poder calorífico dos RSU locais em 2350 kcal/kg e um índice de umidade de 60%, parâmetros que permitem a queima sem a necessidade de combustível auxiliar. Os volumes disponíveis de resíduos permitem a geração de 11,4 MW_{med}, com o aproveitamento de 546,2 kWh/t. A redução dos resíduos no aterro seria da ordem de 90% do peso e 75% em volume, prolongando a sua vida útil para mais de 100 anos. A reciclagem, neste caso, ficaria restrita aos inertes: vidros e metais, gerando ganho energético de apenas 1,2 MW_{med}. Segundo a Nota Técnica, nenhuma das três alternativas deve ser descartada sem uma avaliação detalhada dos aspectos econômicos e ambientais envolvidos.

Hong et al. (2009) utilizaram a metodologia ACV para estimar os impactos ambientais e econômicos das seis rotas alternativas mais utilizadas no Japão para o tratamento do lodo de esgoto: desidratação (D), compostagem (DC), secagem (DS), incineração (DI), fusão (DF), e fusão das cinzas da incineração (DIF), cada uma com ou sem digestão. Três tratamentos de destinação final também foram estudados: aterro, aplicação agrícola e uso como material de construção. Entre as conclusões do estudo está a constatação de ganhos econômicos e ambientais com a execução da digestão do lodo. O cenário D teve o maior impacto negativo na aplicação agrícola e custo. O Cenário DS apresentou o maior impacto com relação à emissão de GEE e gases SO_x e NO_x (acidificação). O cenário DIF teve o maior impacto na toxicidade humana. Por outro lado, os cenários D, DC e DI geraram o menor impacto com relação à toxicidade, uso agrícola, e acidificação, respectivamente. O cenário DIF teve o menor impacto em termos de GEE e custo.

Concluíram também que aterros e processos de digestão, secagem e incineração têm elevada contribuição para o aumento dos GEE. A aplicação agrícola, compostagem e processos de secagem têm uma elevada contribuição para a acidificação. Enquanto que a aplicação agrícola, incineração e fusão apresentam as maiores contribuições para a toxicidade humana. Os custos de ciclo de vida são menores nos cenários de incineração e fusão, devido à recuperação do calor e eletricidade.

Numa visão geral, a ordenação dos resultados para o impacto econômico apresentou a seguinte seqüência: D > DS > DC > DF > DI ≈ DIF. E o impacto ambiental: D ≈ DI ≈ DIF > DC > DS > DF. Revelaram que o cenário DI (DIF) são os melhores métodos do ponto de vista econômico e DF, do ponto de vista ambiental. Os impactos ambientais dos cenários D, DI e DIF são significativamente maiores que os do cenário DF, enquanto o custo do ciclo de vida

do cenário DIF é ligeiramente menor que a do cenário DF. Assim, cenário DF é um ótimo método, tanto do ponto de vista ambiental como econômico. Porém, segundo os autores, para que ocorra uma situação vantajosa em ambas as dimensões, deve ser observada a eficiência do processo de floculação e a eficiência na produção energética pelo biogás, assim como o aproveitamento econômico do calor. Sugerem que o Japão aumente as restrições às emissões de metais pesados das plantas de fusão.

Por fim, Sato (2009) realizou estudo de viabilidade para um futuro aterro sanitário em Itajubá, estado de Minas Gerais, concluindo pela viabilidade do aproveitamento elétrico associado com projeto MDL a partir de € 17,57 por tCO₂e, para um tamanho proporcional a uma população de 102 mil habitantes, e disposição diária mínima de 83,55 toneladas/dia de resíduos.

O Quadro 20 relaciona as principais conclusões dos autores citados nesta seção, onde, apesar de cada estudo apresentar metodologia própria, e da variedade das possibilidades de alternativas de recuperação energética, além da diversidade nos locais-objeto dos estudos, cada qual trazendo suas peculiaridades nas características dos RSU e esgotos, o conjunto permite complementar ou reforçar aspectos deste estudo, quanto às alternativas e variáveis a serem consideradas para a tomada de decisões no âmbito da GRU.

As preocupações de Miranda e Hale (1997) quanto à aceitação das WtE pelas comunidades do seu entorno, e em relação às emissões tóxicas, se mantêm atuais, especialmente nos países em desenvolvimento, cujo controle do cumprimento da legislação tende a não ser tão rigoroso como nos países desenvolvidos. Nesses dois aspectos, parece acertada a idéia em andamento no estado de São Paulo, da instalação das ULE junto aos pólos petroquímicos, pois estes estão posicionados longe o suficiente das concentrações populacionais, a ponto de não incomodá-las, mas próximos o suficiente para não agravar as externalidades de transporte dos RSU; apresentam grande demanda de energia elétrica, de modo que toda a geração elétrica pode ser aproveitada no local, dispensando o ônus de ligação às linhas de transmissão; e permitirá o aproveitamento econômico do calor resultante da incineração como insumo para a indústria petroquímica, maximizando a eficiência do processo. Também o rol de situações citadas pelos autores permanece atual, e podem ser consideradas no planejamento da GRU.

As conclusões de Dijkgraaf e Vollebergh (2004) perdem solidez quando confrontadas com as de Döberl et al., num enfoque de longuíssimo prazo, pois é difícil imaginar 10 mil anos de uso preferencial de aterros sanitários em um país do tamanho e densidade populacional da Holanda.

Estudo	Comparações	Conclusões
Miranda e Hale (1997)	WtE x Aterro e UTE	<ul style="list-style-type: none"> • Bons resultados quanto à poluição do ar pelas WtE • Preocupação quanto ao preço da energia das WtE • Decisão deve envolver atores sociais em contexto local • Aceitável o uso das WtE sob certas situações de mercado
Brisson (1997)	Reciclagem e compostagem x WtE x Aterro	<ul style="list-style-type: none"> • Hierarquia de preferência: 1º Reciclagem, 2º Aterro, 3º Incineração, e 4º Compostagem
Vollebergh (1997)	WtE x Aterro x UTE	<ul style="list-style-type: none"> • 1º Aterro e 2º WtE • Enfoque de custos
Döberl et al. (2002)	Diversas, incluindo esgotos	<ul style="list-style-type: none"> • Enfoque de longuíssimo prazo • 1º WtE, 2º DA, 3º Aterro
Tolmasquim et al., 2003	BEM x DA x Aterro x WtE	<ul style="list-style-type: none"> • Pelo índice de custo-benefício: 1º BEM, 2º WtE, 3º DA e 4º Aterro
Rasmussen & Reimann (2004)	WtE x UTE	<ul style="list-style-type: none"> • 1º UTE, 2º WtE
Murphy e Mckeogh (2004)	Separação: - reciclagem; - WtE x Gaseificação (restos inorgânicos); - DA (orgânicos)	<ul style="list-style-type: none"> • Análise contemplou WtE e Gaseificação com e sem aproveitamento do calor, DA para transporte e eletricidade, tudo após processo de reciclagem • 1º gaseificação e 2º incineração • DA – não deve ser vista de forma excludente. Menor investimento e menores GEE, porém de menor rendimento na geração elétrica. Preferível para a fração orgânica se o custo da energia elétrica estiver abaixo de € 0,09 o kWh
Dijkgraaf e Vollebergh (2004)	WtE x Aterro	<ul style="list-style-type: none"> • Estudo semelhante ao de Vollebergh (1997 apud EAI, 2005), obtendo os mesmos resultados: 1º Aterro e 2º WtE
Hauser (2006)	Usinaverde x ANG	<ul style="list-style-type: none"> • Pela análise financeira que a viabilidade da Usinaverde depende do preço da energia elétrica e das receitas MDL • Pela análise econômica obteve taxas de retorno satisfatórias
MME (2008d)	WtE x DA x Aterro em Campo Grande (MS)	<ul style="list-style-type: none"> • Na DA a reciclagem seria plena; no Aterro os papeis não seriam reciclados; na incineração seriam reciclados apenas vidros e metais • Conclusão: nenhuma das três alternativas deve ser descartada sem uma avaliação mais detalhada dos aspectos econômicos e ambientais envolvidos
Hong et al. (2009)	Seis rotas, cada uma com e sem digestão, e incluindo esgotos	<ul style="list-style-type: none"> • Sendo: desidratação (D), compostagem (DC), secagem (DS), incineração (DI), fusão (DF), e fusão das cinzas da incineração (DIF) • Impacto econômico: $D > DS > DC > DF > DI \approx DIF$ • Impacto ambiental: $D \approx DI \approx DIF > DC > DS > DF$
Sato (2009)	Aterro em Itajubá (MG)	<ul style="list-style-type: none"> • viabilidade do aproveitamento elétrico associado com projeto MDL a partir de € 17,57 por tCO₂e, para um tamanho proporcional a uma população de 102 mil habitantes e disposição diária mínima de 83,55 toneladas/dia de resíduos.

Quadro 20 – Estudos comparativos de rotas para a destinação dos RSU e esgotos

Fonte: Quadro-resumo de diversos estudos. Elaboração do autor.

A metodologia adotada por MME (2008d) na análise dos resíduos de Campo Grande (MS) pode ser adotada como referência para estudos semelhantes à nível nacional, porém poderia ser ampliada, de forma a considerar as alternativas de incineração e GDL de aterros sem o aproveitamento dos recicláveis, direcionando-os integralmente à reciclagem, pois, conforme apresentado na seção 2.3, tende a ser preferível do ponto de vista energético, ambiental e social. Foi o que fizeram Murphy e Mckeogh (2004), que demonstraram uma percepção afinada com os conceitos de sustentabilidade quando priorizaram a reciclagem, e dividiram a geração energética das parcelas restantes para duas vias distintas: a fração inorgânica para a incineração ou gaseificação; e a fração orgânica para a DA, com o biogás sendo avaliado na utilização para a geração elétrica, de calor, ou como combustível de transporte. Reforçaram também a importância dos subprodutos da incineração para a sustentabilidade financeira dos projetos.

Dentre as contribuições apresentadas por Tolmasquim et al. (2003) está a apresentação da metodologia para determinação do ICB, de aplicação prática pela GRU, que também pode se utilizar de Hauser (2006) para a análise financeira e econômica, com destaque a esta última, pelo exemplo de aplicação de uma metodologia de valoração para externalidades associadas aos resíduos, pouco comum na literatura brasileira, e de grande aplicação prática. Se mostra oportuna a proposta de Tolmasquim et al. (2003), para a construção, operação e avaliação de plantas piloto em escala real para a realização de simulações e estudos de viabilidade econômica; o estudo das diversas opções de utilização dos equipamentos de abate das emissões para a definição das melhores conformações dos sistemas de fabricação nacional; além do aproveitamento dos subprodutos resultantes das tecnologias (adubo orgânico na DA, cinzas na incineração e furfural na BEM) de modo a evitar custos e, se possível, gerar receitas de comercialização

A realidade apresentada por Hong et al., de pleno aproveitamento da energia dos esgotos no Japão, inclusive com tecnologias cuja perspectiva de adoção no Brasil ainda é distante, tem a virtude de despertar a percepção de que os esgotos também podem ser percebidos como fonte energética, a exemplo dos RSU, e mostrar um caminho para a evolução, pouco percorrido inclusive por países desenvolvidos. No outro extremo, o estudo de caso apresentado por Sato (2009) se apresenta bastante compatível com a realidade financeira de cidades menor porte, situadas nos países em desenvolvimentos, onde a concentração populacional não é acentuada, que tendem a adotar o aterramento sanitário como destinação preferível, face ao menor custo de instalação, com os benefícios resultantes do aproveitamento do biogás, e dos créditos de carbono associados.

Concluído o estudo das alternativas de valorização dos resíduos via mercado MDL e para a geração elétrica no Brasil, além da verificação de trabalhos científicos que contemplam análises comparativas das diversas rotas tecnológicas disponíveis, abre-se a possibilidade da reflexão sobre o conjunto do estudo, apresentada a seguir.

CONCLUSÕES

Fatores como o crescimento e a concentração demográfica, conjugados com aumentos na *per capita* provocados por modelos de crescimento econômico a qualquer custo, de incentivo a um consumo de descartes e sem preocupação com o meio ambiente, alavancaram a geração de resíduos antrópicos, gerando um problema que desafia a todos na busca de soluções que possam ser consideradas adequadas tanto do ponto de vista ambiental, como socialmente justas e auto-sustentáveis sob o ponto de vista financeiro.

Se, por um lado, a destinação inadequada dos resíduos sólidos e esgotos representa uma ameaça, pois provoca uma série de externalidades negativas, como doenças, poluição das águas e do solo, e emissão de gases que agravam o aquecimento global. Por outro, trazem oportunidades, pois podem gerar riqueza, através do seu aproveitamento direto, pelo reuso, ou indireto, pela reciclagem dos componentes inorgânicos, como plásticos, papéis, metais, e vidros, entre outros, e pela compostagem da parcela orgânica, transformando-a em fertilizante agrícola. Além dessas possibilidades, possuem potencial para geração de energia, na forma de eletricidade, calor, frio, ou combustível para transporte. Atuando como fonte de energia elétrica renovável, podem atuar na amenização de outro problema, a necessidade de geração elétrica em quantidade que satisfaça o crescimento econômico dos países de modo a torná-los menos dependentes das fontes fósseis, também causadoras de doenças, poluição ambiental (agora atmosférica), e efeito estufa.

Concebido a partir desse contexto, o objetivo geral desta pesquisa foi levantar e comparar as possibilidades de receitas e redução de custos, visando o equilíbrio da GRU como atividade econômica, conjugada com a preservação ambiental e geração de benefícios sociais.

O primeiro objetivo específico estabelecido foi contextualizar a gestão de resíduos brasileira e levantar os malefícios decorrentes dos tratamentos incorretos despendidos ao lixo e esgoto urbanos, bem como os riscos das ULE comparativamente às UTE. Para tanto, a abordagem partiu da constatação de que os princípios atuais da GRU decorrem da busca de superação do conflito estabelecido a partir da revolução industrial, entre a necessidade de preservação dos recursos ambientais, cada vez mais aviltados pela forma do crescimento econômico estabelecido, resgatando essa discussão, inclusive quanto às ferramentas para a busca de um equilíbrio sustentável são os instrumentos de política ambiental: C&C, econômicos e de comunicação. A seguir, a pesquisa abordou os principais conceitos relativos

a GRU, a situação atual dos RSU e esgotos brasileiros, as barreiras que inibem a sua melhoria, e os malefícios decorrentes da destinação inadequada. Como a recuperação energética pela incineração é uma das principais alternativas de valorização econômica, coube a verificação das visões correntes atuais sobre as suas emissões, e um comparativo com as UTE, para a avaliação das vantagens da sua utilização como fonte alternativa. Por fim, foi levantada a situação atual da legislação brasileira sobre o tema.

A revisão bibliográfica relativa à GRU permitiu a diferenciação do conceito de resíduos sólidos pela abordagem da Lei 11.445 e aquele constante da NBR 10.004. A GRU foi apresentada como um sistema aberto, onde os *stakeholders* interagem nas suas diversas etapas pelos vários aspectos: técnicos, ambientais, econômicos, etc., de forma interligada a outros sistemas urbanos, em amplitudes que vão da local à internacional, de forma dinâmica. Abrangeu aspectos relativos à hierarquização das alternativas de destinação, princípios balizadores e metodologias utilizadas para a tomada de decisões nesse segmento econômico.

A verificação da situação atual mostrou que o Brasil está distante das melhores práticas de aproveitamento econômico, tanto pela reciclagem, compostagem, geração energética, como na destinação final, tanto com relação aos RSU quanto aos esgotos. Enquanto países como Holanda, Suíça e Dinamarca aproveitam as potencialidades dos resíduos, conforme foi apresentado na Tabela 3, no Brasil os melhores resultados vem da reciclagem, que possui ainda amplo espaço de crescimento, haja vista que municípios grandes como São Paulo reciclam apenas pequena parte da fração inorgânica do seu lixo. Quase a metade dos municípios brasileiros ainda se utiliza de lixões e aterros precários para descarte dos RSU, e em 2000 apenas 20% possuíam algum sistema de tratamento dos esgotos.

O fato do Brasil ser um país em desenvolvimento poderia levar à suposição de que as principais barreiras para a mudança nesse quadro fossem restrições de ordem financeira. Embora importantes, uma observação mais acurada mostra que outras causas estão mais à origem do problema, como fatores de ordem cultural, política, de qualificação técnica, e até de natureza moral, apresentados nas seções 1.3 e 1.4.

O exame dos principais malefícios decorrentes da destinação inadequada do lixo e esgoto mostrou que podem ser agrupados em: danos à saúde, pelas doenças transmitidas por vetores e absorção de substâncias nocivas; ao ambiente, pela poluição do solo e das águas, superficiais e subterrâneas; e climáticos, pela contribuição para o aquecimento global.

Embora apresentando resultados díspares, as diversas referências estudadas – Porteous (2001), Bonomo (2003), Tolmasquim et al.(2003), Murphy e Mckeogh (2004), e AIDIS (2006) – concluíram por reduções na emissão de GEE pela geração energética por incineração

em relação à decomposição dos RSU a céu aberto e equivalente utilização de fontes fósseis. Com relação à poluição atmosférica, observou-se que estão difundidas tecnologias de incineração que atendem inclusive à severa legislação européia. A Tabela 9 evidenciou que os limites brasileiros de emissões, contidos na resolução CONAMA 316/2002, são bastante tolerantes se comparados com os parâmetros europeus.

A exposição da legislação brasileira relativa ao tema mostrou que o País possui um bom arcabouço jurídico, principalmente pelas leis 11.079, que instituiu as PPP, e 11.107, que disciplinou a formação de consórcios públicos, e que servem como importantes instrumentos de gestão pública, cujo uso consta da Lei 11.445, que regulamenta o saneamento básico. Falta uma política nacional para os resíduos sólidos, que a anos tramita no Congresso Nacional, demonstrando o desinteresse da classe política sobre o tema.

O segundo objetivo específico estabelecido foi levantar as possibilidades de redução de custos e geração de receitas nas diversas etapas da GRU: minimização; coleta e transporte; reuso, reciclagem e compostagem; recuperação energética dos esgotos e RSU; e destinação final. Nesse levantamento foram verificados os instrumentos de políticas associados a cada etapa, com exemplos de implementação, além da descrição das alternativas tecnológicas disponíveis.

Pela sua importância estratégica, as ações de minimização, que compreendem a prevenção e redução na geração dos resíduos, deveriam ser mais utilizadas. Os instrumentos podem ser: a tributação e a restrição legal sobre a disposição em aterros, a cobrança direta pela geração dos resíduos, os impostos sobre produtos que utilizam materiais danosos ao meio ambiente, e as campanhas educativas, entre outros.

Nas etapas de coleta e transporte, a busca passa a ser a racionalização das operações para a redução de custos, a exemplo da estação de transbordo instalada em Belo Horizonte (MG).

A verificação das alternativas mostrou que o estímulo ao reuso pode vir do estabelecimento de sistemas depósito-retorno ou da cobrança pelos itens descartáveis, como sacolas plásticas.

São muitos os argumentos para a utilização da reciclagem, como o aumento na vida útil dos aterros; economia de matérias-primas virgens; economia no consumo de energia, pois aproveitar o material reciclado economiza mais energia do que a que seria obtida pelo seu aproveitamento para a geração energética; permite a geração de emprego e renda nas camadas mais necessitadas da população; além de reduzir a poluição gerada nos processos produtivos (GRIPPI, 2006). Os entraves à sua maior utilização foram a falta de planejamento das

prefeituras (GOVERNO DO RIO GRANDE DO SUL, 2006); além do custo da coleta seletiva, cerca de cinco vezes maior que o da coleta comum (CEMPRE, 2008); e a existência, distância e preço do mercado comprador dos recicláveis. Para seu estímulo foram encontradas práticas com a utilização de instrumentos tributários, criação de créditos para a atividade, divulgação de iniciativas empresariais, criação de legislações estaduais e municipais, logística e manufatura reversa, além da formação de bolsas de resíduos.

O estudo da alternativa representada pela compostagem mostrou vantagens como a redução do material orgânico para disposição em aterros, aumentando a sua vida útil, além da principal, o aproveitamento como fertilizante. Segundo Narayana (2009), trata-se da melhor alternativa para os países em desenvolvimento. Mas a justificativa para a sua baixa utilização tem sido a dificuldade em gerar lucro (HAZRA; GOEL, 2009).

A busca de receitas pelo aproveitamento dos esgotos mostrou que o seu processo de tratamento resulta em três subprodutos aproveitáveis energeticamente: a espuma, que pode servir como insumo para a produção de biodiesel; o biogás, obtido no processo de digestão anaeróbia do esgoto, que, além da utilização para consumo da própria ETE, pode ter as sobras exportadas para utilização em outros processos industriais, servir como combustível de transporte, ou ainda como auxiliar em processos termoquímicos de geração energética; e as lamas de depuração, passíveis de utilização como fertilizante agrícola; para melhoria no desempenho dos aterros sanitários; ou para geração energética, de forma isolada ou combinada com os RSU, em processos termoquímicos. A integração da valorização dos dois tipos de resíduos – RSU e esgotos – resultaria em “ecopolos” energéticos, com ganhos de eficiência em relação a recuperação energética isolada de um e outro, conforme demonstrado na seção 2.4.

A geração de energia pelos RSU pode ser obtida pelas vias físico-química, bioquímica e termoquímica, sendo que as principais tecnologias que apresentam escala comercial são a DA, obtida pela utilização de biodigestores; a recuperação do GDL de aterros sanitários, e a combustão direta pela incineração. A fusão/vitrificação e a gaseificação por plasma são usadas em menor escala, principalmente no Japão. A gaseificação, pirólise e tecnologia BEM aparecem como tecnologias promissoras, mas ainda sem escala comercial. A pesquisa levantou que os instrumentos mais utilizados para o estímulo dessas fontes alternativas de energia são os subsídios financeiros para o investimento, os incentivos fiscais, a disponibilização de preços diferenciados de aquisição (FIT), a realização de leilões especiais para compra da energia (*tender system*), além dos sistemas de cotas com certificados verdes, que podem ser voluntários.

Com relação ao conflito de opiniões quanto ao acionamento de ULE, temos, por um lado, que os cidadãos de países desenvolvidos possuem elementos concretos para confiar nos baixos riscos das emissões dessas usinas, pois suas legislações são bastante severas quanto aos limites das emissões, as tecnologias utilizadas são eficientes na filtragem dos gases, e seus órgãos fiscalizadores são atuantes. Mesmo assim, Miranda e Hale (1997) captaram o desconforto da população de entorno, com a presença dessas instalações. Por outro lado, a preocupação parece pertinente no tocante a países em desenvolvimento, onde, além da legislação ser mais permissiva, como demonstrado na Tabela 9, os instrumentos de C&C carecem de uma fiscalização mais efetiva. Mas nos maiores municípios do País já ocorrem as situações que tornam a incineração uma alternativa viável pelos critérios de Miranda e Hale (1997), e que levaram ao desenvolvimento desta tecnologia em outros países: redução das alternativas de geração hídrica, barata e limpa, com crescimento da energia suja, proveniente das termelétricas, conjugada com o aparecimento de regiões onde não há mais espaço para a instalação de novos aterros, e com alta densidade populacional, como o caso da cidade de São Paulo, que apresenta a maior perspectiva de ser pioneira na América Latina, nesse tipo de empreendimento.

A geração de receitas pelos aterros sanitários pode ocorrer pelo aproveitamento do GDL resultante da decomposição anaeróbica dos RSU aterrados, ou, a exemplo do português ecoparque Braval, agregar outros serviços, como unidades de reciclagem e compostagem, tratamento de resíduos hospitalares, canil/gatil com crematório, produção de biodiesel, tratamento de lixo eletrônico, etc. (PEREIRA, 2009). Como no Brasil um grande número de municípios ainda se utiliza de aterros precários ou lixões, são oportunas as iniciativas de criação de legislações que forcem à disposição correta, como o programa mineiro “Minas sem lixões”.

O terceiro objetivo específico do estudo foi a verificação da possibilidade de receitas decorrentes do MDL e o papel da energia dos resíduos no mercado elétrico brasileiro. Verificou-se que as receitas resultantes da comercialização de CER são relevantes e podem se constituir no diferencial para o alcance da sustentabilidade na GRU, sendo que há tendência de valorização dos CER, face o cenário de crescimento nas pressões internacionais para a mitigação do aquecimento global. Porém ocorrem entraves ao crescimento do mercado de créditos de carbono no Brasil, em face de dificuldades como a falta de linhas de crédito especiais para o financiamento dos projetos, a demora na concessão das licenças ambientais, e na análise dos projetos pela AND brasileira.

A possibilidade da obtenção de receitas pela comercialização de CER deve sempre ser

considerada, ponderando-se as despesas para a obtenção da certificação, com as perspectivas de preço para a venda dos certificados. A perspectiva da obtenção de resultados positivos é bastante grande, pois o preço de mercado do certificado tem se mostrado bastante superior ao patamar máximo do US\$ 4.00 por tonelada de CO₂ evitada (SANTIN, 2007), embora ainda seja difícil de se obter os € 17,57 calculados por Sato (2009), como necessários para viabilizar um aterro sanitário pequeno, que receba as 83 t/dia consideradas por aquele Autor.

Com relação à inserção da energia elétrica dos resíduos no setor elétrico brasileiro, a principal conclusão foi de que, contrariando as expectativas daqueles que lutam contra o aquecimento global, a fonte elétrica que mais cresce, a nível mundial e no Brasil, é baseada em combustíveis fósseis, e, embora sem potencial suficiente para reverter isoladamente esta situação, a geração elétrica pelos resíduos pode contribuir para a descarbonização do setor, conforme ao seu potencial para aproveitamento elétrico, cuja estimativa para os RSU estão apresentados na Tabela 17.

O quarto objetivo específico estabelecido foi pesquisar estudos que analisaram as diversas alternativas de destinação para os resíduos, visando conhecer as conveniências comparativas das rotas tecnológicas, na busca de subsídio às decisões no âmbito da GRU.

Os resultados apresentados variaram bastante em função das metodologias adotadas, dos enfoques dados pelos autores e entre os tipos de tecnologias comparadas. Observou-se que os estudos apresentam dificuldades em estabelecer comparações que abranjam um número significativo de variáveis para a comparação das rotas tecnológicas, e os resultados encontrados precisam ser relativizados pelas diferenças nas características locais, como a quantidade e a distribuição geográfica dos resíduos sólidos e esgotos disponibilizados para a recuperação energética, o montante de recursos financeiros disponíveis para os investimentos, as diferenças nos custos de manutenção & operação das plantas, o grau de interesse pela energia, com a conseqüente formação dos preços de mercado dos produtos e seus derivados (CDR, eletricidade, calor, compostos orgânicos etc.), além da existência de fornecedores e mão de obra qualificada de cada alternativa tecnológica. Apesar das dificuldades de comparação, foi possível a extração de conclusões gerais relativas às alternativas mais comuns: incineração, DA e biogás de aterros (GDL).

Para o caso brasileiro, a incineração tende a ser alternativa que melhor atende à sustentabilidade da GRU, dentre as tecnologias mais difundidas e com escala comercial, quando estiverem conjugados fatores como a escassez de locais para a construção de aterros, com o custo da terra muito alto e em áreas densamente povoadas; houver a propensão pelo uso de UTE para geração elétrica, por dificuldades de implementação de opções menos

poluidoras e baratas, como as UHE; as instalações ULE detenham tecnologias que maximizem o aproveitamento energético do processo, com a comercialização de subprodutos como o calor e vapor d'água; e as externalidades negativas sejam minimizadas, pelo aproveitamento das cinzas, e o controle da poluição atmosférica; e proximidade com grandes fontes consumidoras, de modo a dispensar os custos com a ligação à rede de distribuição. Pode-se dizer que esta é uma solução de alto nível, pois exige maior alocação de recursos financeiros para a implantação e operacionalização, mas permite, também, um maior nível de retorno financeiro, pela maior eficiência na recuperação energética. Embora atenda aos aspectos sociais e ambientais, sua adoção enfatiza o aspecto financeiro. Porém a incineração não precisa necessariamente ser utilizada em projetos de grande porte, pois existe tecnologia nacional (Usinaverde) com capacidade para tratar 150 toneladas de “lixo bruto” por dia, porém neste caso o atingimento do equilíbrio financeiro fica dificultado pela falta de ganhos de escala.

Se a ênfase da GRU estiver nos aspectos sociais e ambientais, a DA se constitui em excelente alternativa. Sob o ponto de vista social, o fato da tecnologia não poder aproveitar a fração inorgânica dos RSU força a implantação da reciclagem, preferível tanto em termos sociais como ambientais às alternativas de geração energética. Sob o ponto de vista ambiental, a tecnologia não permite o vazamento de metano para a atmosfera, pois todo o processo de digestão ocorre em ambiente fechado. A DA reduz significativamente os volumes dos RSU, prolongando a vida útil dos aterros sanitários, além dos seus resíduos não gerarem odores, GEE, ou lixiviados. Sob o prisma financeiro, comparativamente à incineração, exige menores investimentos nas plantas, e os custos de operacionalização também não são altos, conforme mostrado por Murphy e Mckeogh (2004), mas a eficiência na obtenção de energia, por tonelada de RSU, é significativamente menor. Porém seu produto é versátil, pois o biogás, além da geração elétrica, pode ser utilizado como combustível para transporte. Também a matéria orgânica digerida pode ser aproveitada como fertilizante agrícola, ou como insumo para a incineração. Pode ser a alternativa mais indicada em situações onde não haja alternativa de aproveitamento para o calor resultante da incineração, e em locais que não apresentem grande demanda elétrica, podendo o biogás ser utilizado para suprimento local, como em ETE, evitando os custos decorrentes da ligação à rede de distribuição.

Mas, ainda para o caso brasileiro, onde cerca de 50% dos municípios ainda se utilizam de lixões ou aterros precários, o investimento em aterros sanitários ainda representa um grande desafio, cuja saída, conforme apresentado no Quadro 17, tem sido a formação de consórcios pelos municípios, ao amparo da Lei 11.107. Além da questão financeira, faltaria

capacitação técnica para a implantação de alternativas mais sofisticadas, como a incineração e DA. Nesse contexto, a utilização de aterros sanitários tende a ser a melhor alternativa para os pequenos municípios, mais distantes dos grandes centros urbanos. A valorização econômica dos resíduos, neste caso, pode ser obtida pelo aproveitamento energético do GDL, seja para a geração elétrica ou combustível para transporte, e pela habilitação às receitas MDL. É interessante para o desempenho dos aterros a recepção de lamas oriundas de ETE, pelas razões apresentadas na seção 2.4: redução no tempo da digestão, aumento na produção de metano, e redução na geração de lixiviados. A sustentabilidade financeira pode advir também da separação de recicláveis, da venda do produto da compostagem, e da ampliação no espectro da prestação de serviço, com a adoção do conceito de parque ecológico. A sustentabilidade ambiental estará presente se a operacionalização do aterro, e a monitoração após o seu fechamento, ocorrerem dentro de adequados padrões técnicos. E no aspecto social, por convênios com cooperativas de recicladores, gerando renda para essa categoria profissional.

Mas estas três alternativas apresentadas não precisam ser vistas como escolhas estanques, a exemplo do estudo de Murphy e Mckeogh (2004), que avaliaram as alternativas da incineração e DA após a plena separação dos recicláveis, destinando as sobras inorgânicas para a incineração e a parcela orgânica, para a DA. Haja vista países como a Holanda que reciclam 39% dos seus resíduos, destinam 9% para a compostagem, e ainda separam 42% para recuperação energética, sobrando apenas 12% do volume inicial para disposição em aterros (MME, 2008d).

Além das vantagens na utilização em aterros, a sinergia entre os RSU e esgotos está presente nas outras duas alternativas citadas, e também na compostagem. Na incineração, o biogás resultante da ETE pode servir de combustível auxiliar; as lamas podem se somar aos RSU, face o seu poder energético; e o calor da incineração pode ser usado no processo de secagem prévia das lamas, propiciando economias da ordem de 12 a 26% (SPINOSA, 2000). Na digestão anaeróbia, os esgotos podem ser utilizados para evitar a necessidade da adição de água tratada na obtenção do teor de umidade necessário ao processo, além de contribuir intrinsecamente na geração do biogás. Na compostagem, os dois tipos de resíduos utilizados de forma integrada geram um produto de melhor qualidade, em função da maior proporção de sólidos e relação C/N nos RSU compensar as menores concentrações desses elementos nas lamas.

Buscar a sustentabilidade da GRU sob o prisma ambiental é ponto de consenso, e este texto apresentou exemplos de iniciativas, a nível nacional, para a extinção dos lixões e aterros

precários. Inclusive o texto de projeto para a Política Nacional para Resíduos Sólidos, em tramitação pelo Poder Legislativo Federal, prevê, por força legal, as suas extinções. Mas satisfazer a sua dimensão ambiental, pelos pequenos municípios, implica em onerar a sua dimensão financeira, pelo desembolso com a construção dos aterros sanitários. A sustentabilidade sob o prisma social ocorre principalmente pelo estímulo à reciclagem por parte dos municípios, que são desestimulados pelo alto custo da coleta seletiva, de modo que sua prática ocorre apenas em 7% dos municípios brasileiros (CEMPRE, 2009), que costumam deixar as receitas provenientes da venda dos recicláveis para as cooperativas de catadores, e ainda fornecem auxílio financeiro extra, oriundo do erário municipal. Este déficit é repassado à população, incluído na “taxa de lixo”, normalmente cobrada anualmente, junto com o Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU). Portanto, a exemplo da sustentabilidade ambiental, o alcance da dimensão social da GRU também implica em agravar a sua dimensão financeira, justificando a necessidade da busca de redução de despesas e geração de receitas pela GRU. Se os municípios percebessem a gestão de resíduos como atividade econômica, poderiam reduzir seu desembolso, que representa de 4 a 10% do orçamento do município (FELÍCIO; BARROS, 2008), podendo converter o diferencial financeiro obtido em benefícios para a população em outras áreas, ou para melhorias na própria GRU.

A evolução da percepção da GRU como atividade econômica sustentável esbarra em barreiras como as referidas nas seções 1.3 e 1.4, onde se destacam os fatores de ordem cultural e educacional, como a falta de planejamento dos municípios, a baixa qualidade na gestão dos investimentos e elaboração de projetos, as insuficientes ações de pesquisa e desenvolvimento, e a falta de informação dos decisores sobre as alternativas tecnológicas. E causas de ordem ética e política, como a obstaculização de participações e judicialização dos processos licitatórios, a dificuldade de entendimento entre as diversas áreas do governo, e a baixa priorização dos investimentos em saneamento por parte da população e dos governantes. Aspectos que sinalizam para a necessidade de uma prévia evolução das instituições nacionais, para que ações que demandam mais planejamento e articulação possam ocorrer. Os exemplos de iniciativas, ações, e políticas apresentadas neste estudo sinalizam para a viabilidade da sustentabilidade do GRU, mas o avanço dependerá de ações de base que atinjam estes aspectos menos tangíveis da sociedade brasileira.

Como o objeto desta pesquisa foi amplo, oportunizou a abordagem de diversos aspectos relativos à gestão dos resíduos sólidos e esgotos, que podem ser aprofundados por novos estudos técnicos e acadêmicos. A apresentação dos resíduos sólidos e esgotos de forma integrada pode favorecer a aproximação dos gestores desses dois segmentos, e estimular a

implementação de políticas ambientais conjuntas. Também, a reunião dos resultados obtidos por diversos pesquisadores favorece uma visão abrangente do tema, que pode auxiliar na formulação do planejamento do setor, na implantação de instrumentos, políticas e ações direcionadas às diversas etapas da gestão de resíduos urbanos, e na busca das receitas disponibilizadas pelo mercado de créditos de carbono.

REFERÊNCIAS

AGNOLETTO, Giovani Celso; CABRAL, Antonio C. D. Diretrizes para o gerenciamento da embalagem pós-consumo no município de São Paulo, a partir de projetos auto-sustentáveis. Artigo eletrônico. **Instituto Mauá de Tecnologia**. [2006?]. Disponível em: <www.google.com.br/search?q=%22Diretrizes+para+o+gerenciamento+da+embalagem+p%C3%B3s-consumo%22&rls=com.microsoft:pt-br:IE-SearchBox&ie=UTF-8&oe=UTF-8&sourceid=ie7&rlz=1I7GGLL_pt-BR&redir_esc=&ei=S7uSS43aJY2OuAeh5d2wAw>. Acesso em: 19 ago. 2009.

ALMEIDA, Luciana Togeiro de. **O debate internacional sobre Instrumentos de Política Ambiental e Questões para o Brasil**. Artigo. [199-?]. Disponível em: <www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/ii_en/mesa1/3.pdf>. Acesso em: 16 maio 2009.

ALMEIDA, Raphael Mendes Silva de. Os perigos das lâmpadas fluorescentes. **BOLETIM INFORMATIVO DOS INATIVOS E PENSIONISTAS DA AERONÁUTICA. BIP, Nº 46- abr., maio e jun. 2004**. Disponível em: <www.sdip.aer.mil.br/documentos/bip46.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2009

ALVES, João Wagner Silva. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos**. São Paulo, 2.000, 142 p. (PIPGE/USP, M. Sc., Energia, 2.000) Tese - Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo. Disponível em: <homologa.ambiente.sp.gov.br/biogas/publicacoes.asp>. Acesso em: 20 set. 2008.

ALVIM, Augusto Mussi; SANTIN, Maria Fernanda Cavaliere de Lima. Os Impactos da Demanda por Crédito de Carbono sobre o Mercado de Certificações de Reduções de Emissões no Brasil. In: XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. 20 a 23 de julho de 2008. **Anais eletrônicos...** Rio Branco. Disponível em: <www.sober.org.br/palestra/9/248.pdf>. Acesso em: 29 maio 2009.

ANÁLISE do Ciclo de Vida (ACV) e reciclagem. **Ambientebrasil**. Reportagem eletrônica de 26 maio 2009. Disponível em: <[ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/analise_do_ciclo_de_vida_\(acv\)_e_reciclagem.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/analise_do_ciclo_de_vida_(acv)_e_reciclagem.html)>. Acesso em: 13 jun. 2009.

ANOMANYO, Edward Dotseh. **Integration of Municipal Solid Waste Management in Accra (Ghana): Bioreactor Treatment Technology as an Integral Part of the Management Process**. Tese submetida para a Lund University para colação de grau como Master of Science (MSc) em International Environmental Science. Suécia, nov. 2004. Disponível em:

<www.lumes.lu.se/html/batch_7___2003-04.aspx>. Acesso em: 11 mar. 2009.

ARRUDA, Josemil. Resíduos vegetais serão aproveitados na fabricação de tijolo. **MS Notícias**. Notícia Eletrônica. 29 maio 2009. Disponível em: <www.corumbaonline.com.br/canais.asp?secao=Meio%20Ambiente>. Acesso em: 1 ago. 2009.

AS IDÉIAS: o que pensa o democrata a respeito de assuntos como economia, aborto e América Latina, entre outros. **Zero Hora**. Porto Alegre, Reportagem Especial, p.7, 5 nov. 2008.

ASOCIACIÓN INTERAMERICANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL (AIDIS). **Directrices para la Gestion Integrada y Sostenible de Residuos Solidos Urbanos en America Latina y el Caribe**. Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - AIDIS y Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo - IDRC, texto de: Wanda Maria Risso Günther y Elisabeth Grimberg. São Paulo: AIDIS/IDRC, 2006. 118 p. Disponível em: <www.polis.org.br>. Acesso em: 22 nov. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2007**. [2008]. Disponível em: <www.abrelpe.org.br>. Acesso em: 2 maio 2009.

_____. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2008**. [2009]. Disponível em: <www.abrelpe.org.br>. Acesso em: 18 ago. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004: 2004 – Resíduos sólidos – Classificação**. Disponível em: <www.geocities.com/reciclagem2000/nbr10004.htm>. Acesso em: 7 mar. 2009.

AZAMBUJA, Eduardo et al. **Plano diretor de resíduos sólidos da região metropolitana de Porto Alegre**. Executado por PROESP Engenharia e AZAMBUJA Engenharia e Geotecnia; coordenado por Eduardo Azambuja et al. Porto Alegre: Secretaria da Coordenação e Planejamento – Pró-Guaíba, 1998. CD-Rom.

BALL, Jeffrey. O que deu errado no acordo de Kyoto. **Valor Econômico**, São Paulo, The Wall Street Journal Americas, p.B11, 4 dez. 2007.

BARREIRAS a um novo acordo para redução das emissões. **Valor Econômico**, São Paulo, Opinião, p.A14, 22 nov. 2007.

BARROS, Bettina. Em experiência inédita, cidade de São Paulo faz leilão de créditos de carbono. **Valor Econômico**, São Paulo, Brasil, p.A2, 1, 2 e 3 jun.2007.

_____. Lafarge usa lixo urbano para fazer cimento. **Valor econômico**. Notícia eletrônica de 20 fev.2009. Disponível em: <[www.valoronline.com.br/ValorImpresso/MateriaImpresso.aspx?tit=Lafarge usa lixo urbano para fazer cimento&codmateria=5427412&dtmateria=20 02 2009&codcategoria=164&tp=931539242&p=-1&t=12px](http://www.valoronline.com.br/ValorImpresso/MateriaImpresso.aspx?tit=Lafarge%20usa%20lixo%20urbano%20para%20fazer%20cimento&codmateria=5427412&dtmateria=20%202009&codcategoria=164&tp=931539242&p=-1&t=12px)>. Acesso em: 01 ago. 2009. Acesso exclusivo para assinante.

BELLEN, Hans Michel Van. **Indicadores de Sustentabilidade**: uma análise comparativa. 2ed. Rio de Janeiro: FGV, 2007. 253p.

BIOGÁS ENERGIA AMBIENTAL S/A. Disponível em: <www.biogas-ambiental.com.br/>. Acesso em: 1 ago. 2009. Homepage institucional.

BIOPUSTER. Disponível em: <www.biopuster.com.br/site/index.php>. Acesso em: 1 ago. 2009. Homepage institucional.

BM&FBOVESPA. **Mercado Brasileiro de Reduções de Emissões (MBRE)**. [2009]. Disponível em: <www.bmf.com.br/portal/pages/mbre/>. Acesso em: 11 jun. 2009.

BONOMO, Antonio. **Waste to Energy advances**: the Brescia experience. Excerpts from Plenary Lecture at 2nd Meeting of WtERT Council, Tampa, Florida April, 28-30, 2003. Antonio Bonomo : ASM Brescia S.p.a. Brescia, Italy. Disponível em: <www.seas.columbia.edu/earth/wttert/sofos/bonomo_nawtec11_brescia.pdf >. Acesso em: 3 maio 2009.

BORBA, Silvia Mary Pereira. **Análise de Modelos de Geração de Gases em Aterros Sanitários**: Estudo de Caso [Rio de Janeiro]. Dissertação, COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2006. Disponível em: <www.scribd.com/doc/2363832/Analise-de-modelos-de-geracao-de-gases-em-aterros-sanitarios-estudo-de-caso>. Acesso em: 20 set. 2008.

BOURSCHEIT, Aldem. Projeto de Lei para resíduos avança no Congresso. **Valor Econômico**, São Paulo, Especial Negócios Sustentáveis, p.F4, 20 ago. 2008.

BRAGA, Paulo Victor. Dejetos de animais podem gerar uma Jirau. **Valor Econômico**, São Paulo, Brasil, p.A4, 25 ago. 2009.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Disponível em: <www.unicentro.br/neddij/constituicao.pdf>. Acesso em: 26 out. 2008.

_____. **Lei nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em: 26 out. 2008.

_____. **Lei nº 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <www.lei.adv.br/9433-97.htm>. Acesso em: 26 out. 2008.

_____. **Lei nº 9.605**, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm>. Acesso em: 26 out. 2008.

_____. **Lei nº 9.984**, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Água - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19984.htm>. Acesso em: 26 out. 2008.

_____. **Lei nº 10.438**, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis n o 9.427, de 26 de dezembro de 1996, n o 9.648, de 27 de maio de 1998, n o 3.890-A, de 25 de abril de 1961, n o 5.655, de 20 de maio de 1971, n o 5.899, de 5 de julho de 1973, nº 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. Disponível em: <www.aneel.gov.br/cedoc/lei200210438.pdf>. Acesso em: 19 nov.2008. a

_____. **Lei nº 10.848**, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nºs 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. Disponível em: <www.aneel.gov.br/cedoc/blei200410848.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2008. a

_____. **Lei nº 11.079**, de 30 de dezembro de 2004. Institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito da administração pública. Disponível em: <www.sintunesp.org.br/refuniv/Lei%2011079-04_30-12-04%20-%20PPP.htm>. Acesso em:

28 out. 2008. b

_____. **Lei nº 11.107**, de 06 de abril de 2005. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11107.htm>. Acesso em: 26 out. 2008.

_____. **Lei nº 11.445**, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 26 out. 2008. a

_____. **Lei nº 11.488**, de 15 de junho de 2007. Cria o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infra-Estrutura (REIDI) e dá outras providências. Disponível em: <www.receita.fazenda.gov.br/legislacao/mps/2007/mp351.htm>. Acesso em: 7 jun. 2009. b

_____. **Projeto de Lei 203**, de 1991. Dispõe sobre o acondicionamento, a coleta, o tratamento, o transporte e a destinação final dos resíduos de serviços de saúde. Disponível em: <www2.camara.gov.br/proposicoes>. Acesso em: 26 out. 2008.

_____. **Resolução nº 264**, 26 de agosto de 1999. CONAMA. Dispõe sobre licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de co-processamento de resíduos. Disponível em: <www.areaseg.com/conama/1999/264-1999.pdf>. Acesso em: 13 set. 2009.

_____. **Resolução nº 316**, 29 de outubro de 2002. CONAMA. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Disponível em: <www.cprh.pe.gov.br/downloads/316de29deoutubrode2002.doc>. Acesso em: 26 out. 2008. b

_____. **Resolução nº 401**, 4 de novembro de 2008. CONAMA. Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado, e dá outras providências. Disponível em: <mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=589>. Acesso em: 6 jun. 2009.

BRIDI, Rita. Do bagaço da fruta, nasce uma fábrica de R\$ 3,5 milhões. **A Gazeta**. Notícia eletrônica de 19 jun. 2009. Disponível em: <gazetaonline.globo.com/_conteudo/2009/06/517612-do+bagaco+da+fruta+nasce+uma+fabrica+de+r+3+5+milhoes.html>. Acesso em 30 jul. 2009.

BRITO, Osório de. Osorio de Brito: Continua o país desperdiçando energia. **Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE)**. Artigo eletrônico de 31 ago.2009. Disponível em: < www.inee.org.br/informacoes_imprensa_artigo.asp?id=445&Cat=info>. Acesso em 13 set. 2009.

BRITO FILHO, Luiz Fernandes de. **Estudo de Gases em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos**. [Rio de Janeiro]2005 XV, 222 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2005) Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Disponível em: <homologa.ambiente.sp.gov.br/biogas/docs/artigos_dissertacoes/brito_filho.pdf>. Acesso em: 20 set. 2008.

BRUM, Eliane de. Projeto que cria o Banco do Vestuário em Caxias será sancionado na segunda. **Clic RBS**. Notícia Eletrônica. 14 jun. 2009. Disponível em: <www.clicrbs.com.br/pioneiro/rs/plantao/10,2545279,Projeto-que-cria-o-Banco-do-Vestuario-em-Caxias-sera-sancionado-na-segunda.html>. Acesso em: 29 jul. 2009.

CADÊ a prática ambiental? **Diário de Pernambuco**. Notícia Eletrônica. 5 jun. 2009. Disponível em: <www.diariodepernambuco.com.br/2009/06/05/urbana1_0.asp>. Acesso em: 20 ago. 2009.

CAIXETA, Dalma Maria. **Geração de energia elétrica a partir da incineração de lixo urbano: O caso de Campo Grande/MS**, 86 p. 297 mm, (UnB-CDS, Especialização, Resíduos Sólidos, 2005) Monografia do Curso de Especialização em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável – Universidade de Brasília. Centro de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <4ccr.pgr.mpf.gov.br/documentos-e-publicacoes/trabalhos-cientificos/dissertacao_dalma.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2009.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). Disponível em <www.ccee.org.br/cceeinterdsm/v/index.jsp?vgnextoid=2e09a5c1de88a010VgnVCM100000aa01a8c0RCRD>. Acesso em: 17 nov. 2008. Homepage institucional.

CAMARGO, Suzana. Zuriq é modelo em reciclagem de lixo. **Planeta Sustentável**. Notícia Eletrônica. 11 maio 2009. Disponível em: <planetasustentavel.abril.com.br/noticia/lixo/conteudo_467362.shtml>. Acesso em: 30 jul. 2009.

CANÁZIO, Alexandre. **PDE 2008-2017**: geração terá menos reservatórios e aumento de térmicas [mensagem pessoal]. Newsletter enviada por Agência CanalEnergia para <mgodecke@yahoo.com.br> em 9 jan. 2009.

CAPARRÓS, Marta F. Adiós a la bolsa de plástico. **El País**. Espanha, Sociedad, 13 jul. 2009. Disponível em: <www.elpais.com/articulo/sociedad/Adios/bolsa/plastico/elpepusoc/20090713elpepusoc_6/Te s>. Acesso em: 25 jul. 2009.

CAROÇO de açaí substitui queima de madeira nativa. **DCI On Line**. Notícia eletrônica. 5 jun. 2009. Disponível em: <www.meujornal.com.br/Ocb/jornal/Materias/integra.aspx?id=985954>. Acesso em: 1 ago. 2009.

CARVALHO, Luiza de. Câmara discute reforma “verde”. **Valor Econômico**, São Paulo, Valor Legislação & Tributos. & Especial, Meio Ambiente, p.E1, 11 mai. 2009.

CATADORES do lixão da Muribeca serão capacitados. **Pe360graus.com**. Notícia Eletrônica. [2009]. Disponível em: <pe360graus.globo.com/noticias/cidades/saneamento/2009/07/13/NWS,494285,4,71,NOTICIAS,766-CATADORES-LIXAO-MURIBECA-SERAO-CAPACITADOS.aspx>. Acesso em: 25 jul. 2009.

CAW DURHAM REGIONAL ENVIRONMENT COUNCIL (CAWDREC). **Did You Know?** [2009?]. Disponível em: <cawdrec.com/docs/incin/fact_sheet.pdf>. Acesso em: 5 maio 2009. Homepage institucional.

_____. **Incineration of Municipal Solid Waste: A reasonable energy option? Fact Sheet 3.** [2005?]. Disponível em: <www.cawdrec.com/incineration/energy.pdf>. Acesso em: 05 maio 2009. Homepage institucional.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS (ELETROBRÁS). **Metodologia de valoração das externalidades ambientais da geração hidrelétrica e termelétrica com vistas à sua incorporação no planejamento de longo prazo do setor elétrico.** Departamento de Engenharia e Ambiente (DEA). Coordenado por Mírian Regini Nutti. – Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2000. Disponível em: <www.eletrobras.gov.br/EM_MeioAmbiente/gestaoAmbienta.asp>. Acesso em: 20 maio 2009.

_____. **Projeto PROINFA.** Abr. 2007. Disponível em: <www.eletrobras.gov.br/EM_Programas_Proinfa/>. Acesso em: 22 nov. 2008. Homepage institucional.

CHERMONT, Larissa Steiner; MOTTA, Ronaldo Seroa da. **Aspectos Econômicos da Gestão Integrada de Resíduos Urbanos.** Texto para Discussão nº 416. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Maio de 1996. Disponível em: <www.ebah.com.br/td-0416-

aspectos-economicos-da-gestao-integrada-de-residuos-solidos-1172731.html> Acesso em: 14 Jul. 2009.

CNI lança sistema integrado de bolsas de resíduos. **Notícias Terra**. Notícia Eletrônica de 8 jul. 2009. Disponível em: <noticias.terra.com.br/brasil/interna/0,,OI3863502-EI306,00-CNI+lanca+sistema+integrado+de+bolsas+de+residuos.html>. Acesso em: 29 ago. 2009.

COELHO, Suani Teixeira et al. Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás Proveniente do Tratamento de Esgoto Utilizando um Grupo Gerador de 18 kW. In: V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Políticas públicas para a Energia: Desafios para o próximo quadriênio, 31 de maio - 2 de jun. 2006, Brasília (DF). **Anais eletrônicos...** Brasília. Disponível em: <www.cenbio.iee.usp.br/download/projetos/7_purefa.pdf >. Acesso em 29 mar. 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Biogás: pesquisas e projetos no Brasil**. Governo de São Paulo, Secretaria de Meio Ambiente e CETESB. Organização de Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer. Responsável técnico: João Wagner Silva Alves. São Paulo, 2006. Disponível em: <homologa.ambiente.sp.gov.br/biogas/cursos_seminarios/seminario_livro/index.asp>. Acesso em: 2 maio 2009.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Pesquisa CICLOSOFT 2008**. 2009. Disponível em: <www.cempre.org.br/ciclosoft_2008.php>. Acesso em: 18 out. 2009. Homepage institucional.

COMUNIDADE ACV. **Avaliação do Ciclo de Vida**. Disponível em <acv.ibict.br/ >. Acesso em: 12 mar. 2009. Homepage institucional.

CONFEDERATION OF EUROPEAN WASTE-TO-ENERGY PLANTS (CEWEP). **Recycling and Waste-to-Energy - the magic formula for the Waste Framework Directive**. Brussels, jun. 2008. Disponível em: <www.cewep.eu/storage/med/media/statements/240_Recycling_and_WtE_-_the_magic_formula.pdf >. Acesso em: 22 nov. 2008.

COOPER, Jeff. Waste Minimization and Recycling: choosing the best practicable options for solid waste management. In: ISWA Annual Congress 1999. Ategrus XXV Anniversary Conference. Oviedo, Espanha. 26-28, maio 1999. **Anais eletrônicos...** Oviedo. Disponível em: <www.iswa.org/en/76/publications.html >. Acesso em: 24 mar. 2009.

COSTA, Cláudia do Valle. **Políticas de Promoção de Fontes Novas e Renováveis para Geração de Energia Elétrica: Lições da experiência europeia para o caso brasileiro**. Tese de doutorado em planejamento energético. UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro, 2006. Disponível

em: <www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis.php>. Acesso em: 16 jul.2009.

COSTA, David Freire da. **Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto**/David Freire da Costa; orientador José Goldemberg. São Paulo, 2006. 194p. Dissertação (Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) – IEE / EPUSP / FEA / IF da Universidade de São Paulo. Disponível em: <homologa.ambiente.sp.gov.br/biogas/docs/artigos_dissertacoes/costa.pdf >. Acesso em: 27 out.2009.

COSTA, Fernanda Dalla. Com prazo contando, setor de pilhas ainda não organizou sistema de coleta de usadas. **Saneamento Ambiental**. Notícia Eletrônica. 27 maio 2009. Disponível em: <sanambiental.blogspot.com/2009/05/com-prazo-countando-setor-de-pilhas.html>. Acesso em: 30 ago.2009.a

_____. Energia da queima do lixo custaria cerca de R\$ 180,00/MWh. **Revista Sustentabilidade**. Notícia Eletrônica. 24 ago.2009. Disponível em: <www.revistasustentabilidade.com.br/s02/reciclagem>. Acesso em: 13 set. 2009.b

_____. Espírito Santo antecipa política de resíduos e lança consórcios de gestão do lixo. **Revista Sustentabilidade**. Notícia Eletrônica. 21 maio 2009. Disponível em: <www.revistasustentabilidade.com.br/s02/reciclagem/espírito-santo-sem-lixao-e-o-tema-da-semana-do-meio-ambiente-do-es/discussion_reply_form>. Acesso em: 25 jul. 2009.c

COSTA, Silvano Silvério da. Artigo. **A Visão da ASSEMAE sobre os principais aspectos conjunturais que interessam ao Saneamento Ambiental nos Municípios Brasileiros**. Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento (ASSEMAE). 2004. Disponível em: <www.assemae.org.br>. Acesso em: 27 out. 2008.

CREDENTIALIO, J. E. et al.. Sem aterros, SP planeja incinerar lixo. **Folha On Line**. Notícia Eletrônica. 20 set. 2009. Disponível em: <noticias.ambientebrasil.com.br/noticia/?id=48373>. Acesso em: 24 out.2009.

CZAPSKI, Silvia. Déficit de Atenção. Valor Especial: Água. **Valor Econômico**. São Paulo, 20,21 e 22 de março de 2009, p.F1.

DALTRO Pinatti fala sobre solução para o lixo orgânico em Ribeirão. **Ribeirão Preto On Line**. Notícia Eletrônica. 14 abr. 2008. Disponível em: <www.ribeiraopretoonline.com.br/noticia.php?id=22390>. Acesso em: 25 set. 2009.

DANTAS, Guilherme de A.; LEITE, Andre Luis da Silva. **Os custos da energia eólica brasileira**. Grupo de estudos do setor elétrico (Gesel). Textos de discussão do setor elétrico nº

9. UFRJ, Rio de Janeiro, set. 2009. Disponível em:
<www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/tdse/TDSE9.pdf>. Acesso em: 26 set. 2009.

ENERGY FROM WASTE WORKING GROUP. **Energy from Waste: a good practice guide**. Publicado em novembro de 2003 por IWM Business Services Ltd a pedido de: The Chartered Institution of Wastes Management. Disponível em:
<[www.seas.columbia.edu/earth/wtert/Energy%20from%20Waste\(CIWM\).pdf](http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/Energy%20from%20Waste(CIWM).pdf)>. Acesso em: 29 mar. 2009.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). **International Energy Outlook 2008 (electricity)**. Disponível em: <www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/electricity.html>. Acesso em: 16 nov. 2008.

_____. **International Energy Outlook 2008 (emissions)**. 2008. Disponível em:
<www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/emissions.html>. Acesso em: 16 nov. 2008.b

ENVIRONMENT AND PLASTICS INDUSTRY COUNCIL (EPIC). Corporations Supporting Recycling (CSR). **Integrated Solid Waste Management Tools: Measuring the Environmental Performance of Waste Management Systems**. Outubro de 2000. Disponível em: <www.iwm-model.uwaterloo.ca/iswm_booklet.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2009.

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT INSTITUTE (EAI). **Rethinking the Waste Hierarchy**. March 2005. Disponível em:
<people.few.eur.nl/dijkgraaf/Epubs/2005%20Rethinking_Waste_Hierarchy.pdf>. Acesso em: 4 out. 2009.

ESGOTO vira adubo para a lavoura. **Globo Rural**. Notícia Eletrônica. 16 dez. 2008. Disponível em: <globoruraltv.globo.com/GRural/0,27062,LTO0-4370-332188,00.html>. Acesso em: 25 dez. 2008.

EVANS, Luciane. Estação facilita coleta de lixo em Belo Horizonte. **Uai**. Reportagem eletrônica. 27 jun.2009. Disponível em:
<www.uai.com.br/UAI/html/sessao_2/2009/06/27/em_noticia_interna,id_sessao=2&id_noticia=116387/em_noticia_interna.shtml>. Acesso em: 24 jul. 2009.

FAVARO, Thomaz. Um atalho no gelo. **Veja**. Edição 2131. Ambiente, p.106. 23 set. 2009.

FELICIO, César; BARROS, Betina. Concessões e licitações são questionadas pela justiça e retardam ação administrativa: prefeitos fracassam na busca de soluções para a questão do lixo. **Valor Econômico**, São Paulo, Política, p.A10, 25 ago.2008.

FERGUSON, John. A european view on the World of Wastes. Plenary Session. In: 7th ISWA International Congress & Exhibition. Pacifico Yokohama. 27 out. – 1 nov. 1996. **Anais eletrônicos...**Pacifico Yokohama. Disponível em: <www.iswa.org/en/76/publications.html>. Acesso em: 24 jan. 2009.

FINALIZADA formação para consórcio. **Diário do Nordeste**. Notícia Eletrônica. 5 jun. 2009. Disponível em: <diariodonordeste.globo.com/materia.asp?codigo=644087>. Acesso em: 25 jul. 2009.

FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (FCCC). **FCCC/AWGLCA/2009/8**. Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action (AWG-LCA). 19 maio 2009. Disponível em: <unfccc.int/resource/docs/2009/awglca6/eng/08.pdf>. Acesso em: 30 maio 2009.

FRANCERLE, Francisco. Entulhos da construção civil terão coleta disciplinada. **Diário de Natal**. Notícia eletrônica. 5 maio 2009. Disponível em: <www.reciclaveis.com.br/noticias/00904/0090428entulhos.htm>. Acesso em: 30 jul. 2009.

GARCIA, Ricardo. Governo lança programa para reduzir lixo urbano. **Público.PT**. Notícia Eletrônica. Portugal. 4 jun. 2009. Disponível em: <ultimahora.publico.clix.pt/noticia.aspx?id=1385073>. Acesso em: 29 jul. 2009.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. Disponível em: <www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/>. Acesso em: 5 ago. 2009. Homepage institucional.

GOLDEMBERG, José. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**. Tradução: André Koch – São Paulo: Editora da USP, 1998, 234p.

GOMES, Helder. Perspectivas no cenário brasileiro. **Nuevo Mundo**. Artigo de 14 dez. 2007. Disponível em: <nuevomundo.revues.org/index12943.html>. Acesso em: 20 ago. 2009.

GONDIM, Abnor. Setor de papel poderá ser incluso na política de resíduos. **DCI Diário Indústria, comércio e serviços**. Notícia eletrônica. 19 jun. 2009. Disponível em: <www.jusbrasil.com.br/politica/2732570/setor-de-papel-podera-ser-incluso-na-politica-de-residuos>. Acesso em: 20 ago. 2009.

GOVERNO INCENTIVA a gestão de resíduos sólidos urbanos. **Farol Comunitário**. Notícia Eletrônica. 24 abr. 2009. Disponível em: <www.agenciaminas.mg.gov.br/detalhe_noticia.php?cod_noticia=25225>. Acesso em: 25 jul. 2009.

GOVERNO DO JAPÃO. **Manual do MDL** : para desenvolvedores de projetos e formuladores de políticas. Ministério do Meio Ambiente, Japão/Centro Global para o Meio Ambiente. Versão para o português produzida por Japan Official Development Assistance e Jica. 2006. Disponível em: <homologa.ambiente.sp.gov.br/biogas/publicacoes.asp >. Acesso em: 30 maio 2009.

GOVERNO E mercados incentivam substituição de sacolas plásticas. **Agência Brasil**. Notícia Eletrônica. 21 jun. 2009. Disponível em: <noticias.terra.com.br/brasil/interna/0,,OI3836496-EI714,00-Governo+e+mercados+incentivam+substituicao+de+sacolas+plasticas.html>. Acesso em: 29 jul. 2009.

GOVERNO DO RIO GRANDE DO SUL. **Cadernos Sociedade Convergente**. Fórum Democrático – Desenvolvimento Regional. Volume infra-estrutura: saneamento. Publicação da Assembléia Legislativa do Estado do Rio Grande do Sul, 2008.

_____. **Estudo de Viabilidade para um Plano de Gestão de Resíduos Sólidos no Estado do Rio Grande do Sul**: Relatório Final – Memória. Elaborado por Intecsa-inarsa, s.a. numa parceria entre o Ministério da Economia da Espanha-Secretaria de Estado de Comércio e Turismo – Direção Geral de financiamento Internacional e o Governo do Estado do Rio Grande do Sul – Secretaria das Obras Públicas e Saneamento – SOPS. Março de 2006. CD-ROM.

GOVERNO DE SÃO PAULO. **Pronunciamento na Abertura – Dra. Dilma Seli Pena**. Secretaria de Energia e Saneamento. Seminário internacional: Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo. 17 out. 2007. Disponível em: <www.saneamento.sp.gov.br/bio_apresen/Abertura_FIESP_17out.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2008.

GRIPPI, Sidney. **Lixo: Reciclagem e sua História**: Guia para as prefeituras brasileiras. Rio de Janeiro: Interciência, 2ª ed., 2006, 166p.

GUERREIRO, Amilcar. O Papel das PCH e Fontes Alternativas de Energia na Matriz Energética Brasileira. In: VI Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas. Belo Horizonte, 22 abr. 2008. **Anais eletrônicos...** Belo Horizonte. Disponível em: <www.spmch.unifei.edu.br/pdf/2204q1.pdf >. Acesso em: 21 nov. 2008.

H₂O Hidrologia e Meio Ambiente. **Esquema de uma Estação de Tratamento de Efluentes**. Disponível em <br.geocities.com/atimus1/>. Acesso em: 22 mar.2009. Homepage institucional.

HARZA, Tumpa; GOEL, Sudha. Solid waste management in Kolkata, India: Practices and challenges. **Waste Management**, Elsevier, Amsterdam, v. 29, issue 1, pg. 470-48. Jan. 2009. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/wasman>. Acesso em: 22 jun.2009.

HAUSER, Philipp Daniel. **Criação de valor e desenvolvimento sustentável: uma avaliação da incineração de resíduos sólidos municipais em projetos enquadráveis no mecanismo de desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Administração) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto COPPEAD de Administração, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <www.scribd.com/doc/2363867/Criacao-de-valor-e-desenvolvimento-sustentavel-uma-avaliacao-da-incineracao-de-residuos-solidos-municipais-em-projetos-enquadraveis-no-MDL-do-Protoco>. Acesso em: 24 ago. 2008.

HONG, Jinglan et al. Environmental and economic life cycle assessment for sewage sludge treatment processes in Japan. **Waste Management**, Elsevier, Amsterdam, v.29, Issue 2, p.696-703. fev. 2009. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/wasman>. Acesso em: 23 jun.2009.

INSTITUTO ACENDE BRASIL. **6º LEILÃO de Energia Nova**: Análise pós-leilão [mensagem pessoal]. Newsletter recebida por <mgodecke@yahoo.com.br> em 18 set. 2008.a

_____. **7º LEILÃO de Energia Nova**: Análise pós-leilão [mensagem pessoal]. Newsletter recebida por <mgodecke@yahoo.com.br> em 30 set. 2008.b

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Contagem da População 2007**. Tabelas de Resultados. População Recenseada e Estimada . Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/contagem_final/tabela1_1.pdf> Acesso em: 23 nov.2008.

_____. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – Brasil 2004 – Dimensão social – Saúde**. Disponível em <geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursosnaturais/ids/saude.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2009.

_____. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000**. Diretoria de Pesquisas. Departamento de População e Indicadores Sociais. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/defaulttab.shtm> Acesso em: 25 out. 2008.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Percepções sobre saneamento básico**. Pesquisa. IBOPE. 12 ago. 2009. Disponível em: <www.tratabrasil.org.br/novo_site/cms/APRESENTACAO_IBOPE_TRATA/Apresentacao_coletiva_12ago.pdf>. Acesso em: 18 out. 2009.

INTEGRATED WASTE SERVICES ASSOCIATION (IWSA). **Waste-to-Energy Around the World**. [2008]. Disponível em <www.wte.org/>. Acesso em 23 nov. 2008. Homepage Institucional.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Volume 5, Waste, Published: IGES, Japan, 2006. Disponível em: <[//www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html)>. Acesso em: 2 maio 2009.

INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION (ISWA). **Sludge Treatment and Disposal: Management Approaches and Experiences**. ISWA's Working Group on Sewage & Waterworks Sludge. ISWA – International Solid Waste Association. EEA – European Environment Agency. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities, 1998. Disponível em: <www.mapa.es/app/Condicional/Documentos/3%C2%BA.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2009.

JURGENFELD, Vanessa. Poucos projetos deram certo em SC. **Valor Econômico**, São Paulo, Brasil, p.A4, 25 ago. 2009.

KACOWICZ, Julia. O lixo pelo lixo. **Diário de Pernambuco**. Notícia Eletrônica. 14 jun. 2009. Disponível em: <www.diariodepernambuco.com.br/2009/06/14/urbana11_0.asp>. Acesso em: 19 ago. 2009.

KITAYAMA, Onório. **Cogeração de energia à bagaço de cana no estado de São Paulo: tecnologia e operação de unidades de bioeletricidade a partir de biomassa de cana-de-açúcar – condições operacionais**. União da Indústria de Cana-de-açúcar (ÚNICA). Assembléia Legislativa de São Paulo. 1 out. 2007. Disponível em: <www.saneamento.sp.gov.br/bio_apresen/Procknor.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2009.

KLUNDERT, Arnold Van de; ANSCHITZ, Justine. **The Sustainability of Alliances Between Stakeholders in Waste Management**. Working paper for UWEP/ CWG, 30 May 2000 – Draft. Disponível em: <www.gdrc.org/uem/waste/ISWM.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2009.

KNAPP, Laura. Revisão Urgente: a onda verde exerce uma pressão cada vez maior sobre os processos das empresas, que agora precisam adotar princípios de sustentabilidade para garantir sua presença no mercado global. **Valor Econômico**, São Paulo, Valor Especial, Meio Ambiente, p.F1, 5 jun. 2007.

LEI para o lixo eletrônico. **Estadão**. Notícia eletrônica. 12 jul. 2009. Disponível em: <www.estadao.com.br/estadaodehoje/20090712/not_imp401413,0.php>. Acesso em: 25 jul. 2009.

LIMA, Luiz Mario Queiroz. **Lixo: tratamento e biorremediação**. São Paulo: Hemus Editora, 1995, 3ª ed., 265 p.

LIXO: desafios e oportunidades. **Setor reciclagem**. Artigo eletrônico. [2008] . Disponível em: <www.setorreciclagem.com.br/modules.php?name=News&file=article&sid=754> Acesso em: 25 dez. 2008.

LIXO mais barato ameaça emprego. **O povo on line**. Reportagem eletrônica. 4 mar. 2009. Disponível em: <www.setorreciclagem.com.br/modules.php?name=News&file=print&sid=783>. Acesso em: 13 jun. 2009.

LOBO, Felipe. Energia produzida a partir do esgoto. **O Eco**. Reportagem eletrônica. 26 nov. 2008. Disponível em: <www.oeco.com.br/reportagens/37-reportagens/20354-energia-produzida-a-partir-do-esgoto?tmpl=component&print=1&page>. Acesso em: 11 jul. 2009.

LU, Yanjun et al. Characteristics of municipal solid waste and sewage sludge co-composting. **Waste Management**. Elsevier, Amsterdam, v.29, issue 3, p.1152-1157, mar. 2009. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/wasman>. Acesso em: 24 maio 2009.

LUCCHESI, Cristiane Perini. Fundo faz swap de crédito de carbono. **Valor Econômico**, São Paulo, Finanças, p.C10, 28 maio 2009.

LUZ, Beatriz. Lixo como fonte alternativa de energia. **Maracaju news**. Artigo eletrônico. 26 set. 2008. Disponível em: <www.maracaju.news.com.br>. Acesso em: 31 out. 2008.

MAIA, Samantha. Crise diminui venda de certificado de carbono. **Valor Econômico**, São Paulo, Brasil, p.A7, 29 abr. 2009.a

_____. País importa R\$ 1 bilhão ao ano de sucata de PET. **Valor Econômico**, São Paulo, Brasil, p.A7, 21 jul. 2009.b

_____. Leilão de créditos de carbono rende R\$ 34,5 milhões à prefeitura de SP. **Valor Econômico**, São Paulo, Brasil, p.A6, 27 set. 2007.a

_____. Preço reduz ritmo de adesão ao mercado livre. **Valor Econômico**, São Paulo, Brasil, p.A4, 18 out. 2007.b

MANECHINI, Guilherme. Metrô de São Paulo vai licitar estações de esgoto. **Valor Econômico**, São Paulo, Empresas, p.B8, 25 set. 2008.

MATTOS, Marluza. Pneu velho, problema novo! **Terrazul**. Artigo eletrônico. 30 jun. 2006. Disponível em: <www.terrazul.m2014.net/spip.php?article407>. Acesso em: 18 ago. 2009.

MAY, PETER H. et al. **Economia do Meio Ambiente**: teoria e prática./Peter H. May, Maria Cecília Lustosa, Valéria da Vinha, organizadores. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003, 6ª reimpressão, 318 p.

MCGREGORE, Richard. Só o carvão mata a sede de energia da China. **Valor Econômico**, São Paulo, Internacional, p.A11, 11 nov. 2007.

MCKINSEY & COMPANY. **Caminhos para uma economia de baixa emissão de carbono no Brasil**. [2009]. Disponível em: <www.mckinsey.com.br/sao_paulo/carbono.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2009.

MEADOWS, D. H. et al. **Limites do Crescimento**. Coleção Debates. São Paulo: Editora Perspectiva S.A., 1973, 203p.

MEIER, Gerald M.; STIGLITZ, Joseph E. **Fronteras de la economía del Desarrollo**: El futuro en perspectiva. Gerald M. Meier, Joseph E. Stiglitz/Editores. Bogotá: Banco Mundial en coedición con Alfaomega Colombiana S.A., 2002, 579 p.

MENDONÇA, Elisângela. Estímulo à reciclagem energética. **Recicláveis**. Notícia Eletrônica. 26 set. 2009. Disponível em: <www.reciclaveis.com.br/index.html>. Acesso em: 26 set. 2009.

MENEZES, Ricardo Augusto A. **Destinação final de resíduos urbanos**: Geração de energia renovável com Combustível Derivado dos Resíduos - CDR. Projeto Recife Energia. Apresentação. 2007. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br/noticentro/2007/10/recife_energia.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2009.

_____. Projeto Recife Energia: 1ª planta lixo-energia do Brasil. In: 3º Encontro Técnico da ABES-RJ, 28 a 30 jul. 2008, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos**... Rio de Janeiro. Disponível em: <www.getres.ufrj.br/sittrs/apresentacoes_iisitrs/29/3%20II%20SITTRS%20-%20KOMPAC.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2009.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). **O que são fundos C&T?** [200-?]. Disponível em :

<www.finep.gov.br/fundos_setoriais/fundos_setoriais_ini.asp?codSessaoFundos=1>. Acesso em: 12 set. 2009. Homepage institucional.

_____. **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa:** Relatórios de Referência. Emissões de Metano no Tratamento e na Disposição de Resíduos. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). Autores: Sônia Maria Manso Vieira e João Wagner Silva e equipe de apoio. 2006. Disponível em:

<www.mct.gov.br/index.php/content/view/57967.html>. Acesso em: 31 out. 2008.

_____. **Projetos MDL.** [2008]. Disponível em:

<www.mct.gov.br/index.php/content/view/57967.html>. Acesso em: 31 out. 2008. Homepage institucional.

_____. **Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo :** Última compilação do site da CQNUMC: 06 de fevereiro de 2009. Disponível em:

<www.mct.gov.br/upd_blob/0200/200842.pdf>. Acesso em: 30 maio 2009.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2006 (DMRSU 2006).** Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS). Brasília, jul. 2008. Disponível em: <www.snis.gov.br>. Acesso em: 28 out. 2008.a

_____. **Diagnóstico dos Serviços de Águas e Esgotos 2006 (DSAE 2006).** Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS). Brasília, dez. 2007. Disponível em: <www.snis.gov.br>. Acesso em: 28 out. 2008.

_____. **Gasto público em Saneamento Básico: Relatório de 2007.** Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA). Brasília, abr. 2008. Disponível em:

<www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/saneamento-ambiental/gasto-publico-em-saneamento/RELATORIO%20GASTO%20PUBLICO%202007_versao%20final_com_capa.pdf>. Acesso em: 30 out. 2008.b

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 3ª edição, Brasília, 2008. Disponível em: <www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/livro_atlas.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2009.a

_____. **Balço Energético Nacional 2007**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Relatório. [2007]. Disponível em: <ben.epe.gov.br>. Acesso em: 16 nov. 2008. Ano base 2006.a

_____. **Balço Energético Nacional 2008**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Relatório. [2008]. Disponível em: <www.epe.gov.br/PressReleases/20080508_1.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2008. Ano base 2007.b

_____. **Balço Energético Nacional 2009 : Resultados Preliminares**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Relatório. [2009]. Disponível em: <www.ben.epe.gov.br>. Acesso em: 6 jun. 2009. Ano base 2008.a

_____. **BIG – Banco de Informações de Geração**. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). 2009. Disponível em: <www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>. Acesso em: 6 jun. 2009.b

_____. 1º Leilão de Energia de Fontes Alternativas agrega 638,64 MW ao SIN. **Empresa de Pesquisa Energética (EPE)**. Notícia eletrônica. 2007. Disponível em: <www.epe.gov.br/PressReleases/20070618_1.pdf>. Acesso em: 21 nov.2007.b

_____. Leilão de Energia de Reserva negocia 2.379 MW de térmicas à biomassa. **Empresa de Pesquisa Energética (EPE)**. Notícia eletrônica. 2008. Disponível em: <www.epe.gov.br/PressReleases/20080814_1.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2008.c

_____. **Nota Técnica DEN 06/08 : Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Nov. 2008. Rio de Janeiro. Disponível em: <www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20081208_1.pdf>. Acesso em: 27 set. 2009.d

_____. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2008/2017**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2008. 2 v.: il. Disponível em: <www.epe.gov.br>. Acesso em: 13 jun.2008.e

_____. **Plano Nacional de Energia 2030**. Cadernos temáticos. Colaboração: Empresa de Pesquisa Energética . Brasília : MME : EPE, 2007. 12 v. : il. Disponível em: <www.epe.gov.br>. Acesso em: 21 nov. 2008.c

_____. **Plano Nacional de Energia 2030**. Integra do relatório. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2007, 408p. Disponível em: <www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 21 nov. 2008.d

MIRANDA, Marie Lynn; HALE, Brack. Waste not, want not: the private and social costs of waste-to-energy production. **Energy Policy**, Elsevier, Amsterdam, vol.25, nº 6, p. 587-600, 1997. Disponível em: <www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/30414/description#description>. Acesso em: 22 jan. 2009.

MONTEIRO, Jose Henrique Penido et al. **Manual on municipal solid waste integrated management in Latin American and Caribbean cities**. Updated and adapted by Gilson Leite Mansur and José Henrique Penido Monteiro; technical coordination by Karin Segala; translation by Liliana Battipede and David Reed. Montevideo: International Development Research Centre (IDRC), 2008.264p. Adapted from: Manual gerenciamento integrado de resíduos sólidos, 2001. Disponível em: <www.idrc.ca/en/ev-105372-201-1-DO_TOPIC.html>. Acesso em: 18 mar. 2009.

MONTOIA, Paulo. **Água, o “Ouro Azul” do nosso século**. Livros didáticos/projetos. Editora Moderna. [2006]. Disponível em: <www.moderna.com.br/moderna/didaticos/projeto/2006/1/aquifero/> Acesso em: 13 jun. 2009.

MOREIRA, Marco Aurélio Ribeiro Gonçalves. **Potencial de Mercado de Eficiência Energética no Setor de Água e Esgoto no Brasil**. 2006, 280p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético), COOPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em <www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/mamoreira.pdf>. Acesso em: 29 out.2008.

MORGAN STANLEY. **Doing Good**: Nostra Terra, Nostra Navis (“Our Earth, Our Ship”). Global Wealth Management. Fev. 2007. Disponível em: <www.morganstanley.com/global/In-depth-Report-Doing-Good-Nostra-Terra-Nostra-Navis.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2008.

MORRISSEY, A.J.; BROWNE J. Waste Management Models and their Application to Sustainable Waste Management. **Waste Management**, Elsevier, Amsterdam, v.24, p. 297–308, 2004. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/wasman>. Acesso em: 27 jan. 2009.

MUNICÍPIOS têm prazo para implantação de sistemas de disposição de resíduos. **Minas on line**. Portal Meio ambiente. MG. FEAM. Notícia eletrônica. [2008]. Disponível em: <www.feam.br/index.php?option=com_content&task=view&id=481&Itemid=128>. Acesso em: 31 out. 2008.

MURPHY, J.D.; MCKEOGH, E. Technical, economic and environmental analysis of energy production from municipal solid waste. **Renewable Energy**, Elsevier, Amsterdam, v. 29, p. 1043–1057, 2004. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/renene>. Acesso em: 27 set. 2008.

NAIME, Roberto. **Gestão de resíduos sólidos: uma abordagem prática**. Novo Hamburgo: FEEVALE, 2004, 134 p.

NARAYANA, Tapan. **Municipal solid waste management in India: From waste disposal to recovery of resources?** **Waste Management**, Elsevier, Amsterdam, v. 29, Issue 3, pg. 1163-1166, mar. 2009. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/wasman>. Acesso em: 25 jun. 2009.

NARLOCH, Leandro. Onde está o efeito estufa? **Veja**. Ed. 2095, Ambiente, p.62, 14 jan. 2009.

NILSSON, Kjell. Energy from Waste. In: ISWA Annual Congress 1999. Ategrus XXV Anniversary Conference. Oviedo, Espanha. 26-28, maio 1999. **Anais eletrônicos...** Oviedo. Disponível em: <www.iswa.org/en/76/publications.html>. Acesso em: 24 mar. 2009.

NOVO Gramacho inaugura a Usina de Biogás do Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho. **Portal Fator Brasil**. Notícia Eletrônica. 6 jun. 2009. Disponível em: <www.revistafatorbrasil.com.br/ver_noticia.php?not=80060>. Acesso em: 1 ago. 2009.

O QUE FAZER com seu lixo. **Zero Hora**. 8 maio 2009. Reportagem eletrônica. Disponível em: <www.clicrbs.com.br/zerohora/jsp/default.jsp?uf=1&local=1&action=getBairrosMateria&newsID=a2502049.xml&treeName=Bairros§ion=bairros&origem=bairros>. Acesso em: 25 jul. 2009.

OLIVEIRA, Luciano Basto. **Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil**. [Rio de Janeiro] 2004 X, 237 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Planejamento Energético, 2004) Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Disponível em: <homologa.ambiente.sp.gov.br/biogas/docs/artigos_dissertacoes/oliveira.pdf>. Acesso em: 20 set. 2008.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **SIN – Sistema Interligado Nacional**. Disponível em: <www.ons.org.br>. Acesso em: 17 nov. 2008. Homepage institucional.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Agenda 21**. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD). Disponível em: <www.ecolnews.com.br/agenda21/index.htm>. Acesso em: 7 mar. 2009.

_____. **Protocolo de Quioto**. 1997. Disponível em: <www.mct.gov.br/index.php/content/view/17331.html>. Acesso em: 30 maio 2009.

PAÍS desperdiça 1 milhão de m³ de biogás por dia. **Último Segundo**. Notícia Eletrônica. 22 abr. 2009. Disponível em: <ultimosegundo.ig.com.br/economia/2009/04/22/pais+desperdica+1+milhao+de+m+de+biogas+por+dia+5667942.html>. Acesso em: 20 ago. 2009.

PAIVA, Aerton. **SUCESU- 2008** : Sustentabilidade: Releitura e Desafios na da Cadeia de Tecnologia de Informação – GREEN IT. Disponível em: <www.sucesusp.org.br/mailling2008/congresso/tiverde/apresentacoes/APEL.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2009.

PALLONE, Simone. **Resíduo eletrônico**: redução, reutilização, reciclagem e recuperação. Proyecto Iberoamericano de Divulgación Científica. [2008 ou 2009]. Disponível em: <www.comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edicao=32&id=379>. Acesso em: 12 ago. 2009.

PEARCE, David; TURNER, R. Derry. **Market-based approaches to solid waste management**. Centre for Social and Economic Research on the Global Environment (CSERGE). University College London and University of East Anglia. 1992. Disponível em: <www.uea.ac.uk/env/cserge/pub/wp/wm/wm_1992_02.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2009.

PELLACANI, Christian Rodrigo. **Poluição das águas doces superficiais & responsabilidade civil**. 1ª Ed.(2005), 3ª reimpressão. Curitiba: Juruá, 2007, 138p.

PEREIRA, Pedro Antunes. Aterro sanitário transformado em ecoparque. **Jornal de Notícias**. Notícia Eletrônica. Portugal. 13 jul. 2009. Disponível em: <jn.sapo.pt/paginainicial/pais/concelho.aspx?Distrito=Braga&Concelho=Braga&Option=Interior&content_id=1306361>. Acesso em 24 jul. 2009.

PIEROBON , Luís Ricardo Pedra. **Sistema de Geração de Energia de Baixo Custo Utilizando Biogás Proveniente de Aterro Sanitário**. Tese para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, da Escola de Engenharia da UFRGS. Porto Alegre, abr. 2007. Disponível em: <www.lume.ufrgs.br/handle/10183/10867>. Acesso em: 20 set. 2008.

PINHEIRO, Andrea. Um mercado que vale mais de R\$ 17 bilhões por ano. **Diário de Pernambuco**. Notícia Eletrônica. 12 jul. 2009. Disponível em: <www.diariodepernambuco.com.br/includes/imprimir.asp?url=http://www.diariodepernambuco.com.br/2009/07/12/politica1_0.asp>. Acesso em 20 ago.2009.

PINTO JUNIOR, Helder Queiroz. **Economia da Energia**: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial. Rio de Janeiro : Elsevier, 2007. 3ª reimpressão. 343 p.

POLUIÇÃO na China é ameaça para economia. **Valor Econômico**, São Paulo, Internacional, p.A14, 19 jul. 2007.

PORTAL AMAZÔNIA. Manaus pode proibir distribuição de panfletos e folhetos. **O Globo**. Notícia Eletrônica. País. 3 abr. 2009. Disponível em: <oglobo.globo.com/pais/cidades/mat/2009/04/03/manaus-pode-proibir-distribuicao-de-panfletos-folhetos-755128295.asp>. Acesso em: 25 jul. 2009.

PORTEOUS, Andrew. Energy from waste incineration — a state of the art emissions review with an emphasis on public acceptability. **Applied Energy**, Elsevier, Amsterdam, v.70, p.157–167, 2001. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/apenergy>. Acesso em: 27 set. 2008.

PREFEITOS aderem a plano de gestão integrada para resíduos sólidos. **Primeira Edição**. Notícia Eletrônica. 30 mar. 2009. Disponível em: <www.primeiraedicao.com.br/?pag=alagoas&cod=8246>. Acesso em: 25 jul. 2009.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE (PMPA). Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU). **Gestão de resíduos**. [2009]. Disponível em: <www.portoalegre.rs.gov.br/>. Acesso em: 25 jul. 2009. Homepage institucional.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (PMSP). [2009]. **Programa de coleta seletiva**: participe. Limpurb. Disponível em: <www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/servicos/limpurb/coleta_seletiva/index.php?p=4623>. Acesso em: 20 jun. 2009. Homepage institucional.

PREFEITURA vai fazer consórcio para tratamento do Lixo. **Correio dos Lagos**. Notícia Eletrônica. 20 maio 2009. Disponível em: <www.correiodoslagos.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=2785&Itemid=33>. Acesso em: 25 jul. 2009.

PROCKNOR, Celso. **Cogeração de energia a bagaço de cana no estado de São Paulo**.

Assembléia Legislativa de São Paulo. 1 out. 2007. Disponível em: <www.saneamento.sp.gov.br/bio_apresen/Celso%20Zanatto.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2009.

PROINFA: empreendimentos atrasados têm até 28 de fevereiro para entrar em operação [mensagem pessoal]. Newsletter recebida de <www.canalenergia.com.br> por <mgodecke@yahoo.com.br> em 23 jan. 2009.

QUASE 500 MIL toneladas de pneus. **O ECO**. Notícia eletrônica. 17 jul. 2009. Disponível em: <www.oeco.com.br/curtas/38-curtas/22151-quase-500-toneladas-de-pneus>. Acesso em: 18 ago. 2009.

RAGWITZ, Mario et al. **Monitoring and Evaluation of Policy Instruments to Support Renewable Electricity in EU Member States**. Fraunhofer Institute Systems and Innovation Research. Energy Economics Group (EEG). 2005. Disponível em: <www.bmu.de/files/erneuerbare_energien/downloads/application/pdf/isi_zwischenbericht.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2009.

RECOVERED ENERGY INC. **Perguntas Frequentes**. [2009?]. Disponível em: <www.lastrocom.com.br/recovery_energy/faq.htm>. Acesso em: 2 ago. 2009. Homepage institucional.

REDE para o desenvolvimento. **Valor Econômico**, Valor Setorial: saneamento, São Paulo, dez. 2008. Encarte de edição.

REICHERT, Geraldo Antonio. III-242 – Aplicação da Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos: uma revisão. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 18 - 23 set. 2005, Campo Grande/MS. **Anais eletrônicos**...Campo Grande. Disponível em: <www.scribd.com/doc/2364272/Aplicacao-da-digestao-anaerobia-de-residuos-solidos-urbanos-uma-revisao>. Acesso em: 20 set. 2008.

RICO, Bruno. Brasil recicla 45% do seu papel, mas há déficit na coleta, apontam entidades. **Ecologiaemdestaque**. Notícia Eletrônica. 05 jun. 2009. Disponível em: <ultimosegundo.ig.com.br/brasil/2009/06/05/brasil+recicla+45+do+seu+papel+mas+ha+deficit+na+coleta+apontam+entidades+6545979.html>. Acesso em: 30 ago. 2009.

RODRIGUES, Rafael; FARIA, José. **Aproveitamento de biogás como fonte de energia alternativa para produção de energia eléctrica**. DEEA – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. [2001?]. Disponível em: <www.deetc.isel.ipl.pt/jetc05/CCTE02/papers/finais/fortes/23.PDF>. Acesso em: 2 mar. 2009.

ROCHA, G.E.M.; HORTA, J.C.M. **Parcerias Público-Privadas** : Guia Legal para

Empresários, Executivos e Agentes de Governo. Azevedo Sette Advogados. Coleção Direito Prático. Belo Horizonte: Prax Editora, 2005. 100p.

ROSAS, Rafael. Governo prepara leilão de oito hidrelétricas em 2009. **Valor Econômico**, São Paulo, Brasil, p.A4, 2 out. 2008.a

_____. PIB pode crescer mais com menor consumo de energia, avalia EPE. **Valor Econômico**, São Paulo, Brasil, p.A2, 17 abr.2008.b

ROSEMBLUM, Célia. Material reciclado ganha espaço nas linhas de produção da HP. **Valor Econômico**, São Paulo, Especial: Negócios Sustentáveis, p.F4, 27 maio 2009.

SABIÁ, Rodolfo José, et al. III-045 – Estudo da geração de energia a partir dos resíduos sólidos. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 18 – 23. Set. 2005. Campo Grande (MS). **Anais eletrônicos...**Campo Grande. Disponível em: <www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/III-045.pdf>. Acesso em: 25 set. 2009.

SANTIN, Maria Fernanda Cavaliéri de Lima. **Os impactos da demanda por crédito de carbono sobre o mercado de Certificações de Reduções de Emissões no Brasil, no âmbito do Protocolo de Quioto**. Dissertação de Mestrado em Economia. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007. Disponível em: <tede.pucrs.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1122>. Acesso em: 19 mar. 2008.

SÃO PAULO terá centro público de reciclagem de lixo eletrônico. **Ecologiaemdestaque**. Notícia Eletrônica. 29 maio 2009. Disponível em: <ecologiaemdestaque.blogspot.com/2009/05/sao-paulo-tera-o-primeiro-centro.html>. Acesso em: 29 jul. 2009.

SARAIVA, Jacílio. Motor de Idéias. **Valor Econômico**, São Paulo, Valor Especial: Responsabilidade Social e Inovação, p.F1, 18 out. 2007.

SATO, Carlos Eduardo. **Viabilidade de projetos de MDL para geração de energia em aterros sanitários** : estudo de caso do Município de Itajubá-MG. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia. Universidade Federal de Itajubá. Maio 2009. 139 p. Disponível em: <homologa.ambiente.sp.gov.br/biogas/publicacoes.asp>. Acesso em: 31 ago. 2009.

SIQUEIRA, Flavio Leoni. Os fundos brasileiros e o mercado de carbono. **Valor Econômico**, São Paulo, Eu & Investimentos, p.D2, 28 abr.2009.

SOUSA, Tiago A. et al. Estudo do Panorama das Energias Renováveis na União Européia e Sugestões para Portugal. In: ENER'05 – Conferência sobre Energias Renováveis e Ambiente. Portugal, 5-7 maio 2005. **Anais eletrônicos...** Portugal. Disponível em: <repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/1866/1/ENER-05_ER.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2008.

SOUZA, Zilmar. Geração Distribuída deve ser estimulada como forma de contratação no ACR. **Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL)**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Artigo Eletrônico. 1 set. 2009. Disponível em: <www.nuca.ie.ufrj.br/blogs/gesel-ufrj/index.php/?archives/4560-Artigo-de-Zilmar-Souza-Geraco-Distribuida-deve-ser-estimulada-como-forma-de-contratacao-no-ACR.html >. Acesso em: 13 set. 2009.

SPINOSA, L. Sewage Sludge processing in view of its combined management with municipal solid wastes. In: ISWA World Congress 2000 and beyond: which choices for waste management, 3 - 7 Jul, 2000, Paris. **Anais eletrônicos...** Paris. Disponível em: <www.iswa.org/en/76/publications.html >. Acesso em: 25 jan.2009

STERN, Sir Nicholas et al. **The Economics of Climate Change: The Stern Review**. British Government. 2006. Disponível em: <mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/sternreview_report_complete.pdf >. Acesso em: 24 fev. 2009.

STRICKLAND, Jonathan. **Como funcionam os conversores de plasma**. Informação eletrônica traduzida por HowStuffWorks Brasil. Disponível em: <ciencia.hsw.uol.com.br/conversor-de-plasma3.htm>. Acesso em: 2 ago. 2009.

TECNOLOGIA pioneira na AL. **O Diário Maringá**. Notícia Eletrônica. 16 jun. 2009. Disponível em: <odiariomaringa.com.br/noticia/219391>. Acesso em: 2 ago. 2009.

TEIXEIRA, Fernando. Grupos focam em negócios com lixo. **Valor Econômico**, São Paulo, Empresas, indústria, p.B7, 27 ago. 2009.

THEMELIS, Nickolas J. An overview of the global waste-to-energy industry. **Earthscan – Article**. 1 jul. 2003. Disponível em: <www.seas.columbia.edu/earth/papers/global_waste_to_energy.html> Acesso em: 26 set. 2009.

TERZIAN, Françoise . Bavária é modelo no tratamento de lixo. **Valor Econômico**, São Paulo, Especial: negócios sustentáveis, p.F4, 29 maio 2008.

THOMAS, Janet M. **Economia Ambiental** : fundamentos, políticas e aplicações. Janet M. Thomas, Scott J. Callan. São Paulo : Cengage Learning, 2010. 556 p.

TOLMASQUIM, Maurício Tiomno et al. **Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil**. Maurício Tiomno Tolmasquim, coordenador. Rio de Janeiro : Relume Dumará : COPPE : CENERGIA, 2004. 487 p.

_____. **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Maurício Tiomno Tolmasquim, coordenador. Rio de Janeiro : Interciência : CENERGIA, 2003. 515 p.

UNIÃO EUROPEIA (UE). **DIRETIVA 1999/31/EC**, de 26 abr. 1999. Dispôs sobre requisitos para aterros. Disponível em: <ec.europa.eu/environment/waste/landfill_index.htm>. Acesso em: 31 out. 2008.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Approved Baseline and Monitoring Methodologie**. [2009]. Disponível em: <cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/approved.html>. Acesso em: 31 maio 2009. Homepage institucional.a

_____. **FCCC/AWGLCA/2009/8**. Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action Under the Convention. 19 maio 2009. Disponível em: <unfccc.int/resource/docs/2009/awglca6/eng/08.pdf>. Acesso em: 30 maio 2009.b

_____. **List of DOEs**. Designated Operational Entities. [2009]. Disponível em: <cdm.unfccc.int/DOE/list>. Acesso em: 30 maio 2009. Homepage institucional .c

_____. **Registration**. [2009]. Disponível em: <cdm.unfccc.int/Statistics/Registration/NumOfRegisteredProjByHostPartiesPieChart.html> Acesso em: 31 maio 2009. Homepage institucional.d

_____. **Registry Systems under the Kyoto**. [2009]. Disponível em: <unfccc.int/kyoto_protocol/registry_systems/items/2723.php>. Acesso em: 31 maio 2009. Homepage institucional.e

USINA DE lixo economizará bilhões de litros de água. **Paranáonline**. Notícia eletrônica. 29 maio 2009. Disponível em: <www.parana-online.com.br/editoria/cidades/news/369788/?noticia=USINA+DE+LIXO+ECONOMIZARA+BILHOES+DE+LITROS+DE+AGUA>. Acesso em: 1 ago. 2009.

USINA SÓ sai do papel se gerar energia. **Protefer**. Notícia eletrônica de 11 dez. 2008.

Disponível em: <www.protefer.com/noticias.php?ver=1068>. Acesso em: 25 dez. 2008.

USINAVERDE S/A. **Módulo Comercial Usinaverde**. [2008?][mensagem pessoal]. Recebido por <mgodecke@yahoo.com.br> em 2 jul. 2008. Resumo disponível em: <www.usinaverde.com.br> Acesso em: 2 jul. 2008. Homepage institucional.a

_____. **Projeto Usinaverde**: reciclagem energética de resíduos sólidos urbanos. [2008?][mensagem pessoal]. Recebido por <mgodecke@yahoo.com.br> em 2 jul. 2008. Resumo disponível em: <www.usinaverde.com.br> Acesso em: 23 nov. 2007. Homepage institucional.b

VIANA, G.; SILVA, M.; DINIZ, N. (Org.). **O desafio da sustentabilidade**: um debate socioambiental no Brasil. São Paulo: Perseu Abramo, 2001. 364 p.

VIMEO. **Gasificación por plasma**. [2009?]. Disponível em: <www.vimeo.com/2612418>. Acesso em: 2 ago. 2009. Homepage institucional.

WOLOWSKI, Miroel. Apresentação COGEN. **Cogeração de Energia à Bagaço de Cana no Estado de São Paulo: potencialidade & entraves & oportunidades**. Assembléia legislativa do Estado de São Paulo. 01 out.2007. Disponível em: <www.saneamento.sp.gov.br/bio_apresen/Miroel.pdf> acesso em 27 set. 2009.

YUMKELLA, Kandeh K. Esperança para a energia renovável. **Valor Econômico**, São Paulo, p.A13, 13 out. 2009.