

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

**O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: AS CAUSAS DO  
SUBAPROVEITAMENTO DO BIOGÁS DE ATERRO  
SANITÁRIO NO BRASIL**

ANA PAULA SANTOS DELFINO  
Matrícula nº: 111214142

ORIENTADOR (A): Prof. Dr. José Vitor Bomtempo

ABRIL 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

**O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: AS CAUSAS DO  
SUBAPROVEITAMENTO DO BIOGÁS DE ATERRO  
SANITÁRIO NO BRASIL**

---

ANA PAULA SANTOS DELFINO  
Matrícula n°: 111214142

ORIENTADOR (A): Prof. Dr. José Vitor Bomtempo

ABRIL 2016

*As opiniões expressas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(a) autor(a)*

À minha mãe, Maria.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus e minha família, em especial minha mãe e meu irmão por todo apoio para a realização desse sonho.

Um agradecimento especial para Luiza Campelo e sua mãe Ana, que me ajudaram imensamente mesmo sem me conhecer.

Agradeço a todos os professores, colegas e funcionário do Instituto de Economia que contribuíram, direta ou indiretamente, para minha formação. Agradeço eternamente as minhas companheiras de jornada Tatiana e Sandra por todo apoio e amizade, e ao Lucas por toda sua dedicação e amizade. Agradeço ao Marco e a Geane pelo companheirismo.

Agradeço ao apoio Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-21) pelo fomento que me proporcionou a tranquilidade necessária para o prosseguimento adequado da pesquisa e o aprimoramento dos conhecimentos na área de energia, bem como o contato com especialistas extremamente gabaritados da área. Agradeço ao prof. José Vitor pela orientação e ajuda na realização deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos os cidadãos brasileiros.

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise das causas do subaproveitamento do biogás de Aterro Sanitário no Brasil, tendo como linha de investigação os Instrumentos Econômicos utilizados para incentivar o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Apesar do aproveitamento energético dos RSU no Brasil se encontrar muito aquém do potencial identificado, a importância do estudo deste tema transcende a ótica energética. A destinação dos resíduos é um dos maiores problemas enfrentados pelas sociedades atuais. Mesmo com uma legislação mais restritiva (Lei 12.305/2010) há um grande desafio para se efetivar o disposto em lei, isto é, a sustentabilidade social, ambiental e financeira do manejo dos resíduos. A valorização energética dos RSU se insere dentro dessa estratégia de gestão sustentável dos resíduos, já que alia benefícios econômicos e socioambientais com a geração de energia, através de um insumo alternativo e renovável, e destinação ambientalmente adequada dos resíduos. Este trabalho foi elaborado a partir do desenvolvimento de *links* entre a teoria econômica, a legislação brasileira e as práticas no setor energético e de gestão e gerenciamento de resíduos urbanos que dificultam e/ou que incentivam a efetivação do potencial energético dos RSU. Os resultados deste trabalho mostram que o subaproveitamento têm várias origens, dentre elas: o fato da valorização energética dos RSU ser atividade nova em mercados muito específicos, na qual gestores públicos não tem experiência e conhecimento técnico; e a ausência de políticas públicas específicas para o aproveitamento energético dos RSU.

## SÍMBOLOS, ABREVIATURAS, SIGLAS E CONVENÇÕES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABREPEL	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
EUA	Estados Unidos da América
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IPTU	Imposto sobre a propriedade predial e territorial urbana
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GDL	Gás de Lixo
kW	Quilowatt ou kilowatt
MMA	Ministério de Meio Ambiente
MW	Megawatt
MWp	Megawatt – pico
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Base legal para a gestão dos RSU no Brasil.....	26
Figura 2. Processo de Biodigestão Anaeróbica .....	56
Figura 3. Sistemas de recuperação de GDL.....	59
Figura 4. Tipos de Leilão.....	76

## LISTAS DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Geração de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, em toneladas por dia .....	19
Gráfico 2. Índice de geração de RSU (kg/hab/dia).....	19
Gráfico 3. Índice de RSU por região (kg/hab/dia), em 2014.....	20
Gráfico 4. Índice de cobertura de coleta.....	20
Gráfico 5. Índice de cobertura de coleta por região, em 2014.....	21
Gráfico 6. Destinação final dos RSU em países selecionados.....	21
Gráfico 7. Destinação final dos RSU em países selecionados.....	22
Gráfico 8. Nível ótimo de geração de RSU .....	39
Gráfico 9. Taxa Piguviana .....	43
Gráfico 10. Evolução típica da produção de biogás em aterro sanitário.....	57
Gráfico 11. Custo Unitário de Operação e Manutenção de Aterros Sanitários .....	66
Gráfico 12. Investimento em R\$/MW por regiões do país e o valor presente líquido médio em R\$ MM .....	67



## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Variação da população, PIB, renda e geração de RSU .....	18
Tabela 2. Dados Econômicos, populacionais e de geração de RSU por região, em 2010 .....	18
Tabela 3. Destinação dos RSU por região, em 2014 .....	22
Tabela 4. Composição gravimétrica dos RSU, em 2008 .....	23
Tabela 5. Existência e sistemas de cobrança pelo serviço de gerenciamento de RSU no Brasil, em % .....	25
Tabela 6. Natureza jurídica dos órgãos gestores do manejo de RSU segundo porte dos municípios selecionados. .....	31
Tabela 7. Potencial de geração de eletricidade com Resíduos Sólidos Urbanos .....	32
Tabela 8. Empreendimentos com geração de eletricidade a partir de RSU .....	33
Tabela 9. Síntese dos Instrumentos de Política Ambiental e sua utilização no Brasil .....	48
Tabela 10. Instrumentos Econômicos de incentivo à geração de energia renovável .....	49
Tabela 11. Vantagens e desvantagens dos IEs para incentivar a geração de energia .....	53
Tabela 12. Quantidade de insumo para a produção de energia equivalente a 1 Nm <sup>3</sup> de biogás .....	58
Tabela 13. Potencial de geração de eletricidade a partir de biogás de Aterro Sanitário por região .....	70
Tabela 14. Síntese dos Instrumentos Econômicos usados para incentivar o desenvolvimento do GDL .....	78

## Sumário

INTRODUÇÃO.....	11
CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	11
PERGUNTA CENTRAL.....	14
OBJETIVOS.....	14
METODOLOGIA.....	15
ESTRUTURA.....	16
CAPÍTULO I - PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL.....	17
I.1 GERAÇÃO.....	18
I.2 COLETA.....	20
I.3 DESTINAÇÃO FINAL.....	21
I.4 COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA.....	23
I.5 DADOS ECONÔMICOS DO GERENCIAMENTO DE RSU NO BRASIL.....	24
I.6 ARCABOUÇO LEGAL PARA A GESTÃO DOS RSU.....	25
I.7 GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS NO BRASIL.....	30
I.8 O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RSU NO BRASIL.....	31
I.9 DIRETRIZES DA POLÍTICA ENERGÉTICA PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RSU	34
CAPÍTULO II - TEORIA ECONÔMICA NEOCLÁSSICA E A GESTÃO E O GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	36
II.1 NÍVEL ÓTIMO DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS.....	37
II.2 OS INSTRUMENTOS DE POLÍTICA AMBIENTAL E A GESTÃO DE RSU.....	41
II.2.1 Taxa de Coleta por volume de resíduo gerado (Unit Pricing).....	42
II.2.2 IPTU VERDE: incentivo de redução e separação dos resíduos.....	45
II.2.3 Taxa sobre a destinação final em Aterro Sanitário.....	46
II.2.4 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e geração de Crédito de Carbono.....	47
II.3 OS INSTRUMENTOS ECONÔMICOS E O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RSU.....	48
II.3.1 Subsídio Financeiro.....	49
II.3.2 Incentivos Fiscais.....	50
II.3.3 Feed-in tariffs.....	50
II.3.4 Sistema de Leilão (Tender System).....	51
II.3.5 Sistema de Quotas com certificados verdes.....	52
CAPÍTULO III - ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E INSTITUCIONAIS DO BIOGÁS DE ATERRO SANITÁRIO.....	54
III.1 ASPECTOS TÉCNICOS.....	54
III.1.1 O Aterro sanitário.....	55

III.1.2	Formação do Gás de Lixo no aterro .....	55
III.1.3	Aspectos físicos e químicos do GDL .....	57
III.1.4	Planta de GDL: Sistemas de coleta, tratamento e recuperação do biogás de aterro.....	58
III.2	ASPECTOS ECONÔMICOS: CUSTOS, DEMANDAS E OFERTAS .....	64
III.2.1	Demandas e Custos .....	65
III.2.2	Oferta do Biogás .....	68
III.3	ASPECTOS INSTITUCIONAIS: A APLICAÇÃO DE INSTRUMENTOS ECONÔMICOS PARA O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RSU, VIA ATERRO SANITÁRIO NO BRASIL.....	71
	CONCLUSÃO.....	80
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	84

# INTRODUÇÃO

## CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

O mundo abriga cerca de sete bilhões de habitantes que geram e descartam resíduos todos os dias. Estes quando dispostos de maneira inadequada podem trazer inúmeros impactos ambientais e sociais negativos. Neste contexto a destinação final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é um dos maiores problemas enfrentados pelas sociedades contemporâneas.

O rápido crescimento da população urbana tem impacto no uso da terra e gera desafios de infraestrutura, incluindo a gerenciamento dos RSU. Para ilustrar a dimensão que a urbanização representa para a geração de resíduos sólidos urbanos, hoje, mais de 50% da população mundial vive nas cidades. Com a acelerada taxa crescimento da urbanização, a previsão para 2050 é que este percentual atinja aproximadamente 86% nos países desenvolvidos e 64% nos países em desenvolvimento. Brasil e EUA, hoje com taxas elevadas de urbanização, poderão ultrapassar 90% em 2050 (BANCO MUNDIAL, 2012; UNPD, 2012).

No contexto global, as cidades geram cerca de 1,3 bilhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos por ano. Além disso, as taxas de geração de resíduos irão mais que dobrar nos próximos vinte anos nos países em desenvolvimento. Nesta perspectiva espera-se que em 2025 o volume gerado de resíduos cresça para 2,2 bilhões de toneladas por ano. Globalmente, a gestão de resíduos sólidos custa anualmente cerca de 205,4 bilhões de dólares e em 2025 a expectativa é que este valor aumente para 375,5 bilhões de dólares (BANCO MUNDIAL, 2012).

No Brasil, assim como na maioria dos países em desenvolvimento, as administrações públicas não têm tratado os RSU de maneira mais avançada, em termos de tecnologia, desperdiçando o seu enorme potencial social, material e econômico, desde a oferta de trabalho até seu reaproveitamento como matéria-prima e energia.

No atual modelo de desenvolvimento econômico capitalista, onde se inserem de forma bastante evidente as questões relacionadas ao desenvolvimento sustentável, o tratamento dos RSU como matéria-prima para a geração de energia apresenta-se como uma excelente oportunidade tanto como alternativa complementar da matriz energética, com a produção de

energia limpa e renovável, equilibrando a utilização de recursos energéticos, quanto como de sustentabilidade econômica, compartilhando os ganhos sociais advindos da aplicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

O ano de 2014 foi um ano importante para o Brasil, pois neste ano encerrou-se o prazo previsto pela lei 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos Urbanos (PNRS), para que os municípios estabelecessem a disposição ambientalmente adequada dos resíduos, o que implicaria a viabilização do aproveitamento e recuperação dos resíduos e encaminhamento apenas dos rejeitos aos aterros sanitários, cessando o uso dos lixões e aterros controlados. Entretanto, em 2014, os resíduos coletados em cerca de 60% dos municípios brasileiros foram dispostos inadequadamente. Isso significa que, em 2014, 42% (cerca 90 mil toneladas diárias) dos RSU tiveram como destino aterros controlados e lixões (ABRELPE, 2015). Mostra-se assim que ainda há um grande desafio para a efetivação da gestão sustentável dos RSU, assim como proposto na lei 12.305/2010.

A gestão sustentável dos resíduos sólidos urbanos pressupõe uma abordagem que tenha como referência o princípio dos 3R's (Reduzir, Reutilizar e Reciclar). A PNRS segue tal princípio e tem como diretriz que a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos devem observar a seguinte ordem de prioridade: 1. Não geração; 2. Redução; 3. Reutilização; 4. Reciclagem; 5. Tratamento dos resíduos sólidos; 6. Disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Para muitas cidades, porém, a redução ou não geração da geração de resíduos significa diminuir a atividade econômica, podendo comprometer o desenvolvimento econômico do país, o que não é uma opção atraente. Além disso, a composição gravimétrica dos resíduos sólidos brasileiros revela que o problema da destinação final dos resíduos não pode ser sanado apenas com a reciclagem (MMA, 2011). Ainda que o nível de reciclagem chegue a 100%, mais de 50% dos resíduos produzidos no país não podem ser reciclados. Ademais, o reuso de materiais nem sempre é possível. Portanto, é imperativo pensar e criar alternativas que envolvam outras formas de tratamento dos resíduos. Uma dessas alternativas é o aproveitamento energético.

As energias renováveis seguem cada vez mais necessárias para o desenvolvimento sustentável e eficiência energética em vários países do mundo, inclusive no Brasil. A matriz elétrica brasileira apresenta uma estrutura de participação de fontes renováveis versus não renováveis inversa em relação à matriz mundial, pois cerca de 74,6% da matriz brasileira é de

fontes renováveis, enquanto a matriz elétrica mundial detém somente 21,2% de participação em energias renováveis (EPE, 2015). Entretanto, a matriz brasileira ainda é predominantemente hidrelétrica, e com a restrição a construção de novas hidrelétricas para manter a participação das renováveis na matriz energética a diversificação das fontes energéticas renováveis é essencial. Tal diversificação abre espaço para a efetiva inserção dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) na matriz energética brasileira.

Dentre as diversas tecnologias existentes para o aproveitamento energético dos RSU, o Biogás de Aterro Sanitário é o único tipo em operação no Brasil. Trata-se de uma energia renovável altamente complementar à outras tecnologias, que é produzida próxima a grandes centros de consumo, mitigando perdas e custos de transmissão. Ademais, o GDL (Gás de Lixo) se apresenta como uma alternativa interessante, no curto e médio prazos, para os gases produzidos em boa parte dos aterros já existentes e é condizente com as diretrizes do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2011).

Existem duas justificativas principais para o aproveitamento energético do GDL. A primeira justificativa se deve ao enquadramento nos quesitos de desenvolvimento econômico sustentável. Já a segunda é o grande potencial inexplorado no país.

O Biogás de Aterro Sanitário (também conhecido do Gás de Lixo – GDL) se enquadra nos quesitos de desenvolvimento econômico sustentável, já que alia os benefícios econômicos e socioambientais com a geração de energia através de um insumo alternativo e renovável. A geração de energia a partir de RSU também tem um significativo potencial de contribuir para a diminuição dos impactos das mudanças globais do clima. A simples queima do principal componente do biogás, gás metano ( $\text{CH}_4$ ), apesar de poluente, representa um benefício ambiental perante sua emissão, visto que o mesmo é 21 vezes mais poluente que o dióxido de carbono em termos de efeito estufa (EPE, 2014).

O potencial de aproveitamento energético de resíduos urbanos é grande. A EPE (2007) estima para 2030 um potencial de geração de eletricidade com Resíduos Urbanos de 17.550 MW, sendo 15% destes correspondentes ao Biogás de Aterro. Apesar do grande potencial de exploração dos RSU para geração de energia, este não vem sendo aproveitado. . A única forma de aproveitamento energético dos RSU já explorada no Brasil é através da geração do GDL, mesmo assim este corresponde a apenas 0,05% (75,5 MW) da capacidade instalada de geração de eletricidade, usando somente cerca um terço do potencial existente (ANEEL, 2016).

Portanto, faz-se necessário realizar uma análise das possíveis razões de o aproveitamento energético do Biogás de Aterro Sanitário no Brasil situar-se atualmente bastante aquém do potencial identificado. Uma forma de investigar as causas desse subaproveitamento é analisar as políticas de incentivo existentes para promover o desenvolvimento do GDL. A identificação de lacunas nessas políticas é de suma importância para criar políticas que possibilitem a inserção efetiva do Biogás de Aterro Sanitário na matriz energética brasileira.

## **PERGUNTA CENTRAL**

O biogás de aterro sanitário é uma energia renovável, que atende tanto os requisitos de desenvolvimento sustentável quanto da legislação brasileira, porém se encontra muito aquém do potencial energético verificado. Por quê?

## **OBJETIVOS**

### **➤ Objetivo geral:**

Subsidiar a formulação de estratégias para a efetiva inserção dos Resíduos Sólidos Urbanos como fonte na matriz energética.

### **➤ Objetivos específicos:**

1. Analisar a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, de forma a identificar os problemas no gerenciamento de resíduos que podem dificultar o aproveitamento energético dos RSU;

2. Apresentar os aspectos da Teoria Econômica que abordam a questão dos resíduos, destacando alguns Instrumentos Econômicos e de Política Ambiental aplicados à gestão e ao gerenciamento de RSU;
3. Analisar os condicionantes à difusão e implantação do Biogás de Aterro sanitário, tendo como linha de investigação os incentivos institucionais (Instrumentos Econômicos) utilizados no Brasil.

## **METODOLOGIA**

Este trabalho tem natureza aplicada e busca descrever, analisar e apresentar a atual situação dos resíduos sólidos no Brasil. Para isso este trabalho foi desenvolvido com base em uma revisão bibliográfica, onde houve o levantamento e análise da bibliografia (leis, teses, dissertações, artigos, livros, relatórios e etc.) pertinente a temática de foco, e uma análise de dados sobre os resíduos sólidos urbanos.

Inicialmente realizou-se a busca de dados sobre a geração, coleta e destinação final dos resíduos sólidos no Brasil, estes foram obtidos através dos panoramas anuais divulgados pela ABREPEL. Além disso, foram coletados outros dados pertinentes, como composição gravimétrica, gastos com o manejo de resíduos, geração de energia, através de fontes oficiais - SNIS, IBGE, MMA, ANEEL e EPE.

Em uma etapa posterior realizou-se a revisão teórica da teoria econômica sobre os resíduos. A abordagem escolhida foi a teoria Neoclássica, pois a mesma fornece instrumentos para avaliar e determinar a melhor forma de combinar e utilizar os diversos modos de tratamento (reciclagem, compostagem, incineração, aterro sanitário e etc.) dos RSU. Adicionalmente, apresenta instrumentos para direcionar a ação dos agentes, denominados instrumentos econômicos. Com isso foi possível relacionar os instrumentos propostos pela teoria e a prática realizada pelos gestores públicos.

Ademais, foi realizado um levantamento da legislação que coordena a gestão e o gerenciamento dos resíduos no Brasil. E uma pesquisa bibliográfica em teses, dissertações e artigos para compreender os aspectos técnicos, econômicos e institucionais do GDL.



## **ESTRUTURA**

Este trabalho está estruturado em três capítulos, além desta introdução e da conclusão. O primeiro capítulo apresenta um panorama da gestão e do gerenciamento de RSU no Brasil, analisando os dados de geração, coleta e destinação final dos resíduos de 2008 a 2014, além de apresentar o custo financeiro do gerenciamento, o quadro legal e o atual aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos, bem como as diretrizes da política energética para os RSU.

O segundo capítulo traz uma resenha da abordagem teórica do gerenciamento de resíduos sólidos, baseada na teoria econômica Neoclássica, apresentando como a teoria aborda o problema da geração e da destinação dos resíduos. Adicionalmente, serão apresentados alguns instrumentos econômicos e de política ambiental utilizado para incentivar o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos.

Já o terceiro capítulo mostrará aspectos técnicos, econômicos e institucionais do Biogás de Aterro Sanitário (GDL), analisando os incentivos existentes para o seu uso energético no Brasil. O último capítulo fará algumas considerações finais e tecerá algumas conclusões.

## **CAPÍTULO I - PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL**

Este capítulo mostrará um breve histórico da gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, apresentando os pontos mais relevantes para planejar a gestão, como o quadro legal e os dados de gerenciamento de resíduos. O objetivo deste capítulo é analisar como os resíduos vêm geridos no Brasil, de forma a identificar os problemas no gerenciamento de resíduos que podem dificultar o aproveitamento energético dos RSU.

A geração de RSU tem sido discutida pela sociedade sob diversos aspectos, principalmente naqueles que afetam a qualidade de vida. Apesar disso, a gestão dos resíduos sólidos, considerada um dos setores básicos do saneamento, ainda não tem recebido a devida atenção por parte dos gestores públicos, resultando assim nos atuais problemas de ordem social, ambiental, econômica (GRS/UFPE, 2012).

O Brasil é o país mais populoso da América Latina, com cerca de 203 milhões de habitantes, sendo que 85% desses vivem em áreas urbanas. Atualmente o país é a oitava economia do mundo, porém já ocupou a sexta posição, apresentando em 2014 um PIB de 5,52 trilhões de reais (IBGE, 2015). É dividido em 5 regiões administrativas: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, com 26 Estados, 1 Distrito Federal e 5.570 municípios

Um dos fatores mais importantes para a geração de resíduos é a renda. Entre 2010 a 2014, o PIB brasileiro registrou crescimento médio anual de 3,2% e o PIB per capita aumentou anualmente, em média, 2,3% indicando um maior poder de compra da população. Já a produção média de resíduos foi superior a todas essas taxas, apresentando um crescimento médio 3,4%. Os dados da tabela 1 mostram que apesar de existir uma relação positiva entre a renda e a quantidade de resíduos gerados, esta não é uma relação direta e proporcional.

Tabela 1. Variação da população, PIB, renda e geração de RSU

Ano	PIB	PIB per capita	RSU Gerado	População Urbana	População
2010	7,6%	6,6%	6,8%	1,23%	0,88%
2011	3,9%	3,0%	1,8%	1,22%	0,88%
2012	1,8%	0,9%	1,3%	1,20%	0,87%
2013	2,7%	1,9%	4,1%	1,17%	0,86%
2014	0,1%	-0,7%	2,9%	1,14%	0,83%
Média	3,2%	2,3%	3,4%	1,2%	0,9%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBGE, 2015; BANCO MUNDIAL, 2015; ABRELPE, 2010-2014

A população urbana brasileira vem crescendo nos últimos anos a taxas superiores à da população (Tabela 1). Apesar da geração de resíduos ser intrínseca à vida humana, a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados não está relacionada diretamente apenas ao número de habitantes, mas envolve, também, outros fatores como o desenvolvimento econômico, nível de urbanização e renda, clima e padrão de consumo (Banco Mundial, 2012). Cabe destacar que estes fatores variam muito de acordo com a região, como será possível observar nos dados deste capítulo, e dentro das próprias regiões (Tabela 2). Ainda assim, os dados apresentados nesta seção serão tratados de forma agregada e quando conveniente serão desagregados.

Tabela 2. Dados Econômicos, populacionais e de geração de RSU por região, em 2010

Região	RSU Gerados (t/d)	População	Índice de geração de RSU (kg/hab/d)	PIB (R\$) per capita	Participação no PIB	População	
						Urbana	Rural
Norte	7%	7%	0,81	12.702	5%	74%	26%
Nordeste	26%	24%	0,72	9.561	13%	73%	27%
Centro-Oeste	8%	8%	1,11	24.939	9%	89%	11%
Sudeste	49%	46%	1,20	25.984	55%	93%	7%
Sul	10%	14%	0,75	22.721	17%	85%	15%
Brasil	215.297	160.925.792	1,02	19.764	-	-	-

Fonte: Elaboração própria a partir de dados ABRELPE, 2010; IBGE - Censo Demográfico 2010, Contas Regionais, 2010.

## I.1 GERAÇÃO

A geração total de RSU no Brasil vem crescendo nos últimos anos (Gráfico 1). Entre 2008 e 2014 o crescimento foi de 27%, fazendo com que em 2014 a geração chegasse ao

patamar de aproximadamente 78,6 milhões de toneladas, representando um aumento de 2,9% de com relação a 2013, índice superior à taxa de crescimento da população urbana (1,14%).

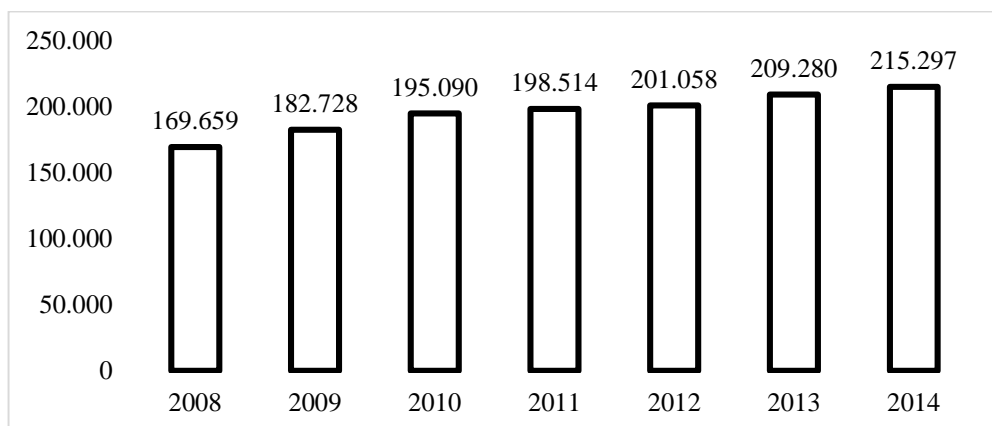


Gráfico 1. Geração de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, em toneladas por dia

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABRELPE (2009 - 2015)

O índice de geração de RSU por habitante mostra uma elevação progressiva na geração per capita (Gráfico 2). Isso significa que os habitantes estão a cada ano em padrão de consumo cada vez mais elevado, o que tem implicado na elevação da quantidade gerada de resíduos a taxas elevadas, às vezes até mais elevadas que o PIB. Se esta tendência se mantiver o desafio de gerenciamento de resíduos será cada vez maior ainda mais levando em consideração o esgotamento dos aterros sanitários e as restrições legais impostas à sua utilização.

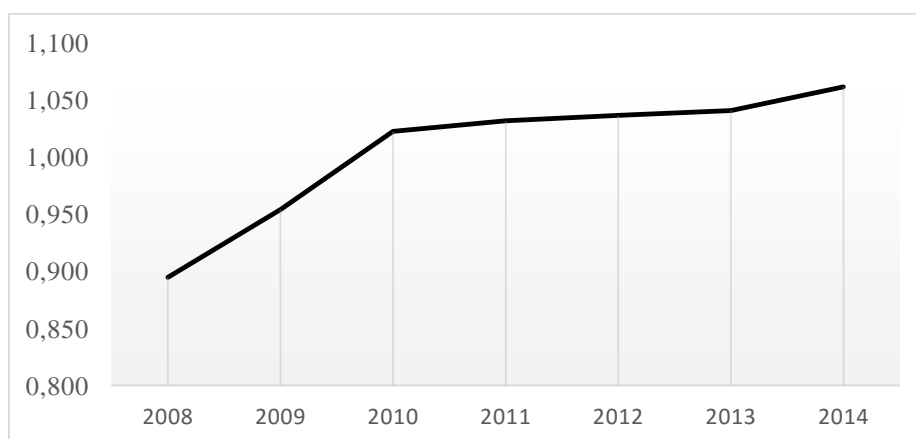


Gráfico 2. Índice de geração de RSU (kg/hab/dia)

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABRELPE, 2008 – 2014; BANCO MUNDIAL, 2015

Analisando a situação atual da geração de resíduos por região geográfica é possível observar uma grande disparidade entre as regiões. Quanto à geração per capita de resíduos por região em 2014, a região Sudeste foi a que mais gerou resíduos por habitante (1,239 kg/dia), seguida pela região Centro-Oeste, Norte, Nordeste e Sul, sendo que, em média, o Brasil apresentou um índice de 1,062 kg/hab/dia (Gráfico 3).

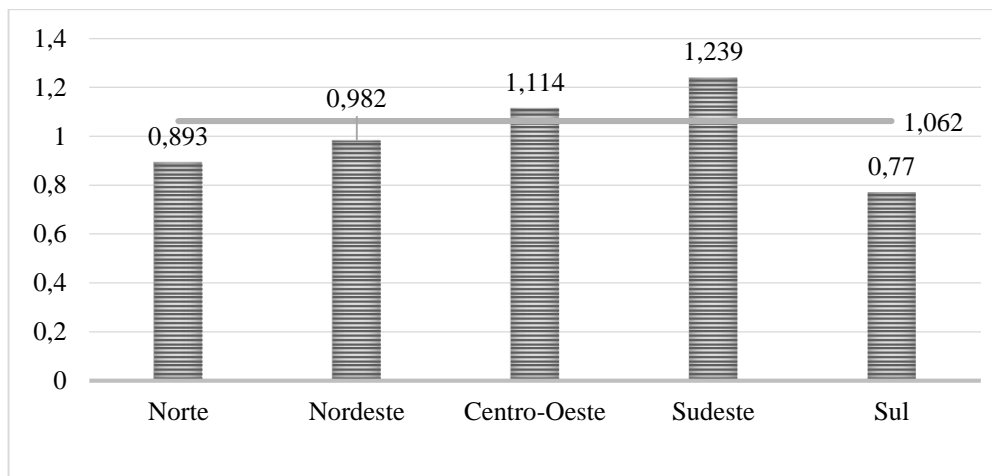


Gráfico 3. Índice de RSU por região (kg/hab/dia), em 2014

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABRELPE, 2014

## I.2 COLETA

O índice brasileiro de coleta vem melhorando ao longo dos últimos anos (Gráfico 4). Em 2014 chegou ao patamar de 90,7%, mas ainda está longe de uma situação ideal, visto que o país deixou de coletar cerca 7,3 milhões de toneladas (ABREPEL, 2014).

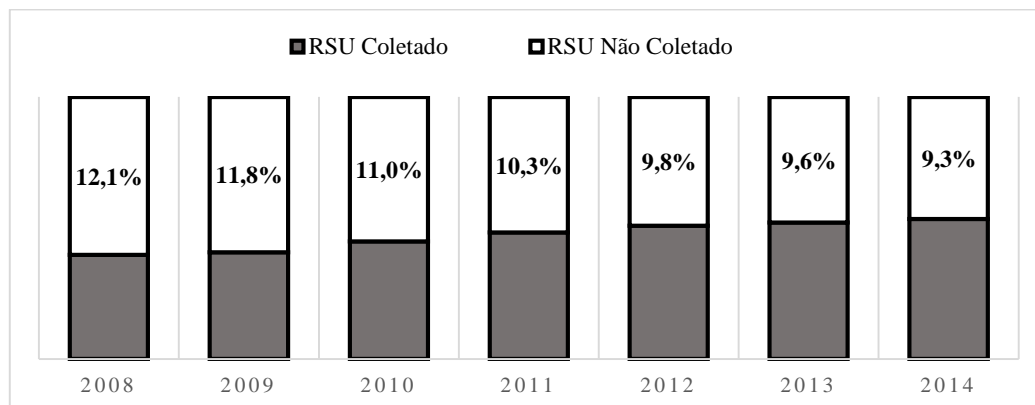


Gráfico 4. Índice de cobertura de coleta

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABRELPE, 2008-2014

O gráfico 5 apresenta os dados regionais de coleta. Assim como a geração, o nível de coleta do país também não é homogêneo, a região sudeste apresenta um nível mais próximo aos países de desenvolvidos como Canadá, onde esse mesmo índice é de 100%, e União Europeia é de 99%, enquanto as regiões como a nordeste não chegam nem a 80% (ABREPEL, 2014; GRS/UFPE, 2014).

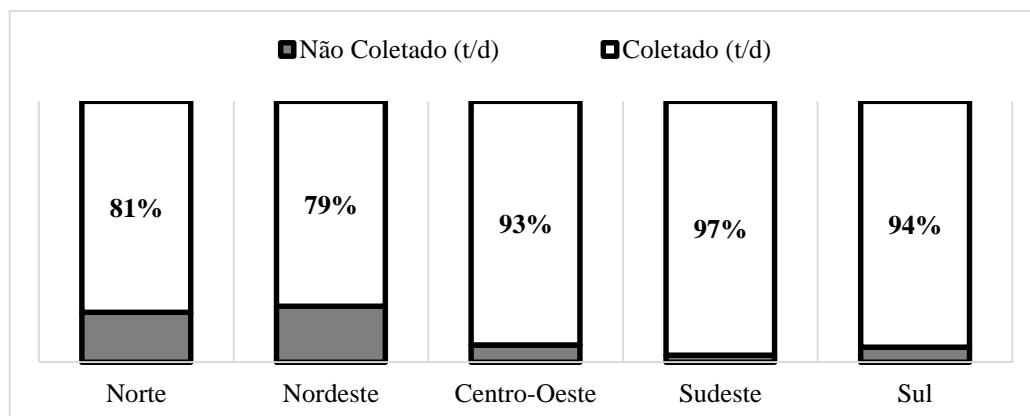


Gráfico 5. Índice de cobertura de coleta por região, em 2014

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABRELPE, 2014

### I.3 DESTINAÇÃO FINAL

O Brasil, assim como outras nações em desenvolvimento, não tem tratado seus resíduos da forma mais tecnológica possível (Gráfico 6).

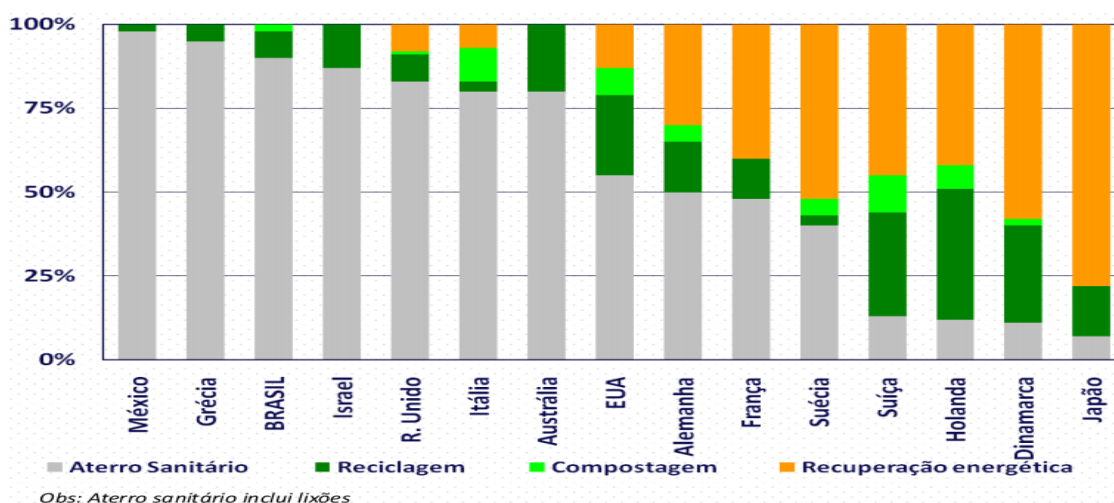


Gráfico 6. Destinação final dos RSU em países selecionados

Fonte: PATERNO, 2011

Apesar de ter uma taxa elevada de coleta e de uma melhora significativa na destinação dos resíduos sólidos urbanos nos últimos anos, o Brasil ainda descarta inadequadamente uma parcela relevante dos resíduos sólidos gerados nos centros urbanos, sem qualquer tratamento (Gráfico 7).

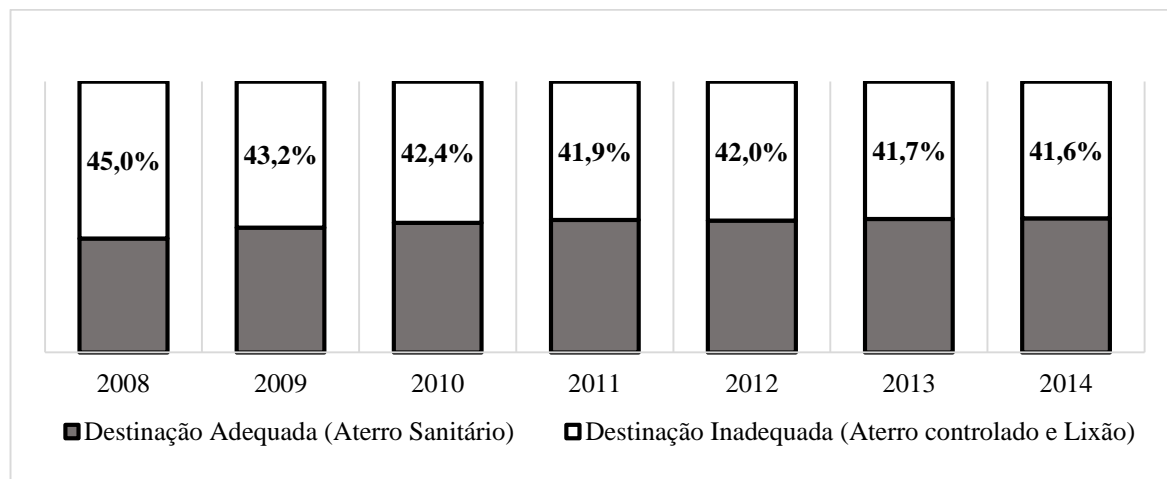


Gráfico 7. Destinação final dos RSU em países selecionados

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABRELPE, 2008-2014

Ao analisar as regiões brasileiras verificamos que o quadro é ainda mais dramático (Tabela 3). Em 2014, 60% dos municípios brasileiros, que geram cerca de 38,7 milhões de toneladas, destinaram seus resíduos de forma inadequada (ABRELPE, 2014). Estes dados indicam que apesar do prazo de eliminação da destinação inadequada, determinado pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos, ter findado em 2014 a realidade proposta pelo Plano está longe de ser alcançada.

Tabela 3. Destinação dos RSU por região, em 2014

Regiões:	RSU Gerado (t/dia)	Número de Municípios	Destinação Adequada (Aterro Sanitário)	Destinação Inadequada (Aterro controlado e Lixão)
Norte	15.413	450	21%	79%
Nordeste	55.177	1.794	25%	75%
Centro-Oeste	16.948	467	35%	65%
Sudeste	105.431	1.668	49%	51%
Sul	22.328	1.191	59%	41%
<b>Brasil</b>	<b>215.297</b>	<b>5.570</b>	<b>2.236</b>	<b>3.334</b>

Fonte: ABRELPE, 2014

O quadro brasileiro descrito acima indica que várias regiões brasileiras estão sob ameaça de contaminação dos seus lençóis freáticos, prejudicando a saúde pública e agravando a degradação ambiental. Isto significa que o gerenciamento inadequado de resíduos está comprometendo a qualidade de vida das populações presentes e futuras, especialmente nos centros urbanos de médio e grande porte.

A situação brasileira se agrava mais se levarmos em consideração que a água potável vai se tornar, em breve, um fator de grande competição entre as nações, a crise da água é considerada um dos maiores riscos globais há anos, sendo o de maior impacto em 2015 (World Economic Forum, 2015).

#### **I.4 COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA**

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos brasileiros revela a complexidade de se desenvolver alternativas de destinação final e valorização dos resíduos. O problema da geração e disposição final dos resíduos não poder ser sanado apenas com a reciclagem, ainda que o esta chegue a 100% (Tabela 4). A maioria dos resíduos sólidos urbanos é composta de matéria orgânica, ou seja, mais de 50% dos resíduos produzidos no país não podem ser reciclados. Além disso, o reuso de materiais ou a redução da geração nem sempre é possível. Portanto, é imperativo pensar e criar alternativas que envolvam a utilização dos resíduos para outros fins.

Tabela 4. Composição gravimétrica dos RSU, em 2008

		<b>Papel</b>	<b>Plástico</b>	<b>Vidro</b>	<b>Metal</b>
<b>Matéria orgânica</b>	59,0%	-	-	-	-
<b>Material Reciclável</b>	36,0%	18,5%	12,3%	3,1%	2,1%
<b>Outros</b>	5,0%	-	-	-	-

Fonte: MMA, 2011



## **I.5 DADOS ECONÔMICOS DO GERENCIAMENTO DE RSU NO BRASIL<sup>1</sup>**

Os dados econômico-financeiros dos municípios brasileiros mostram que o desafio dos gestores públicos para a gestão adequada dos resíduos é muito grande, visto que a destinação adequada envolve, em geral, custos financeiros mais elevados, embora os custos totais (inclui custos sociais e ambientais), em uma perspectiva, de longo prazo sejam menores.

No Brasil podemos verificar que os municípios enfrentam grande dificuldade para financiar o gerenciamento de resíduos. O gerenciamento de resíduos pesa bastante nas despesas de algumas cidades chegando a ser 20% das despesas correntes das prefeituras brasileiras apresentando valores muito dispersos, porém, em média, a participação é de cerca de 4% (SNIS, 2013).

O SNIS (2013) disponibilizou dados de despesa e receitas referentes ao manejo de resíduos sólidos urbanos de 2.279 municípios brasileiros. Através destes dados, construindo um índice<sup>2</sup> simples de autossuficiência financeira das prefeituras com relação ao manejo de resíduos, é possível identificar que, em 2013, 98% dos municípios não arrecadam receitas suficientes para cobrir os custos do gerenciamento de resíduos.

Além disso, o custo unitário de coleta varia muito entre os municípios, por tonelada coletada o valor mínimo cobrado é R\$10 e o máximo R\$440, sendo que, em média, o custo de coleta é R\$ 162. Quando se fala nas despesas totais do manejo de RSU observamos também valores bem discrepantes, o custo por habitante urbano varia de R\$12 a 360, sendo a média R\$ 91 (SNIS, 2013).

Ao analisar as formas de arrecadação é possível observar que, nem todos os municípios cobram pelo gerenciamento de resíduos no Brasil. Em 2008, segundo IBGE, cerca de 39% dos municípios declaram cobrar este serviço, sendo que estes utilizam formas diferenciadas de cobrança, sendo a mais comum a cobrança indireta, feita principalmente através do IPTU (Tabela 5).

---

<sup>1</sup> Esta seção tem como base o Diagnóstico do Manejo do Resíduos Sólidos Urbanos - 2013 feito pelo SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento), a pesquisa contém informações de 3570 municípios brasileiros.

<sup>2</sup> O índice foi criado utilizando da seguinte forma: índice autossuficiência financeira = Receita arrecadada com taxas e tarifas referentes à gestão e manejo de RSU dividido pela Despesa total com serviços de manejo de RSU

Tabela 5. Existência e sistemas de cobrança pelo serviço de gerenciamento de RSU no Brasil, em %

	Total de municípios com manejo de resíduos sólidos	Taxa específica	Taxa junto com o IPTU	Tarifa por serviços especiais	Outra	Sem declaração	Número de municípios que não cobram pelo serviço
<b>Brasil</b>	100,0	1,1	35,7	1,0	0,8	0,04	61,4
<b>Norte</b>	100,0	0,7	12,9	0,7	0,5	-	85,3
<b>Nordeste</b>	99,9	0,4	12,0	0,2	0,1	0,06	87,3
<b>Sudeste</b>	99,9	1,2	48,4	1,2	0,4	0,06	48,7
<b>Sul</b>	100,0	2,0	67,8	2,4	2,6	-	25,2
<b>Centro-Oeste</b>	100,0	1,1	21,2	0,4	0,6	-	76,6

Fonte: IBGE - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008

A não cobrança do serviço de manejo é um dos entraves mais importantes no gerenciamento de resíduos sólidos no país. Isto dificulta internalizar os custos sociais do manejo dos RSU. Quando há cobrança, via de regra, é feita através do IPTU. Esta cobrança desvinculada da quantidade dificulta o desenvolvimento de políticas, metas e técnicas de tratamento viáveis financeiramente e contribui para ineficiência da gestão de resíduos sólidos, além de não arrecadar recursos suficientes para cobrir os custos do gerenciamento de resíduos. Com a cobrança realizada independente do volume produzido há uma repartição simples dos custos, anulando os custos associados à gestão e dispersando as responsabilidades dos agentes econômicos em reduzir na fonte os resíduos gerados.

## I.6 ARCABOUÇO LEGAL PARA A GESTÃO DOS RSU

No Brasil, a responsabilidade de estabelecer políticas para RSU está definida na Constituição Federal (CF). Além desta a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981), a Lei de Consórcios Públicos (Lei nº 11.107/2005), a Política Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), e seus respectivos decretos regulamentares, fazem parte do arcabouço legal que orienta a gestão dos RSU no país (Figura 1).

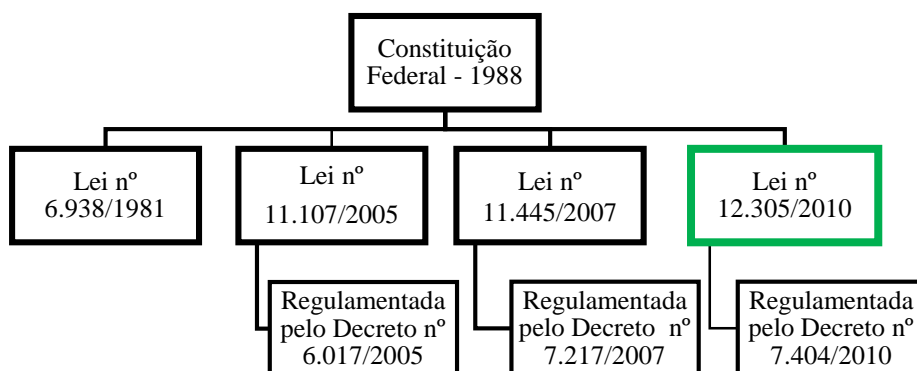


Figura 1. Base legal para a gestão dos RSU no Brasil

Fonte: Elaboração própria

Segundo o artigo 23º, VI, da Constituição Federal União, Estados, Distrito Federal e os Municípios têm a atribuição de criar leis visando “*proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas*”. Portanto, as políticas públicas para os resíduos sólidos devem ser coordenadas entre todos os entes federativos e devem respeitar as regras gerais impostas pela União. Além disso, o artigo 225, caput, da CF reforça a ideia de cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade visando defender e preservar o meio ambiente ecologicamente equilibrado para as presentes e futuras gerações.

A ação coordenada entre os diversos entes federativos adquire ainda mais importância se consideradas as disparidades entre os municípios. Estas podem ocasionar conflitos de interesse entre os governantes, principalmente em regiões onde a disposição dos resíduos deve ser feita em outro município. Analisando do ponto de vista econômico as disparidades poderiam afetar o ambiente econômico e social ao criar condições de concorrência desiguais e ter, conseqüentemente, uma incidência direta no funcionamento da economia do município, com a existência de incentivos para free-riders<sup>3</sup>. A união estabelecendo as diretrizes gerais evita a criação de legislações diferenciadas, que gerariam incentivos diversificados aos agentes que poderiam, com a facilidade de circulação entre as regiões, gerar grandes passivos ambientais.

A lei nº 6.938/1981 reconhece que a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental é uma condição para o desenvolvimento socioeconômico do país. Em seu anexo VIII,

<sup>3</sup> O comportamento Free rider, em economia, se refere como aquele em que um ou mais agentes econômicos acabam usufruindo de recursos, bens, serviços sem que tenha havido uma contribuição para a obtenção de tal. Dessa forma, os indivíduos não têm incentivos a pagar tanto quanto o bem realmente vale para ele.

essa lei reconhece que a geração de RSU é potencialmente poluidora, desse modo, dado o que está disposto na constituição, cabe às várias esferas do poder público criar mecanismos para que a geração de RSU cause danos mínimos ao meio ambiente e sociedade.

Segundo lei nº 11.445/2007 cabe a cada município realizar o gerenciamento de resíduos, que engloba atividades de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final dos resíduos. Tais serviços são parte do serviço de saneamento básico e a forma com que estes serão feitos devem estar prescritos no Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB)<sup>4</sup> (Art. 3º, caput, I, c da lei nº 11.445/2007).

Ademais, o gerenciamento dos RSU deve ser realizado de forma adequada à saúde pública e à proteção do meio ambiente (Art. 2º, III da lei nº 11.445/2007). A legislação ainda apresenta como um instrumento econômico fundamental para o gerenciamento de resíduos a cobrança do serviço, visando assegurar a equilíbrio econômico-financeiro do serviço” (Art. 29, caput e II da lei nº 11.445/2007). Mas como visto na seção anterior essa cobrança ainda não é feita pela maioria dos municípios brasileiros, de forma que o serviço não tem sido bem-sucedido no que diz a respeito à proteção do meio ambiente e minimização dos danos sociais.

A Lei nº 11.107/2005 dispõe para todas as esferas administrativas as normas gerais de contratação de consórcios públicos. Apesar da Política Nacional de Saneamento Básico (Lei nº 11.445/2007) prever que municípios gerenciem seus resíduos sólidos isoladamente, os problemas gerados pelo inadequado gerenciamento de resíduos transcendem o território municipal. Logo os consórcios são uma forma de coordenar as ações entre os municípios.

No Brasil, os consórcios para o gerenciamento de resíduos são usados por cerca de 31% dos municípios (SNIS, 2013). Além disso, dadas a dificuldades dos municípios em financiar o gerenciamento dos RSU, os consórcios intermunicipais surgem como uma oportunidade interessante para os municípios compartilharem serviços, ou atividades de interesse comum, permitindo, dessa forma, maximizar os recursos, de infraestrutura e financeiros existentes em cada um deles, gerando economias de escala. Além de viabilizar financeira e tecnicamente mais formas de destinação adequada dos resíduos, facilitando com que os municípios sigam as determinações da legislação vigente.

---

<sup>4</sup> Os municípios que optarem por soluções consorciadas intermunicipais para gestão dos resíduos sólidos estarão dispensados da elaboração dos seus Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Neste caso, o plano intermunicipal deve observar o conteúdo mínimo previsto no artigo nº 19 da Lei nº 12.305/2010.

A Lei 12.305/2010 versa sobre os princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, e resíduos perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. Até a criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), sancionada pela lei 12.305/2010 e regulamentada pelo decreto nº 7.404, a legislação vigente não previa mecanismos que juridicamente obrigassem, em um prazo determinado, os municípios a adotar medidas ambientalmente adequadas de manejo dos resíduos e nem havia um texto jurídico que definisse tal terminologia. Neste quesito a PNRS apresenta um grande avanço.

A lei 12.305/2010 define como destinação ambientalmente adequada:

(...) destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (Art. 3º, VII)

A PNRS é um marco para gestão dos resíduos sólidos, visto que ela trouxe diretrizes para uma nova sistemática de gestão dos resíduos com base em conceitos modernos e com prazos, representando uma radical mudança nos paradigmas da elaboração de políticas públicas no país e preenchendo uma grave lacuna até então existente no ordenamento jurídico ambiental brasileiro. Ademais, a lei é muito clara na definição de seus princípios, diretrizes, objetivos bem como seus instrumentos, distribuição de responsabilidades e, certamente, a forma compartilhada da gestão dos resíduos sólidos, envolvendo municípios, estados, setor empresarial e sociedade civil.

Segundo o Art. 9º da Lei 12.305/10 a hierarquia de prioridade para a solução do segundo problema é: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Tal hierarquia tem como referência o princípio dos 3R's (Reduzir, Reutilizar e Reciclar), que visa favorecer o desenvolvimento sustentável (desenvolvimento econômico com respeito e proteção ao meio ambiente).

Para muitas cidades, porém, a redução do volume de resíduos significa diminuir a atividade econômica, podendo comprometer o desenvolvimento econômico, o que não é uma opção atraente. Além disso, nem todos os resíduos são tecnicamente e economicamente viáveis para a reciclagem, portanto é importante pensar em formas de otimizar tratamento dos resíduos. A proposta deste trabalho é que os resíduos passem a ser tratados como matéria-prima para a geração de energia.

O aproveitamento energético é um dos objetivos da PNRS, porém somente após se esgotarem as possibilidades de redução, reutilização e reciclagem, e o mesmo deve ser realizado desde que comprovada a viabilidade técnica e ambiental (Art. 9º, § 1º da lei 12.305/10). A PNRS além de instituir princípios como o poluidor-pagador e protetor-recebedor, também, prevê a criação de sistemas de incentivos para o aproveitamento energético (Art. 6º, II e Art. 7º, XIV da lei 12.305/10), propondo como instrumentos econômicos para tal ação incentivos fiscais, financeiros e creditícios (Art. 8º, IX da lei 12.305/10). Além disso, os custos da eliminação dos resíduos, deduzido de sua eventual valorização, devem ser arcados pelo agente que remete os resíduos à empresa de coleta, tratamento ou destinação de resíduos, ou pelos agentes anteriores ou pelo produtor do produto gerador de resíduos.

Segundo a PNRS a união deve elaborar um Plano Nacional de Resíduos Sólidos, com vigência por um prazo indeterminado e horizonte de 20 (vinte) anos, devendo ser atualizado a cada 4 (quatro) anos, onde deve haver metas para o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos sólidos (Art.15º, IV da lei 12.305/10). Além disso, a lei 12.305/2010 torna obrigatória a elaboração de planos municipais e estaduais de gestão de resíduos sólidos, onde se deve fazer uma análise acurada das tecnologias de tratamento de RSU passíveis de implantação, com o objetivo de subsidiar a determinação de rotas tecnológicas mais adequadas a cada município ao inter-relacionar quatro dimensões essenciais: (1) técnica, (2) econômica, (3) ambiental e (4) institucional.

Entretanto, é possível observar que os gestores dos resíduos ainda encontram vários entraves para aplicação na prática do que foi proposto pela lei. A destinação inadequada de RSU se faz presente em todas as regiões brasileiras. Além disso, segundo a pesquisa de Informações Básicas Municipais - MUNIC realizada pelo IBGE, em 2013, nas prefeituras dos 5.570 municípios brasileiros, apenas cerca de 1/3 dos municípios brasileiros (33,5%, representando 1 865 municípios) declararam possuir Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, nos termos estabelecidos na PNRS.

## **I.7 GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS**

Como visto, a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerada tem aumentado em grandes proporções. Isso faz com que os problemas de gestão e gerenciamento de resíduos se tornem bastante complexos.

Analisando a Constituição Federal de 1988 (artigos 23º e 24º) percebe-se que a União e os Estados não estão obrigados a executar tarefas de limpeza pública, coleta, transporte e disposição dos resíduos sólidos. O que cabe a União e Estados é a gestão dos resíduos sólidos urbanos. A gestão abrange as atividades relacionadas à tomada de decisões estratégicas com relação aos aspectos institucionais, legais, operacionais, administrativos, financeiros e ambientais. Em suma, um conjunto de políticas e instrumentos capazes de orientar e organizar o setor, no caso brasileiro, estes estão na Política Nacional de Resíduos Sólidos e nos Planos Estaduais de Resíduos Sólidos.

A obrigação de executar o gerenciamento dos resíduos sólidos é dos municípios (Art. 30º, I, II e V da CF). O gerenciamento é o conjunto de ações técnico-operacionais que visam implementar, orientar, coordenar, controlar e fiscalizar os objetivos estabelecidos na gestão. Portanto, tem uma abrangência mais local e direta, e envolve um conjunto articulado de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento, baseadas em critérios sanitários, ambientais e econômicos, para coletar, tratar e dispor os resíduos sólidos urbanos de uma cidade. Ou seja, a incumbência dos gestores municipais é acompanhar de forma criteriosa todo o ciclo de vida dos resíduos, da geração à disposição final, empregando as técnicas mais compatíveis com a realidade local, dando-lhe um destino final ambientalmente adequado, tanto no presente, como no futuro.

O gerenciamento integrado, mais conhecido na teoria econômica como Sistema Integrado Gerenciamento de Resíduos Sólidos, tem como ponto central interligação entre as diversas ações que fazem parte dos princípios gerais do gerenciamento de resíduos, buscando formas de maximizar a redução na produção de resíduos sólidos, o reaproveitamento e reciclagem de materiais e, ainda, dispor os resíduos sólidos da forma mais sanitária e ambientalmente adequada (GRS/UFPE, 2012).

Apesar da responsabilidade pelo gerenciamento de resíduos ser da municipalidade, o mesmo é executado de acordo com diversas formas jurídicas. Nos municípios brasileiros o gerenciamento é executado, predominantemente, via administração direta, modelo adotado por 93% dos municípios (SNIS, 2013). Esta característica pode resultar em uma menor autonomia para estes órgãos e uma maior interferência nas questões relacionadas aos serviços de manejo de resíduos. Além disso, é interessante notar que quanto maior o município mais a participação da administração pública direta se reduz, dando mais espaço às sociedades mistas e autarquias (Tabela 6).

Tabela 6. Natureza jurídica dos órgãos gestores do manejo de RSU segundo porte dos municípios selecionados.

Natureza Jurídica	Número de habitantes						Número total de Municípios
	Até 30 mil	De 30.001 a 100.000	De 100.001 a 250.000	De 250.001 a 1.000.000	De 1.000.001 a 3.000.000	Acima de 3.000.001	
<b>Administração Pública direta</b>	95,0%	90,4%	88,5%	81,7%	46,1%	0,0%	3337
<b>Autarquia</b>	1,3%	6,7%	4,3%	6,1%	23,1%	50,0%	82
<b>Empresa Pública</b>	3,4%	2,1%	5%	6,1%	23,1%	0,0%	124
<b>Sociedade de economia mista com administração pública</b>	0,3%	0,8%	2,2%	6,1%	7,7%	50,0%	27

Fonte: SNIS, 2013

## I.8 O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RSU

O aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos apresenta diversas vantagens sócio-ambientais e, por isso, há um grande interesse em viabilizar esta prática. Além disso, a produção de energia elétrica a partir desses materiais já apresenta alternativas tecnológicas maduras.

Nas últimas décadas a energia tem sido considerada como um tema estratégico no conceito de desenvolvimento sustentável e usos do meio ambiente. Poucas questões são mais estratégicas do que a energia, no Brasil este tema tem sido discutido por vários segmentos da sociedade que buscam fontes mais sustentáveis de crescimento (BRASIL, 2011).



A necessidade de aumento da oferta e as maiores limitações à construção de grandes reservatórios de água impõem a busca por fontes alternativas para produção de energia elétrica. Entre as opções existentes, a eletricidade gerada a partir de resíduos sólidos urbanos revela-se uma opção interessante, pois, além de renovável, é produzida de forma distribuída e próxima aos centros consumidores, não sendo uma fonte intermitente, adiciona segurança ao sistema elétrico brasileiro. Ainda assim, o potencial de utilização dos resíduos urbanos para geração de energia ainda é pouco aproveitado no país.

No Brasil, a oferta interna de energia conta com 39% de renováveis, quase três vezes o indicador mundial (13,6%) (EPE, 2015). Entretanto, quando analisamos mais profundamente observamos que a matriz energética brasileira é altamente dependente das hidroelétricas, e em casos de emergência das termoeletricas, movidas principalmente a combustíveis fósseis. A recente crise hídrica mostrou que o modelo brasileiro é arriscado. Diante disso, para garantir a segurança energética o país precisa diversificar sua matriz energética (PEDROSA, 2015; KRENZINGER, 2014). Esta pode ser feita empregando em uma escala maior fontes alternativas (renováveis e não-convencionais, como os resíduos urbanos), conciliando dessa forma dois direcionamentos estratégico da política energética brasileira: incentivar a busca de soluções “limpas” e sustentáveis para a matriz energética brasileira e minimizar o impacto do custo de produção de energia para o consumidor (EPE, 2007).

O potencial de aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos é grande. Segundo a EPE o potencial de geração de eletricidade através de resíduos para 2030 é de 17.550 MW (Tabela 7).

Tabela 7. Potencial de geração de eletricidade com Resíduos Sólidos Urbanos

	2020	2030
<b>Características dos resíduos</b>		
Volume (milhões de toneladas por ano)	62,7	92,2
% de material orgânico	56,0	47,5
% de material reciclável	39,0	47,5
<b>Potencial de geração de eletricidade (MW)<sup>1</sup></b>		
Biogás de aterro	1.700	2.600
Digestão Anaeróbica	980	1.230
Incineração	3.740	5.280
Ciclo combinado otimizado	5.980	8.440

Fonte: EPE (2007) <sup>1</sup>Considerando fator de capacidade igual a 80%

Algumas iniciativas já ocorrem hoje, mas não há o aproveitamento energético dos RSU em grande escala. Isso implica vencer desafios importantes, relacionados a questões técnicas, regulatórias e institucionais, principalmente quanto aos sistemas de coleta, separação e estocagem (EPE, 2007). E estas não são questões de solução trivial e devem demandar ainda um longo tempo para serem equacionadas

O aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos ainda se situa muito aquém do potencial (Tabela 8). Atualmente a capacidade instalada de geração de energia é de 163,5 MW, logo atualmente estamos utilizando apenas 1% do potencial estimado pela EPE o potencial para 2020.

Tabela 8. Empreendimentos com geração de eletricidade a partir de RSU

Usina	Data Operação	Potência Outorgada (kW)	Destino da Energia	Município	Status
<b>Energ-Biog</b>	2002	30	REG	Barueri - SP	Em operação
<b>São João Biogás</b>	2008	24.640	PIE	São Paulo - SP	Em operação
<b>Salvador</b>	2010	19.730	PIE	Salvador - BA	Em operação
<b>Uberlândia</b>	2011	2.852	REG	Uberlândia - MG	Em operação
<b>Itajaí Biogás</b>	2013	1.065	REG	Itajaí - SC	Em operação
<b>CTR Juiz de Fora</b>	2014	4.278	REG	Juiz de Fora - MG	Em operação
<b>Bandeirantes</b>	2015	4.624	REG	São Paulo - SP	Em operação
<b>Biotérmica Recreio</b>	2015	8.556	PIE	Minas do Leão - RS	Em operação
<b>Tecipar</b>	2016	4.278	REG	Santana de Parnaíba - SP	Em operação
<b>Curitiba Energia</b>	2016	2.852	REG	Fazenda Rio Grande - PR	Em operação
<b>Asja BH</b>	2010	4.278	REG	Belo Horizonte - MG	Em operação
<b>Ambient</b>	-	1.500	REG	Ribeirão Preto - SP	Em operação
<b>Barueri<sup>5</sup></b>	-	20.000	PIE	Barueri - SP	Em fase de construção
<b>Termoverde</b>	-	29.547	PIE	Caieiras - SP	Em fase de construção
<b>Novagerar</b>	-	4.000	REG	Nova Iguaçu - RJ	Construção não iniciada
<b>Sapopemba</b>	-	25.600	APE	São Paulo - SP	Construção não iniciada
<b>Guatapar</b>	-	5.704	PIE	Guatapar - SP	Construção não iniciada
<b>Total</b>		163.534			

Fonte: ANEEL. Banco de Informaes de Gerao, 2016

<sup>5</sup> Usina de Incinerao

## **I.9 DIRETRIZES DA POLÍTICA ENERGÉTICA PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RSU**

Segundo Queiroz (2014) as políticas energéticas em seus objetivos macro buscam assegurar o funcionamento do mercado da energia, considerando o papel estratégico que os recursos energéticos ocupam para garantir a segurança energética do país, devendo sempre respeitar os diversos interesses econômicos e sociais da sociedade.

Os instrumentos utilizados na Política Energética brasileira são os planos energéticos. Estes são instrumentos de planejamento estratégico, visto que têm a função de direcionar os investimentos na indústria da energia, indicando as tecnologias que devem compor a matriz energética futura. Tanto o Plano decenal de energia quanto o Plano Nacional de Energia são desenvolvidos pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

O instrumento de planejamento brasileiro de médio prazo é o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) – o último é o PDE-2023. Segundo este em 2023 haverá um aumento de 53% na capacidade instalada de PCH, solar e Biomassa. Entretanto, como biomassa o grande destaque do PDE-2023 é a proveniente da cana, em nenhum momento o plano fala dos resíduos urbanos, apesar do mesmo ser considerado como biomassa urbana.

Já o Plano Nacional de Energia (PNE 2030) aponta que até o ano 2030, haverá um aumento de 39,3% na produção de energia elétrica no país, sendo hidrelétricas responsáveis pela produção de 69,5% da energia, as térmicas 17,7%, importação 0,6% e fontes alternativas 3,7%, entre as energias alternativas 6,4% corresponderão ao uso dos resíduos urbanos, representando uma estimativa de participação de 0,6% na matriz energética nacional (EPE,2007). Isto significa que num horizonte de 15 anos para que se concretizem as projeções da EPE a geração de eletricidade a partir de resíduos urbanos deve crescer muito se comparado com outras fontes, visto que atualmente sua participação é de cerca de 0,05%.

Além disso, segundo a EPE (2007) devido à necessidade de regulamentação das atividades anteriores ao aproveitamento energético, no curto prazo, não é possível ter uma participação efetiva da energia gerada através de resíduos na matriz energética. A previsão indicativa da EPE (2007) aponta que em 2020 serão gerados 1.051 GWh de eletricidade a partir de RSU, e em 2030 a geração chegará a 6.833 GWh aumento de 69% e 1007% com relação a geração potencial atual (622 GWh). Além disso, segundo Oliveira & Rosa (2003) usando 20

milhões de toneladas por ano de RSU produzidos no Brasil é possível gerar 50TWh de eletricidade.

Como visto, a Política Energética do Brasil tem apenas algumas diretrizes para as energias renováveis, nas quais os resíduos podem ser inseridos. Não há nenhuma diretriz específica com metas e instrumentos bem definidos para o Aproveitamento Energético de RSU, apesar de existirem algumas estimativas indicativas para participação futura da energia proveniente dos resíduos urbano. A falta de metas bem estabelecidas e meio para alcançar as estimativas é uma grande barreira ao aproveitamento energético de RSU.

## **CAPÍTULO II - TEORIA ECONÔMICA NEOCLÁSSICA E A GESTÃO E O GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Este capítulo tem como objetivo apresentar o arcabouço teórico, referente à questão do gerenciamento de resíduos, da escola Neoclássica. Além disso, o capítulo apresenta os Instrumentos de Política Ambiental, relacionados a gestão de resíduos, e os Instrumentos Econômicos (IEs) utilizados para incentivar o aproveitamento energético de RSU.

A geração de resíduos é algo intrínseco à vida humana. Portanto, toda atividade e/ou processo produtivo dos agentes econômicos gera resíduos. E a destinação final destes resíduos constitui-se em um objeto de análise econômica. Apesar de existirem outras abordagens teóricas para a questão dos resíduos, como a Economia Ecológica, este capítulo tem enfoque na abordagem da teoria Neoclássica, que foi considerada a mais adequada para a análise proposta por este trabalho, o aproveitamento energético dos RSU (MAY, 2010)

O instrumental oferecido pela Teoria Econômica Neoclássica para lidar com a questão dos resíduos é o Sistema Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, que se propõe a responder dois problemas. O primeiro é a criação de instrumentos que possibilitem a geração de uma quantidade ótima de resíduos, isto é, que orientem o balanço ótimo entre a opção de reduzir a geração de lixo na fonte e os custos de tratamento das quantidades de resíduos geradas. A teoria Neoclássica nos mostra que a quantidade ótima corresponde ao equilíbrio entre custos e benefícios sociais marginais da redução da fonte. O segundo problema consiste na dificuldade em avaliar e determinar a melhor forma de combinar e utilizar os diversos modos de tratamento (reciclagem, compostagem, incineração, aterro sanitário e etc), considerando aspectos sociais e econômicos de cada município (SEROA DA MOTTA e CHERMONT, 1996).

A PNRS tem como referencial teórico o Sistema Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (Art. 7º, VII da Lei 12.305/2010). Sendo assim, a gestão dos resíduos sólidos deve considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social visando o desenvolvimento sustentável (Art. 3º, XI da Lei 12.305/2010).

## II.1 NÍVEL ÓTIMO DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS

A teoria econômica neoclássica oferece instrumentos para a mensuração e valoração, em termos econômicos, das implicações decorrentes das diversas formas de tratamento de resíduos sólidos urbanos em uma determinada localidade. Entretanto, tal avaliação enfrenta grandes dificuldades quanto a instrumento e procedimentos analíticos.

Segundo a teoria neoclássica, sob certas condições<sup>6</sup>, o mercado pode resolver os problemas de alocação e distribuição de recursos de maneira ótima e eficiente, apenas equilibrando custos e benefícios de tais recursos. Em uma economia de mercado, os preços servem para guiar a alocação dos recursos, e são uma medida do valor econômico dos bens e serviços. Além disso, cada indivíduo ao fazer suas escolhas, visando a maximizar o seu bem-estar individual, está, automática, maximizando o bem-estar coletivo. Tal ideia é uma síntese aproximada do conceito de “mão invisível” de Adam Smith.

Contudo, o mercado não leva à alocação eficiente dos resíduos sólidos urbanos, pois o mesmo se mostra incapaz de estimular o gerenciamento ambientalmente adequado no longo prazo, pois os resíduos geram externalidades<sup>7</sup> que os indivíduos não levam em consideração quando maximizam o seu bem-estar. Portanto, no caso dos resíduos não é eficiente determinar a quantidade ótima de resíduos apenas equilibrando custos e benefícios marginais privados.

A disposição inadequada dos resíduos gera externalidades negativas sobre a sociedade, afetando tanto o bem-estar social quanto privado. Como exemplo destas externalidades negativas podemos citar os impactos ambientais (poluição das águas, do solo e da atmosfera, incluindo o efeito de estufa), que trazem vários riscos para a saúde humana. A teoria microeconômica considera as externalidades como falhas de mercado, um custo externo que

---

<sup>6</sup> Condições: A existência de grande número de compradores e produtores, e que nenhum deles isoladamente possa exercer influência sobre os preços; os direitos de propriedade são definidos e livremente negociáveis; Os bens podem ser consumidos em qualquer quantidade até o limite da sua disponibilidade; Todos os custos de produção e consumo são refletidos nos preços de mercado; Não há assimetria de informação no mercado; Os indivíduos tomam decisões motivados apenas pelo seu interesse particular e visando maximizar seus ganhos econômicos; Os mercados formam seus preços sem sofrer influência do governo; Todos os custos e benefícios do uso de determinado recurso revertem para o proprietário, seja pelo uso direto ou pela negociação.

<sup>7</sup> As externalidades podem ser definidas como custos e benefícios não intencionais ocorridos devido a atividades econômicas (produção e consumo) que afetam positivamente e negativamente a terceiros (PEARCE, D.W.; TURNER, R.K. Economics of Natural resources and the environment. Cap 6. London: Harvester Wheatsheaf, 1990)

devemos agregar a função de custo, visando valorar corretamente o custo e corrigir a falha de mercado (VARIAN, 2006).

O princípio do bem-estar máximo tem como base a análise utilitarista, onde o custo e o benefício são parâmetros para mensurar a satisfação dos indivíduos como relação a um bem ou serviço. Esta satisfação aparece sob a forma de preferências individuais dos agentes. Em outras palavras, tal análise considera que o benefício, que reflete uma preferência individual por algo, e o custo, que representa uma não-preferência, são traduzidos no sistema de preços pela interação entre escassez (oferta) e a disposição a pagar (demanda) dos bens tratados, gerando um dado ponto de equilíbrio para este mercado (VARIAN, 2006).

Quando a ideia é tratar impactos ambientais a teoria sugere a técnica de mercado de recorrência. Esta técnica de análise mensura os custos correlacionados aos danos ambientais utilizando as diversas disposições a pagar ou receber em valores monetários, referentes aos julgamentos dos indivíduos amostrados em relação às externalidades geradas pelo bem em questão. Essas informações, preferências reveladas, consistirão nos parâmetros para se criar os preços hedônicos (SERROA DA MOTTA e CHERMONT, 1996).

A valoração dos custos associados ao impacto ambiental também pode ser feita através do método de valoração contingencial, que se baseia na preferência declarada dos agentes. Esta é obtida através de questionários que procuram identificar o valor de uso ou de existência que as pessoas associam à melhoria hipotética do meio ambiente.

Segundo o enfoque neoclássico, a questão do gerenciamento de resíduos sólidos torna-se passível de ser submetida à análise de custo-benefício, desde que os agentes econômicos atuem visando obter os benefícios que superem os custos inerentes àquela atividade (SERROA DA MOTTA e CHERMONT, 1996). Portanto, no caso do aproveitamento energético este deve ter o benefício superior ao custo, e tal situação só é possível se o aproveitamento energético dos RSU for visto como parte de um modelo de desenvolvimento que se preocupa com a qualidade de vida dos cidadãos e busca a sustentabilidade de longo prazo, utilizando de forma eficiente os recursos naturais existentes.

As condições acima são necessárias, porém não suficiente, para se chegar ao ponto ótimo de geração de resíduos. Para a construção teórica do ponto ótimo, entre o gerenciamento e a geração de resíduos, devemos definir uma função de demanda por serviços de

gerenciamento de lixo (DWS), que refletirá a entre as diversas opções de preços referentes aos tipos de lixo gerado em função do nível de consumo (C) e de produção (Y) de uma determinada economia, e uma função Custo Marginal (MC) construída a partir dos custos sociais (SC), privados e ambientais, de correntes do processo de coleta, transporte e tratamento de resíduos.

$$DWS = f(C, Y) \rightarrow \text{DEMANDA}$$

$$MC = f(SC) \rightarrow \text{OFERTA}$$

As duas funções podem ser visualizadas no gráfico a seguir.

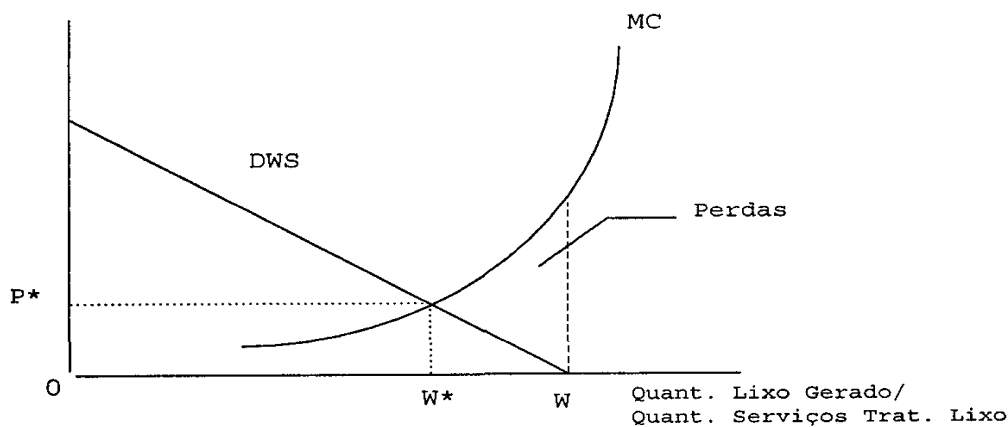


Gráfico 8. Nível ótimo de geração de RSU

Fonte: PEARCE e BRISSON (1995, p.7) apud SERROA DA MOTTA e CHERMONT (1996, p.5)

Como pode ser observado no gráfico 8 o nível ótimo é atingido no par ordenado  $W^*$  e  $P^*$ . Neste ponto os benefícios marginais da redução da geração de resíduos se igualam aos custos marginais do gerenciamento de resíduos. Ou seja, o ponto ótimo de gerenciamento de resíduos sólidos será equivalente à igualdade entre custos marginais sociais e benefícios marginais de redução de resíduos na fonte geradora. Sendo  $W^*$  a quantidade ótima de resíduos gerados e  $P^*$  o preço de equilíbrio para o serviço de gerenciamento. Cabe destacar que segundo a teoria um nível de geração igual a zero não seria um ponto de equilíbrio, além disso essa situação seria pouco factível.

Contudo, tal construção teórica tem problemas quanto a sua aplicabilidade no mundo real. No caso brasileiro, o financiamento do gerenciamento de RSU não se dá de forma direta pelo agente gerador, mas sim através da arrecadação de tributos e recursos de instituições



federais (Como BNDES, Caixa, FUNASA, Banco do Brasil e Ministérios). Isto gera uma distorção no mercado, já que os indivíduos geradores do RSU (demandantes de serviços de gerenciamento) não são cobrados em termos dos custos marginais de suas ações. Logo, cada nova unidade de resíduo gerada teria o preço marginal nulo, devido a distância verificada entre a remuneração e a utilização do serviço em questão, levando a geração a um nível muito mais elevado do que o ótimo. Esta situação poderia ocasionar a superprodução ( $W$ ) de resíduos, gerando peso-morto (perda de bem-estar) para os agentes (SERROA DA MOTTA e CHERMONT, 1996; SNIS, 2013). O é que justamente o que vem acontecendo no Brasil.

No Brasil, o serviço de manejo é cobrado na minoria dos municípios e esta cobrança é feita via IPTU com isso não se internaliza o real custo (custo financeiro e social) da disposição dos resíduos. Como a maioria dos agentes econômicos brasileiros não balizam suas decisões de geração e disposição dos resíduos levando em consideração o real custo historicamente a disposição inadequada dos resíduos foi o método mais adotado pelas prefeituras por ser financeiramente mais barato. O que resultou em perda de bem-estar social devido aos recursos desperdiçados e problemas urbanos, como enchentes na área, ambientais e de saúde pública.

Como visto, a teoria sugere a implementação de um sistema integrado de gerenciamento de resíduos sólidos, que considere os custos sociais desta atividade, utilizando instrumentos de valoração econômica para alcançar o nível ótimo de geração ( $W^*$ ), sendo este o nível que minimiza as externalidades dos resíduos. Dessa forma, é possível conduzir uma segunda etapa de política governamental, à escolha entre as diversas alternativas de tratamento dos RSU.

Após determinar o nível ótimo, o desafio imposto para os formuladores de política é escolher entre as diversas tecnologia, e chegar a um nível ótimo de cada uma delas. Considerando uma equação simples para escolher a quantidade de resíduos que seria destinado para cada tecnologia temos:  $W^* = I + E + R$

Onde  $I$  - é o volume em tonelada de lixo eliminado ilegalmente (vazadouro a céu aberto);  $E$  - o volume de lixo eliminado em aterro sanitário, aterro controlado, incinerado ou utilizado para composto orgânico; e  $R$  - o volume de materiais recicláveis.

O objetivo do regulador é incentivar os municípios a reduzirem as externalidades dos resíduos, diminuindo (ou eliminando)  $I$  e/ou aumentando  $E$  e  $R$ . Mesmo que se reduza  $I$  a zero, e todo o material possível seja reciclado (chegar ao máximo de  $R$ ), os municípios ainda teriam

que buscar formas de maximizar **E**. Neste trabalho propõe-se que **E** seja maximizado utilizando o máximo possível de tecnologias de aproveitamento energético, usando como incentivo os Instrumentos Econômicos.

O sistema integrado de gerenciamento de resíduos sólidos, portanto, além de alcançar o nível ótimo de geração, deve atuar no sentido de obter o balanço ótimo entre as opções de destinação final e tratamento dos resíduos, garantindo o nível ótimo de cada opção escolhida. Nesse sentido, o arcabouço institucional, que inclui instrumentos econômicos, é um dos elementos mais importantes visto que suas diretrizes vão direcionar agentes econômicos a utilizar determinadas tecnologias.

## **II.2 OS INSTRUMENTOS DE POLÍTICA AMBIENTAL E A GESTÃO DE RSU**

Os princípios mais utilizados na estratégia econômica e ambientalmente sustentável de gerenciamento de resíduos são princípio do Poluidor Pagador e da Precaução. Segundo o primeiro é necessário impor qualquer tipo de taxação ou cobrança relativa a danos ambientais causados pelos agentes, a cobrança deve estar diretamente relacionada com a produção e/ou consumo de um determinado bem, ou ainda, ao custo de recuperação do ambiente atingido. Já o Princípio da Precaução prevê um mecanismo para lidar com a incerteza dos impactos. No caso brasileiro, a legislação utiliza tanto princípio do Poluidor-Pagador (Art.6º, II da Lei 12.305/2010 e Art. 4º da Lei 6.938/81) quanto o da Precaução (Art. 6º, I da Lei 12.305/2010) para nortear a gestão e o gerenciamento de RSU.

Os principais instrumentos de política ambiental são os Instrumentos Econômicos (IEs) e os Instrumentos de Comando e Controle (C&C). Na política ambiental brasileira os instrumentos de C&C são predominantes, entre os instrumentos utilizados temos o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental, licenciamento ambiental, penalidades disciplinares ou compensatórias (Art. 9º da Lei 6.938/2010). Porém, observamos a introdução de IEs na política ambiental brasileira, principalmente na lei nº 12.305/2010 e, em seu, decreto regulamentar nº 7.404/2010.

Os instrumentos econômicos partem do princípio que é possível corrigir uma falha de mercado a partir da agregação da variável ambiental à função de produção ou consumo final do

produto, via incentivos e desincentivos fornecidos pelo sistema de preços. Os IEs têm sido preferidos pelos formuladores de política, pois são alternativas mais baratas e de implementação mais simples que as medidas de C&C. Entretanto, os IES são complementares aos C&C e requerem uma integração do sistema de implantação e um estudo cuidadoso da realidade fiscal e monetária da economia a ser considerada (PIMENTEIRA, 2010).

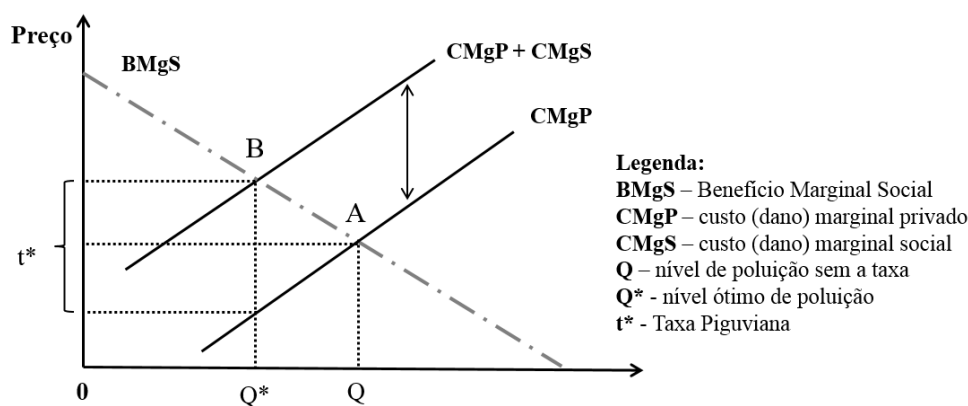
As principais funções dos instrumentos econômicos aplicados aos resíduos sólidos são financiar os serviços de gestão de resíduos sólidos, internalizar os impactos gerados pelo volume de resíduos produzidos e direcionar as ações dos gestores públicos, setores produtivos e população. Tais instrumentos podem envolver pagamento, compensação ou concessão de benefícios fiscais. Cabe destacar que o pagamento por serviços ambientais urbanos pode ser utilizado para remunerar a disposição adequada dos resíduos sólidos urbanos, dado que esta atua no sentido de produção de impactos positivos ou minimização de impactos ambientalmente negativos (MOTTA & YOUNG, 1997). Sob essa perspectiva, podemos considerar o aproveitamento energético dos RSU como um serviço ambiental.

Os IEs são alternativas economicamente eficientes e ambientalmente eficazes pois aumentam receitas governamentais e são capazes de estimular o comportamento dos agentes econômicos via incentivos. No entanto, os custos administrativos associados aos IEs podem ser elevados, visto que exige sistemas de monitoramento e outras atividades de fiscalização contínua (MOTTA & YOUNG, 1997). Portanto, dada a realidade brasileira se mostram ferramentas importantes, principalmente nas atividades de aproveitamento energético, isto é para reintroduzir resíduos sólidos urbanos no processo produtivo, sob uma nova perspectiva.

### **II.2.1 Taxa de Coleta por volume de resíduo gerado (TRSD)**

A eficiência econômica exige que se atribua o “preço correto” aos recursos ambientais. Para isso, uma opção é a introdução de um sistema de preços unitários para os resíduos como forma alternativa de financiamento dos custos de gerenciamento de RSU e, conseqüentemente, de correção da falha de mercado. Tal sistema de preços existiria sob a forma de taxa, que internalizaria os custos (ou benefícios) ambientais das externalidades nas atividades de gerenciamento de resíduos, induzindo a demanda por recursos ambientais (IPEA, 2012). Esta é a proposta da taxa Pigouviana.

A Taxa Pigouviana ( $t^*$ ) é um valor, que induz a produção ótima de poluição levando em consideração tanto custo privado como social (Gráfico 9). Esta taxa além de considerar o custo marginal privado (CMgP), levará em consideração o custo marginal social (CMgS), com isso o nível de poluição diminui de  $Q$  para  $Q^*$ , logo o novo ponto de equilíbrio (B) representa um movimento na curva ao benefício marginal Social (BMgS) em direção a um nível mais elevado de satisfação.



Taxa Pigouviana = ao custo marginal externo (CMgE) no nível ótimo de poluição ( $Q^*$ ).

Gráfico 9. Taxa Pigouviana

Fonte: Elaboração própria

Com relação aos RSU a ideia seria a cobrança de uma taxa aplicada sobre o peso ou volume de resíduos gerados por família ou domicílio. Esta ação incentivaria a reciclagem e o reuso dos resíduos, visto que reprimiria a demanda excessiva pelo serviço de gerenciamento de RSU. Além disso, por ser uma forma de cobrança vinculada ao volume contempla o princípio do poluidor-pagador e pode ser relacionada diretamente com os custos sociais associados à produção de resíduos e seus tratamentos (PEARCE e BRISSON, 1995 apud SERROA DA MOTTA e CHERMONT, 1996).

A receita gerada pela taxa pode ser usada para fomentar os serviços de gerenciamento de resíduos (coleta, tratamento, destinação final). Entretanto, esse instrumento exige que se adote a aplicação de um segundo instrumento sobre o volume destinado ilegalmente, pois se vários municípios adotem a taxação e não há fiscalização, a eficiência pode ser reduzida devido ao comportamento oportunista<sup>8</sup> dos agentes.

<sup>8</sup> Segundo a teoria econômica os agentes agem movidos pelo seu próprio interesse e oportunismo. O oportunismo implica que as partes podem agir antiteticamente, descumprindo contratos. Nesse caso, a falta de fiscalização faria

No caso brasileiro, quando há cobrança pelo serviço de manejo de resíduos sólidos urbanos esta é feita de forma desvinculada. Portanto, as taxas não são proporcionais ao volume de resíduos produzidos e aos custos necessários ao seu tratamento e destinação final ambientalmente adequada. Segundo a teoria sugere adotar a cobrança por volume gerado contribuiria para a efetiva internalização dos custos sociais, ambientais e econômicos dos resíduos sólidos. Entretanto, segundo a legislação brasileira:

Os serviços públicos de saneamento básico terão a sustentabilidade econômico-financeira assegurada, sempre que possível, mediante remuneração pela cobrança dos serviços. Para limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos urbanos: taxas ou tarifas e outros preços públicos, em conformidade com o regime de prestação do serviço ou de suas atividades (Art. 29º da lei 11.445/2007).

Logo, a cobrança pelo serviço de gerenciamento dos resíduos deve ser feita sempre que possível. Sendo assim, os municípios brasileiros legalmente poderiam estabelecer um sistema de cobrança de taxas de coleta por volume de resíduo gerado.

No Brasil, a experiência do município de São Paulo é um bom exemplo de taxa de coleta por volume de resíduo gerado (TRSD). Em 2002, a TRSD foi instituída originalmente pela Lei nº 13.478/2002, entretanto a Lei nº 14.125/2005 revogou tal forma de tarifação. A curta duração da lei mostra que pode existir uma forte resistência por parte do gestor municipal em aplicar tal taxa, já que os efeitos negativos sobre a popularidade eleitoral podem ser de grande magnitude. *“Infelizmente, tal opção política ocorre em detrimento da sustentabilidade financeira dos serviços de gestão de resíduos sólidos”* (IPEA, 2012; p.26). Entretanto, a meta do Plano Nacional de Resíduos Urbanos é que até 2031 pelo menos 75% dos municípios brasileiros cobrem os serviços de gerenciamento de resíduos sem a vinculação no IPTU. Em 2012 essa mesma parcela era de 11% (MMA, 2011; IPEA, 2012).

Em seu Art. 3º, XVII a lei nº 12.305/2010 estabelece o critério de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, logo gestores, cidadãos e o setor produtivo deverão estar envolvidos com a gestão integrada e os demais serviços públicos de limpeza urbana. Portanto, no caso em que a TRSD puder ser aplicada (por motivos de baixa renda per

---

com que os agentes buscassem formas de burlar o sistema de cobrança, como, por exemplo, jogar os resíduos em municípios vizinhos para não ter que pagar a taxa ou mesmo para reduzir o valor da taxa.

capita da população, determinação política, entre outros) outro tipo de instrumento econômico, como o descrito a seguir, é recomendado.

## **II.2.2 IPTU Verde: incentivo de redução e separação dos resíduos**

O IPTU Verde é um instrumento que favorece a redução na fonte e a eficiência na separação de materiais recicláveis e orgânicos, de forma a repartir os custos, esforços e as responsabilidades de separação (IPEA, 2012).

A ideia do IPTU Verde é dar um desconto no IPTU de forma a remunerar o custo evitado. Isto é, o custo do armazenamento dos recicláveis e o esforço em separar adequadamente os resíduos serão compensados pela redução do IPTU pago por domicílio. Dessa forma, o abatimento tem como limite o custo de logística de triagem de materiais recicláveis para desconto que o represente o custo evitado de triagem que seria pago pelo município. Os grandes centros populacionais devido aos ganhos de escala terão um maior volume de resíduos coletados a um custo menor. Para os locais com baixa concentração populacional a sugestão é o abatimento no IPTU empregando se um sistema de bônus que contabiliza o volume de materiais (recicláveis e/ou perigosos, como lâmpadas, pilhas, eletrônicos etc.) depositado por domicílio (IPEA, 2012).

Além disso, os municípios podem adotar metas de redução do volume de resíduos, e a porcentagem de desconto do IPTU poderá ser crescente em função dos resultados de redução na fonte. Contudo, para que o instrumento seja eficiente e não gere comportamentos oportunistas, o município deverá controlar e verificar a aplicação dos critérios de triagem, reaproveitamento e reciclagem de resíduos.

O IPTU Verde corresponde a um instrumento de “incentivo fiscal e crédito”, regulamentados no Art. 80º do Decreto 7.404/2010. Existem vários casos de IPTU verde nos municípios brasileiros, como os casos de Guarulhos (Lei nº 6.793/2010), Curitiba (Lei nº 9.806/2000), Sorocaba (Lei nº 9.571/2011), Araraquara (Lei nº 7.152/2009), São Vicente (Lei nº 634/2010) dentre outras cidades. No caso dos municípios de Guarulhos (SP), a prefeitura dá descontos para um conjunto de atividades sendo que para separação de resíduos sólidos

(exclusivo para condomínios horizontais ou verticais que comprovadamente destinem sua coleta para reciclagem) o desconto é de 5% de desconto no valor do IPTU.

Por serem propostas recentes de instrumento para gerenciamento de resíduos, os resultados quanto ao aumento de triagem e reciclagem e à redução do custo de manejo ainda não foram amplamente estudados.

### **II.2.3 Taxa sobre a destinação final em Aterro Sanitário**

A aplicação de uma taxa sobre o tipo de destinação final tem por finalidade reduzir a quantidade de resíduo eliminado de determinada maneira. A destinação em aterros sanitários visa tornar mais competitivo o investimento em formas de tratamento como a reciclagem, compostagem e outras formas de aproveitamento energético que não sejam o GDL.

A ideia deste instrumento é que o regulador implemente no município uma taxa com base no valor global dos serviços (coleta, centros de triagem e reciclagem, aterro sanitário com captura de metano, incineradores e outras tecnologias) e proporcional ao volume de lixo produzido por habitante. A receita arrecadada irá financiar o tratamento dos resíduos gerados no município. Contudo, para torná-la eficiente, é necessário considerar, além dos custos financeiros de coleta, tratamento e destinação, os custos ambientais, por exemplo, da perda de materiais recicláveis, caso não seja implementado um sistema de triagem, ou do potencial risco ambiental, no caso de aterro controlado ou aterro sanitário sem coleta de chorume e captura de gás metano.

No Brasil, não existe a cobrança de uma taxa diferenciada para a disposição em Aterros Sanitários que seja superior aos outros métodos de tratamento e destinação final de RSU. Na verdade, historicamente a disposição em Aterros foi a alternativa financeiramente mais atraente, portanto, privilegiada pelos gestores dos RSU. A única diretriz existente é a PNRS, segundo a qual os resíduos não podem ser depositados em Aterros Sanitários sem que antes tenham sido utilizadas todas as formas possíveis de tratamento.

## **II.2.4 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e geração de Crédito de Carbono**

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é um instrumento de impulso ao desenvolvimento sustentável dos países, mediante a transferência de tecnologia e incentivo a um novo padrão de expansão, baseado na conciliação entre crescimento econômico, inclusão social e respeito ao meio ambiente. O sucesso do MDL é fundamental para a consolidação dessa nova visão de desenvolvimento.

O fundamento do MDL é que a emissão de um país pode ser compensada pela não emissão de outro, com isso um país pode fazer alocação mais eficiente de poluição de acordo com as metas de emissão, pré-estabelecidas no Protocolo de Quioto, mediante aquisição de Reduções Certificadas de Emissão (RCEs) geradas por projetos de MDL, criando um mercado de RCEs , também chamado de Crédito de Carbono.

O MDL cria oportunidades de negócio com a venda de serviços ambientais associados à redução de emissões e a captura de carbono. O primeiro projeto de Desenvolvimento Limpo registrado no mundo foi brasileiro, o projeto NovaGerar, de aproveitamento de biogás de aterro sanitário. Até 2006 a redução de emissões de gases de efeito estufa em programas brasileiros validados foi de 184 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (PwC, 2007).

Segundo o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (2014) até 30 de novembro de 2014 o Brasil tinha 330 atividades registradas no MDL, das quais 15,2% eram referentes a projetos de Gás de Aterro Sanitário. Estes projetos receberam 19.405.469 RCEs, cerca de 20% do total distribuído no período. Entretanto, a maioria desses projetos envolvem a queima dos gases, isto é, não há aproveitamento energético.

A legislação brasileira prevê o apoio à elaboração de projetos no âmbito do MDL ou quaisquer outros mecanismos decorrentes da Convenção Quadro de Mudança do Clima das Nações Unidas (Art. 8º, VII, do Decreto 7.404/2010).

A tabela 9 apresenta uma síntese dos instrumentos apresentados nesta seção e destaca as possíveis contribuições e entraves de cada instrumento. É possível notar que alguns



instrumentos de política ambiental têm sido usados, porém um importante instrumento como a taxação por volume resíduo gerado ainda não é aplicado no país.

Tabela 9. Síntese dos Instrumentos de Política Ambiental e sua utilização no Brasil

<b>Instrumentos</b>	<b>É utilizado no Brasil?</b>	<b>Possíveis contribuições para o gerenciamento de RSU</b>	<b>Possíveis entraves para implantação</b>
<b>Taxa de Coleta por volume de resíduo gerado (TRSD)</b>	Não	Internalização dos custos sociais, ambientais e econômicos dos resíduos sólidos	Exigi instrumentos complementares para evitar a disposição ilegal. Os prefeitos têm forte resistência em adotar este tipo de taxação por consideram que a taxa é uma medida impopular.
<b>IPTU Verde</b>	Sim	Redução na fonte geradora de RSU Aumento da eficiência na separação de materiais recicláveis e orgânicos	Exige mecanismos de controles eficientes para que os critérios de triagem, reaproveitamento e reciclagem de resíduos sejam realizados de forma correta.
<b>Taxa sobre a destinação final em Aterro Sanitário</b>	Não	Torna mais competitivo o investimento em formas de tratamento dos RSU	É difícil dimensionar o valor da taxa. E a má definição do valor da taxa a torna ineficiente.
<b>Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)</b>	Sim	Renda adicional o que ajuda a viabilizar os projetos de destinação adequada de RSU	Os projetos participar do MDL devem obedecer uma série de validações e outros requerimentos, o que reduz a flexibilidade.

Fonte: Elaboração própria

### **II.3 OS INSTRUMENTOS ECONÔMICOS E O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RSU**

É importante destacar que a maioria dos instrumentos econômicos utilizados no âmbito das políticas ambientais, podem ser usados como instrumento de política energética, dado os impactos ao meio ambiente provenientes da geração e uso da energia. Um exemplo da interface entre política energética e ambiental é a emissão de gases causadores de efeito estufa. A utilização de instrumentos econômicos de política ambiental visando a redução dos gases de efeito estufa pode ser afetar diretamente a política energética incentivando o uso de fontes renováveis de energia e incitando ações como a captura e o aproveitamento energético dos gases emitidos pelos aterros sanitários.

A internalização dos custos ambientais tem sido um fator importante para justificar o uso fontes alternativas e renováveis de geração de energia. No caso da geração de eletricidade, por exemplo, as fontes alternativas e renováveis, se comparada com as fontes convencionais, apresentam grandes vantagens no que diz respeito ao impacto ambiental. Contudo, pela dificuldade de classificar e valorar os impactos ambientais, estes passaram a ser considerados somente de forma qualitativa o que, muitas vezes, oculta o real valor da energia gerada pelas fontes convencionais apresentadas como as mais baratas (DUTRA, 2007).

Como visto os instrumentos econômicos atuam no sentido de internalizar os custos sociais e ambientais da geração de resíduos, logo assumem um papel fundamental para incentivar o uso dos resíduos como fonte de geração de energia.

As iniciativas e instrumentos utilizados para estímulo às fontes renováveis, de uma maneira geral, podem ser utilizados para resíduos. Segundo Costa (2006) há duas categorias de instrumentos econômicos para incentivas as FER, instrumentos econômicos sobre preço e quantidade (Tabela 10). Os instrumentos sobre preços visam impactar estes ou tentam facilitar o mercado através do estabelecimento de um “preço-premium”. Já os instrumentos sobre a quantidade têm natureza regulatória e definem a quantidade mínima de energia renovável a ser produzida ou consumida.

Tabela 10. Instrumentos Econômicos de incentivo à geração de energia renovável

<b>Regulatórios baseados:</b>	<b>Preço</b>	<b>Quantidade</b>
<b>Investimento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Subsídio Financeiro</li> <li>• Incentivo Fiscais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de Leilão (Tender system)</li> </ul>
<b>Geração</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incentivos Fiscais</li> <li>• Feed-in Tariffs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de Leilão (Tender system)</li> <li>• Sistema de Quotas com certificados verdes</li> </ul>

Fonte: COSTA (2006)

### II.3.1 Subsídio Financeiro

Constitui um mecanismo para superar barreiras de um investimento com alto custo inicial (menor viabilidade econômica). A grande vantagem do subsídio ao investimento está na redução do montante de capital inicial próprio necessário para iniciar o projeto. Por outro lado, os critérios para escolha do nível de subsídio e as tecnologias a serem beneficiadas podem

dificultar a evolução de um mercado mais competitivo, no curto prazo, e também a adoção gradual de avanços tecnológicos. Em princípio, o subsídio é arcado por todos os contribuintes (consumidores e não consumidores), o que pode representar uma deficiência do incentivo. Este subsídio pode ser estabelecido sob a forma de valor por kW (\$/kW) ou uma porcentagem sobre o investimento total.

### **II.3.2 Incentivos Fiscais**

Os incentivos fiscais atuam em diversas modalidades de redução ou abatimento em impostos especiais aplicados na geração de eletricidade, isenção (redução) tributária para fundos verdes, e utilização de fundos específicos para a geração limpa. As medidas fiscais proporcionam um benefício (custo evitado) para o empreendedor ao longo do período do benefício fiscal. Apesar de os incentivos fiscais representarem uma redução das arrecadações tributárias do governo, eles são muitas vezes necessários para a viabilização de projetos com altos custos iniciais. Ao mesmo tempo em que os recursos estão direcionados para viabilizar projetos, os recursos fiscais podem proporcionar que empreendedores utilizem estes recursos na absorção de novas tecnologias, o que, de certa forma, proporciona desenvolvimento tecnológico mesmo que de forma indireta (DUTRA, 2007; COSTA, 2006).

### **II.3.3 *Feed-in tariffs***

Neste caso há uma mistura de mercado e regulação, pois o preço é especificado pelo governo, enquanto a quantidade é determinada pelo mercado. Nesse sistema, é pago um “Preço Premium” para a eletricidade e as empresas de energia devem comprar eletricidade, colocada em rede, pelo preço estabelecido. O “Preço Premium” pode ser aplicado separadamente para cada tecnologia e pode incluir uma taxa de regressão anual no valor do “Preço-Premium” de forma a promover a eficiência das tecnologias beneficiadas com o subsídio.

Além disso, as tarifas do sistema *Feed-in* podem ser baseadas nos custos evitados das fontes não renováveis de energia ou no preço da energia elétrica do usuário final adicionada por um bônus ou prêmio, que estaria relacionado com os benefícios sociais e ambientais

proporcionados pelas fontes de geração renovável. Também podem ser ajustadas a um certo nível com o objetivo de encorajar a própria produção energética com de geração renovável sem que este nível tenha nenhuma relação com os custos ou preços das fontes de energia fóssil (COSTA, 2006).

O sistema *Feed-in* cria estabilidade financeira ao garantir uma remuneração no longo prazo e rendas adicionais, incentivando a inovação e possibilitando investimentos em pesquisas de novas tecnologias. As tarifas podem ser reduzidas gradualmente à medida que evolui a tecnologia, com isso reduz-se o impacto pago pelo consumidor e a promove uma renda extra que produtores inovadores podem obter. É atualmente mais barato e mais efetivo do que o Sistema de Quotas, porém a duração do subsídio é um parâmetro importante para garantir a efetividade desse instrumento (DUTRA, 2007).

#### **II.3.4 Sistema de Leilão (*Tender System*)**

Esse sistema envolve um processo de leilão, administrado pelo governo, através do qual os empreendedores de fontes de energia renovável concorrem para ganhar os contratos ou para receber um subsídio de um fundo administrado pelo governo. O governo decide as quantidades e os menores preços vencem o leilão - a oferta mais competitiva- princípio que leva a custos mínimos.

Os preços dos leilões tendem a seguir as curvas de custos marginais, visto que os vencedores dos leilões são as fontes que apresentam menor preço. No processo natural do sistema de leilão, quando ocorre um desenvolvimento tecnológico curva dos custos marginais é deslocada, os preços máximos praticados antes do desenvolvimento tecnológico são automaticamente substituídos por preços menores. Com isso, há desestímulo ao desenvolvimento tecnológico, visto processo cancela automaticamente o potencial de renda extra proveniente do desenvolvimento tecnológico (DUTRA, 2007).

### **II.3.5 Sistema de Quotas com certificados verdes**

O sistema de cotas é uma política de incentivo focada na quantidade de energia renovável produzida. A quantidade de energia proveniente de FER é especificada pelo governo, enquanto o preço é determinado pelo mercado. Isso é feito estabelecendo-se (pelo governo) a quantidade ou porcentagem de eletricidade que deve ser produzida a partir da FER. A obrigação é imposta normalmente sobre o consumo, mas também pode ser sobre a produção. Uma vez definida a quantidade, um mercado paralelo de certificados verdes de energia renovável é estabelecido de acordo com as condições de demanda e geração (estabelecida pela regulação). A tarifa, por ser determinada pelo mercado e não de forma administrativa, implica infraestrutura regulatória e gerencial sofisticada acarretando altos custos de transação.

Existem muitos instrumentos que podem ser aplicados para incentivar o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos. E estes apresentam algumas vantagens e desvantagens que devem ser observadas antes de sua aplicação (Tabela 11).

O subsídio financeiro, por exemplo, tem como dificuldade de implementação a escolha do nível de subsídio, quais tecnologias serão beneficiadas e da duração do subsídio, fatores que são importantíssimos para a efetividade do instrumento. Já o Sistema de Quotas com certificados verdes tem como ponto positivo o potencial de criação de um mercado competitivo, que garante o valor mais baixo para os investimentos, porém, o sistema de cotas é instável e não oferece segurança no longo prazo. Depois que a meta é atingida, não há mecanismos previstos para manter a produção de energias renováveis competitivas em relação às fontes convencionais. Logo, desestimula a entrada de novos investidores.

Tabela 11. Vantagens e desvantagens dos IEs para incentivar a geração de energia

Incentivos	Vantagens	Desvantagens
<b>Via Preços:</b>		
Subsídio Financeiro	Redução do montante de capital inicial próprio necessário para iniciar o projeto	Dificuldade de escolher o nível, as tecnologias a serem beneficiadas e a duração do subsídio
Incentivos Fiscais	Pode incentivar desenvolvimento tecnológico	Redução das arrecadações tributárias do governo
	Ajuda a financiar projetos com elevada exigência de capital inicial	Pode aumentar o custo de empreendimentos para o sistema
<i>Feed-in Tariffs</i>	Garante estabilidade financeira para os projetos	Pode reduzir a competitividade no mercado energético Há dificuldade de operar ajustes que reflitam mudanças nos custos de produção das tecnologias renováveis
<b>Via Quantidade:</b>		
Sistema de Leilão ( <i>Tender system</i> )	Leva a custo mínimos para o sistema energético	Pode tornar o mercado intermitente e instável Há ainda o risco de investidores apenas especularem apresentando lances baixos para depois não efetivarem os projetos.
Sistema de Quotas com certificados verdes	Potencial de criar um mercado competitivo	O sistema de cotas é instável e não oferece segurança no longo prazo.
	Formação de um mercado paralelo	Desestimula a entrada de investidores

Fonte: Elaboração própria

## **CAPÍTULO III - ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E INSTITUCIONAIS DO BIOGÁS DE ATERRO SANITÁRIO**

Existem hoje várias tecnologias maduras para a geração de energia a partir de resíduos. Sendo assim, a obtenção de energia utilizando RSU pode se dar de diversas formas a depender das alternativas tecnológicas disponíveis, dos arranjos institucionais e financeiros vigentes. Este capítulo tem como objetivo apresentar aspectos técnicos, econômicos e institucionais do Gás de Lixo, mais conhecido como Biogás de Aterro Sanitário.

Cabe destacar que o Aterro Sanitário, segundo a legislação vigente, não deve ser considerado como um método de destinação de RSU. Este somente deve ser usado após se esgotarem todas as possibilidades de tratamento, seguindo os princípios prioritários do art. 9º, *caput*, da lei 12.305/2010. Entretanto, o mesmo aqui será discutido, uma vez que é a única<sup>9</sup> opção atualmente em operação comercial para a recuperação de energia a partir de RSU. Ademais, é uma opção muito interessante, no curto e médio prazos, para os gases produzidos em boa parte dos aterros já existentes. Além de ser condizente com as diretrizes do Plano Nacional de Resíduos Sólidos: deve-se induzir a geração de energia por meio dos gases gerados em aterros sanitários (MMA,2011).

### **III.1 ASPECTOS TÉCNICOS**

O uso energético mais simples dos resíduos urbanos é a geração do GDL, o biogás produzido nos Aterros Sanitário. Essa tecnologia visa recuperar os gases, oriundos da disposição dos resíduos nos aterros, e destiná-los a outros fins que não sejam a simples emissão descontrolada na atmosfera.

---

<sup>9</sup> Existe apenas uma usina de Recuperação Energética em escala comercial no Brasil. Está localizada em Barueri e será primeira unidade de tratamento térmico de resíduos do Brasil, e terá capacidade para tratar 825 toneladas de lixo por dia e gerar 17 MWh de energia já no início de sua operação, prevista para 2015, entretanto ainda não está em operação. Fonte: <http://www.urebarueri.com.br/>

### **III.1.1 O Aterro sanitário**

O aterro é uma área onde são dispostos resíduos domésticos, comerciais, de serviços, de saúde, da indústria de construção, e também resíduos sólidos retirados do esgoto. Segundo a Norma NBR8419 da ABNT, o Aterro sanitário é uma:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos sem causar danos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais. Este método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário (ABNT, 2010, p.1).

O aterro sanitário difere do Lixão e do Aterro controlado, pois possui sistemas de proteção do subsolo, de tratamento de efluentes líquidos e de captação do gás metano (liberado pela decomposição da matéria orgânica). Logo, é uma forma de disposição adequada dos resíduos sólidos urbanos.

A grande desvantagem dos Aterros Sanitários, quando comparados com qualquer outra forma de destinação de resíduos, vem da necessidade dos diversos cuidados e medidas que devem ser tomadas após o fim das suas atividades. Esses cuidados pós fechamento incluem o monitoramento das águas dos corpos hídricos sob influência do aterro, o monitoramento do lençol freático abaixo da estrutura do aterro, e a análise da integridade e estabilidade da estrutura geológica que forma o aterro. Diferentemente de outras formas de destinar os RSU, o terreno inicial onde um dia houve um aterro fica inutilizável para diversos fins devido à sua instabilidade.

### **III.1.2 Formação do Gás de Lixo no aterro**

O GDL é resultado de processos físicos, químicos e microbiológicos que ocorrem dentro do resíduo. A recuperação do biogás oriundo dos aterros parte da decomposição anaeróbica da fração orgânica dos RSU, processo simples que ocorre naturalmente com quase todos os compostos orgânicos. Os resíduos ao serem depositados nos aterros, isto é, ao serem colocados e compactados a uma densidade específica, iniciam um processo de digestão anaeróbica (sem



oxigênio) que transforma os resíduos em substâncias mais estáveis como dióxido de carbono, água, gás metano e outros.

O processo de digestão é desenvolvido por uma sequência de etapas realizadas por uma série muito grande e diversificada micro-organismos, no qual pode-se distinguir quatro fases subsequentes: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (Figura 2). Tem-se, então, uma cadeia sucessiva de reações bioquímicas, onde inicialmente acontece a hidrólise ou quebra das moléculas de proteínas, lipídios e carboidratos até a formação dos produtos finais, essencialmente gás metano e dióxido de carbono e outros componentes em pequenas quantidades, que podem ser tóxicos, apresentando riscos à saúde pública (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994; DEUBLEIN e STEINHAUSER, 2008).

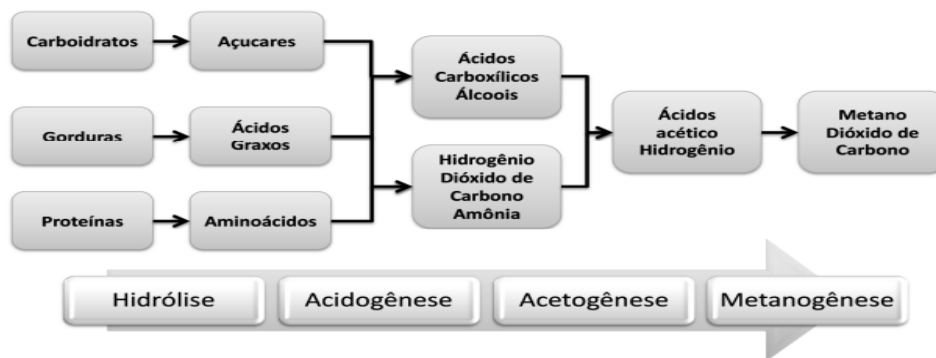


Figura 2. Processo de Biodigestão Anaeróbica

Fonte: Al Seadi et al (2008) apud EPE (2014)

As condições do aterro são fatores determinantes na duração das fases citadas e, portanto, do tempo de geração do Biogás, que também podem variar com as condições climáticas locais. Por isso, é muito importante fazer estudos sobre o potencial de geração de GDL de determinado aterro, pois isso influenciará diretamente a viabilidade econômica do projeto. Segundo BRITO FILHO (2005) os fatores que mais afetam a geração de biogás são: Composição do resíduo, tamanho das partículas, Idade do resíduo, teor de umidade, nível de pH, temperatura e outros. A composição do resíduo é o fator mais importante, pois o potencial máximo de GDL depende fundamentalmente da quantidade e do tipo de conteúdo orgânico dentro da massa de lixo. Quanto maior a fração orgânica dos RSU, maior será o potencial de produção de biogás do aterro.

Cabe destacar que os resíduos produzidos na América Latina e Caribe têm tipicamente teor de umidade e material orgânico mais alto do que a maioria dos resíduos norte-americanos ou europeus e, dessa forma, se espera que gerem GDL a taxas mais altas ou equivalentes (BRITO FILHO,2005)

Durante a vida útil do aterro a acumulação do lixo e a produção de biogás são crescentes, todavia, quando a deposição de resíduos termina, a produção entra em declínio mais ou menos acelerado a depender da composição dos resíduos ali depositados (Gráfico 10). A curva de oferta de energia primária declinante mostra que o dimensionamento de usinas para o aproveitamento do GDL coletado não seja algo trivial e, mais do que outras fontes, impõe um forte compromisso técnico-econômico, principalmente no caso de usinas de geração energia elétrica.

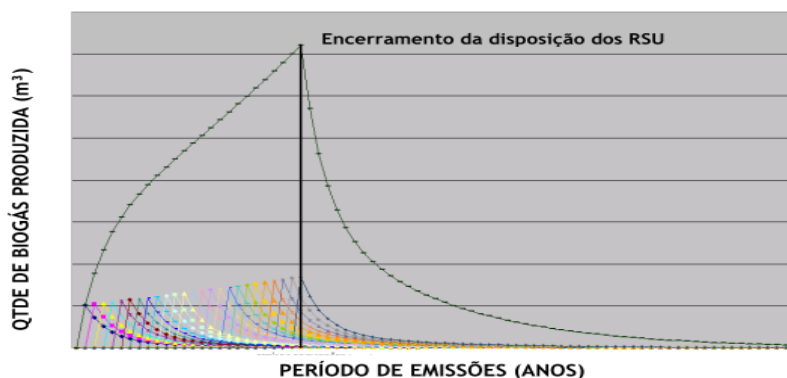


Gráfico 10. Evolução típica da produção de biogás em aterro sanitário

Fonte: EPE, 2014

O aproveitamento econômico do Biogás fica limitado a um espaço de tempo relativamente pequeno (até 30 anos) em relação à duração das emissões. Mesmo durante esse tempo nem todo o gás produzido é aproveitável devido à limitação econômica da potência das unidades geradoras (EPE, 2014).

### III.1.3 Aspectos físicos e químicos do GDL

A composição do GDL depende fundamentalmente das características dos resíduos depositados e de suas fases de decomposição. Em geral, biogás dos aterros é composto de 45 a

60% de metano, 35 a 50% de CO<sub>2</sub> e por uma pequena quantidade de outros elementos como nitrogênio (N<sub>2</sub>), hidrogênio (H<sub>2</sub>), sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) e nitrato de hidrogênio (NH<sub>3</sub>) (HENRIQUES,2004).

O metano é componente mais importante para a utilização o biogás como combustível. A presença de substâncias não combustíveis como água e dióxido de carbono, prejudica o processo de conversão tornando-o menos eficiente, visto que estas substâncias absorvem parte da energia gerada quando entram com o combustível no processo de combustão. O poder calorífico do biogás é maior à medida que se eleva a concentração de metano (PECORA,2006).

O poder calorífico e a eficiência média de combustão são os fatores determinantes na equivalência energética do biogás em relação a outros combustíveis. É possível substituir determinados combustíveis utilizados na indústria pelo biogás. Esta substituição poderia trazer muitos benefícios, visto que a utilização de combustível fóssil pode trazer diversos impactos ambientais negativos (Tabela 12).

Tabela 12. Quantidade de insumo para a produção de energia equivalente a 1 Nm<sup>3</sup> de biogás

Combustível	Quantidade equivalente a 1 Nm <sup>3</sup> de Biogás
Carvão	0,80 kg
Lenha	1,50 kg
Óleo Diesel	0,55 L
Querosene	0,58 L
Gasolina	0,61 L
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	0,45 L
Álcool Carburante	0,80 L
Carvão Mineral	0,74 kg

Fonte: CARDOSO FILHO, 2001

#### III.1.4 Planta de GDL: Sistemas de coleta, tratamento e recuperação do biogás de aterro

O melhor tipo de projeto para um aterro dependerá de uma diversidade de fatores, incluindo a existência de um mercado de energia para o energético final, custos do projeto, potencial de recursos renováveis, e muitas questões técnicas. Uma planta de GDL, porém, têm três componentes básicos: **sistema de coleta de gás**; **sistema de tratamento**; e um **sistema de recuperação de energia**, sendo que os dois primeiros determinaram a quantidade e a qualidade

do combustível que será recuperado destes gases. Todavia, a planta como um todo pode ser constituída de diferentes tipos de sistemas de extração e utilização (Figura 3).

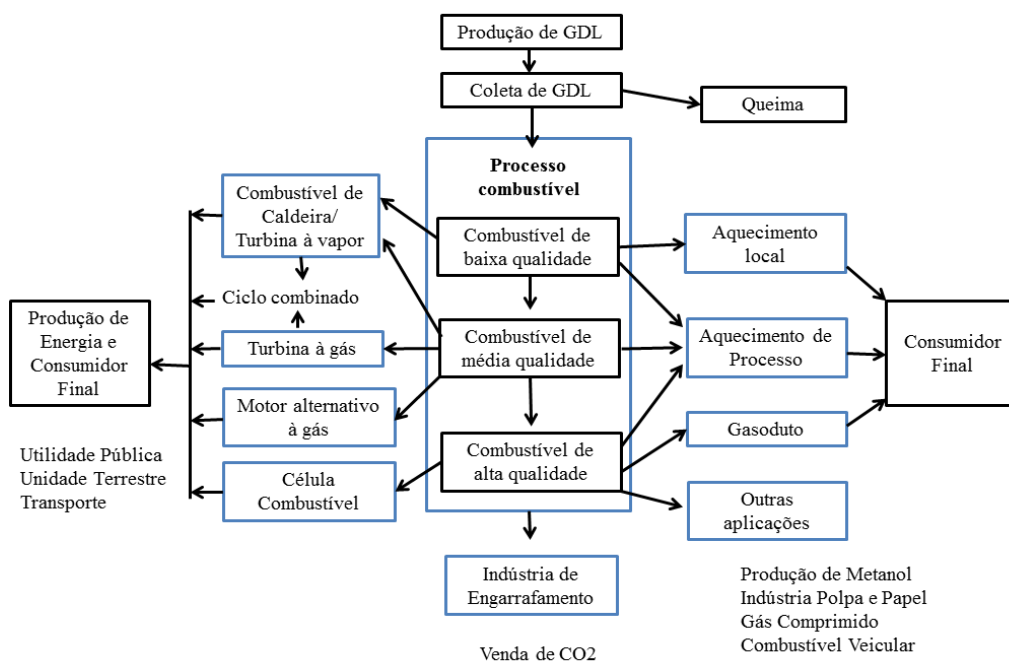


Figura 3. Sistemas de recuperação de GDL

Fonte: (WILLUMSEN, 2001; EPE, 2014)

### III.1.4.1 Sistema de coleta de gás

A maioria dos sistemas de coleta de gás normalmente começa após uma parte do aterro (chamada célula) ser fechada. A extração é feita através de tubos verticais perfurados ou canais, sendo que esta é a forma mais simples de extrair o gás quando o mesmo já está formado. Além disso, podem ser colocados tubos horizontais quando o lixo ainda está sendo depositado no solo, sendo esta uma forma apropriada para aterros sanitários profundos. Deste modo, o GDL poderá ser extraído mais facilmente desde o início de sua produção, já que o gás pode começar a ser retirado antes do aterro ser totalmente coberto (WILLUMSEN, 2001). “*Em aterros sanitários construídos conforme as normas nacionais vigentes, já está prevista a colocação desta tubulação para coleta do gás*” (ABNT 1992 apud Henriques, 2004; ABNT 1995 apud Henriques, 2004, p. 44).

Em alguns casos, uma membrana protetora é colocada sobre o aterro e quase todo o gás pode ser coletado e recuperado. Esta, porém, é uma solução cara e é mais utilizada em países

com uma demanda restrita e com cuidados específicos sobre cobertura de aterro. A colocação da membrana faz com que a entrada de água seja obstruída impedindo a formação de gás de lixo. É necessário, portanto, que haja injeção de água sob a membrana para que haja continuidade na produção de gás (HENRIQUES, 2004; OLIVEIRA, 2004).

Em todo sistema de coleta cada uma das pontas dos tubos é conectada a uma tubulação lateral, que transporta o gás para um coletor principal. Além disso, o sistema de coleta deve ser projetado para que o operador possa monitorar e ajustar o fluxo de gás, quando necessário. Nos aterros onde não houve instalação prévia dos tubos de coleta existe perda de biogás, fenômeno conhecido como emissão fugitiva (cerca de 30%), mesmo onde houve a instalação prévia ainda é possível que haja uma pequena fuga de gás, inferior a 5%. Isto ocorre como resultado da pressão positiva do biogás, que favorece o vazamento através dos caminhos preferenciais formados através da argila utilizada na cobertura (OLIVEIRA, 2004).

Apesar de acoplada a um sistema sanitário existente, o que reduz custos, este tipo de usina convive com a incerteza quanto à disponibilidade do combustível – função das emissões fugitivas que naturalmente ocorrem nos vazadouros, visto que as grandes áreas utilizadas impossibilitam a vedação total e a curva típica de oferta de gás dificulta o dimensionamento do empreendimento elétrico.

#### **III.1.4.2 Compressor**

O compressor é fundamental para retirar o gás dos poços de coleta, e este também pode ser necessário para comprimir o gás antes da entrada no sistema de recuperação energética. O tamanho, tipo, e número de compressores necessários dependerão da taxa do fluxo de gás e do nível desejado de compressão que tipicamente é determinado pelo equipamento de conversão energética (OLIVEIRA, 2004).

#### **III.1.4.3 Sistema de tratamento**

- Tratamento de condensado

Ao atravessar o sistema de coleta o gás (ainda quente) se resfria formando um condensado. Este, caso não seja removido, pode bloquear o sistema de coleta e interromper o processo de recuperação de energia. O controle do condensado começa normalmente no sistema de coleta, onde tubos inclinados e conectores são usados para permitir a drenagem em tanques ou armadilhas de coleta. Estes sistemas são normalmente complementados por uma remoção de condensado pós-coleta. As características do condensado (função dos componentes dos resíduos depositados), a legislação e regulação vigentes, e o custo de tratamento e/ou disposição são o que determinará o melhor método para disposição do condensado (OLIVEIRA, 2004).

➤ Tratamento de gás

Após a coleta, e antes de ser usado no processo de conversão de energia, o biogás é tratado para remover algum condensado que não foi coletado nos tanques de captura, assim como qualquer particulado e outras impurezas. O nível de complexidade do tratamento do biogás depende da aplicação de uso final. Para o uso direto do gás em caldeiras é necessário apenas o tratamento mínimo, já para injeção em um gasoduto é necessário um tratamento mais extensivo para remover o CO<sub>2</sub>. Durante o tratamento é utilizado uma série de filtros para remover impurezas, visto que estas podem danificar os componentes do motor ou turbina e, com isso, reduzir a eficiência do sistema (HENRIQUES, 2004).

#### **III.1.4.4 Flare**

Um *flare* é um dispositivo simples para ignição e queima do GDL, podendo ser aberto (ou vela) ou enclausurado. Os deste último tipo são mais caros, mas podem ser requeridos porque proporcionam testes de concentração e podem obter eficiências de combustão altas. Além disso, *flares* enclausurados podem reduzir o nível de ruído e iluminação. Todo sistema de recuperação tem um *flare* porque este é um equipamento necessário para queima do excesso do biogás ou para uso durante os períodos de manutenção do sistema (HENRIQUES, 2004).

### III.1.4.5 Sistema de Recuperação de Energia

O aproveitamento do Gás de Lixo como energético tem como finalidade converter o gás em alguma forma de energia útil, como eletricidade, vapor, combustível para caldeiras ou turbinas, combustível veicular, ou, ainda, gás de alta qualidade para abastecer gasodutos. Há, portanto, diferentes alternativas para viabilizar a utilização do gás produzido em um aterro sanitário, aqui destacaremos a geração de energia elétrica, térmica, gás natural.

É importante destacar que a escala de produção de RSU também influenciará o potencial de implantação de projetos de recuperação de biogás, visando ao seu aproveitamento energético. De acordo com a literatura a recuperação energética só é viabilizada em aterros que possuam uma capacidade mínima de 300 t/dia, gerando de 0,1 a 0,2 MWh/t de RSU (GRS/UFPE, 2014).

#### ➤ Geração de Energia Elétrica

Para a geração de energia elétrica a partir do biogás são utilizados dispositivos que em uma primeira etapa convertem a energia química em energia cinética de rotação, através dos motores. O motor se conecta a um gerador, que transforma esta energia cinética de rotação em energia elétrica. A seguir serão descritos dois destes dispositivos de conversão:

1. Motor de Ciclo Otto: é o equipamento mais utilizado na queima do biogás, com ele é possível obter o maior rendimento elétrico e o menor custo de operação (instalação e manutenção), se comparado com outras tecnologias. Além disso, este possui uma cadeia produtiva completa no Brasil (DOS SANTOS, 2011).

2. Microturbina a gás: as microturbinas apresentam a possibilidade de geração de eletricidade em pequena escala, com alta confiabilidade e fácil instalação e manuseio. Dessa forma, possibilita a micro geração distribuída de eletricidade (DOS SANTOS, 2011).

#### ➤ Geração de Energia Térmica

A finalidade da geração de energia térmica é a produção de vapor d'água em temperaturas elevadas, que poderá ser utilizado por diversas indústrias que demandem vapor para os mais variados fins. Segundo Dos Santos (2011), no caso dos aterros sanitários, podemos obter o vapor da queima do biogás através de basicamente duas formas: através de uma caldeira, utilizando o ciclo a vapor Rankine, ou através de um sistema de evaporação do chorume.

1. Caldeira: No processo da caldeira é possível produzir vapor e/ou energia elétrica. Para a produção de eletricidade, com ou sem a cogeração de energia térmica, o vapor percorrerá um ciclo fechado, mais conhecido como ciclo Rankine, um processo de maior eficiência energética. Uma das limitações na produção da energia térmica é que as unidades cogeneradoras devem estar próximas às instalações que utilizarão esta energia, pois, diferentemente da energia elétrica, o vapor não pode ser facilmente transportado por grandes distâncias devido às perdas energéticas durante o seu trajeto.

2. Evaporadores de Chorume: Neste processo ocorre a redução de aproximadamente 70% do volume inicial do lixiviado tratado. O tratamento é realizado em um equipamento denominado evaporador, onde o biogás é utilizado como combustível. A queima do combustível faz com que se evapore a fração líquida gerando vapor e uma fração sólida. O vapor pode passar por sistemas de purificação, antes ser lançado à atmosfera, ou ser utilizado como fonte de energia térmica. A parte sólida retorna ao aterro para ser disposto normalmente como os outros resíduos. Esta técnica de tratamento é utilizada atualmente em diversos países pelo mundo como os EUA, países da Europa, e inclusive no Brasil (DOS SANTOS, 2011).

#### ➤ Geração de Gás Natural e GNV

Além do uso direto do GDL em sua forma básica podemos convertê-lo para combustíveis de mais alta qualidade. Há vários tipos de processo para tal conversão, entretanto todos têm como objetivo aumentar quantidade de metano contido e conversível reduzindo as outras substâncias presentes no GDL como nitrogênio, oxigênio e dióxido de carbono. Dessa forma, é possível obter combustíveis como Gás Natural, que pode ser vendido nos gasodutos para diversas indústrias, Gás Natural Veicular (GNV), Gás Natural Liquefeito (GNL), Gás Natural Comprimido (GNC), que podem ser usados para os veículos no próprio aterro ou podem ser vendidos no mercado de combustíveis em geral.



## III.2 ASPECTOS ECONÔMICOS: CUSTOS, DEMANDAS E OFERTAS

Em ambientes complexos e incertos os agentes econômicos, em condição de racionalidade limitada<sup>10</sup>, tomam decisões que envolvem informações imprecisas e objetivos múltiplos. Estes processos de decisão, em geral, envolvem a alocação de recursos escassos em busca da eficiência econômica.

Segundo a teoria econômica Neoclássica, a lógica de escolha dos indivíduos está baseada na maximização da utilidade, isto é, da satisfação e do bem estar dos agentes, de forma que há sempre um custo de oportunidade<sup>11</sup> para cada decisão. Quando se trata do bem-estar social, como é o caso do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, a decisão recai em alternativas que demandam o menor volume de recursos, ao tempo em que reflitam o maior benefício social.

O benefício social do gerenciamento de resíduos aparece sob a forma de serviços (custo evitado<sup>12</sup>) e oferta de bens (geração de energia, por exemplo). Entretanto, a oferta de bens e serviços de qualquer atividade é influenciada por diversos fatores, dentre eles as condições de oferta de insumos, distância de transporte, condições de demanda dos bens e serviços produzidos, incentivos econômicos (subsídios, taxas, tarifas e etc.), regulamentações, entre outros. Portanto, a instalação de qualquer tipo de unidades de tratamento e disposição final de RSU em municípios e regiões também tem sua viabilidade vinculada a esses condicionantes.

Nesse contexto, a análise das demandas e custos, e da oferta aparecem como elemento essencial na escolha da forma mais adequada de se tratar/destinar os resíduos. É importante, portanto, evidenciar os custos<sup>13</sup> envolvidos na geração do GDL, os produtos derivados dos diferentes tipos de tratamento do GDL. E este é o propósito desta seção.

---

<sup>10</sup> Ver SIMON, Herbert A. A behavioral model of rational choice. The quarterly journal of economics, p. 99-118, 1955.

<sup>11</sup> Em Economia o custo de oportunidade representa o valor associado a melhor alternativa não escolhida. Ao se tomar determinada escolha, deixa-se de lado as demais possibilidades, pois são excludentes. À alternativa escolhida, associa-se como "custo de oportunidade" o maior benefício NÃO obtido das possibilidades NÃO escolhidas.

<sup>12</sup> Aqui o termo custo evitado significa a redução das externalidades negativas dos resíduos.

<sup>13</sup> A avaliação correta dos custos das tecnologias de tratamento e disposição dos RSU envolve a análise dos custos econômicos e contábeis, podendo ser aplicada alguma análise de custo benefício. Entretanto, devidos às limitações deste trabalho, o tópico aborda apenas custos contábeis (financeiros).

### III.2.1 Demandas e Custos

A determinação dos custos de implantação, operação e manutenção de um projeto de tratamento e destinação final de resíduos, e, portanto, sua viabilidade econômica, não é trivial e de simples generalização. Os custos financeiros aparecem sob a forma de demanda dos projetos, isto é, incluem gastos relativos à execução de obras civis, aquisição de máquinas, suprimento e outros componentes necessários para que os processos se instalem e operem, além de projetos executivos e taxas de licenciamento, entre outras despesas pré-operacionais, movimentando, dessa forma, uma cadeia ampla de comércio e serviços especializados (BLEY Jr, 2012; GRS/UFPE, 2014).

Como mostra o capítulo 1 a geração de resíduos é algo inerente à vida humana e os tipos de resíduos gerados dependem do padrão de consumo e produção das sociedades. A quantidade de resíduos gerada por cada município, portanto, depende fundamentalmente do número de habitantes e do nível de renda destes. Logo, a quantidade de resíduos a ser tratada e disposta influi no porte e tipo das unidades a serem instaladas, sendo assim, é um primeiro, e importante, critério a ser considerado na decisão de investir em uma determinada tecnologia de tratamento, e conseqüente determinação de rotas tecnológicas para um determinado município (GRS/UFPE, 2014).

Segundo DOS SANTOS (2011), se comparada com todas as outras formas de destinação, o Aterro Sanitário é a forma de destinação final dos RSU que possui o menor custo<sup>14</sup> de investimento inicial. Entretanto, os aterros são soluções que demandam para sua instalação grandes espaços físicos, portanto o custo final pode se elevar muito em regiões onde a oferta de terras é pequena e/ou o custo da terra é elevado. Além disso, os custos operacionais também são bastante reduzidos quando comparados com outras tecnologias (DOS SANTOS, 2011).

A definição da parte técnica é fundamental para que a planta de geração de energia, através do GDL, seja economicamente viável, mas aspectos ambientais e sociais também devem ser considerados. Os custos estão diretamente relacionados com a opção tecnológica<sup>15</sup> a ser

---

<sup>14</sup> Contudo, a empresa responsável pela administração do aterro deve manter os cuidados com o aterro por um período de 30 a 60 anos após o término das atividades do aterro, aumentando assim os custos de operação de um aterro, custos esses que provavelmente não estão sendo levados em consideração durante a concepção do projeto.

<sup>15</sup> No item III.1.4 existe a descrição das diversas rotas tecnológicas que podem ser utilizadas para aproveitamento energético dos gases provenientes dos Aterros Sanitários.

utilizada para conversão energética. É possível verificar uma maior eficiência térmica dos Motores a Combustão Interna (MCI) modernos, em plantas com potência na faixa entre 10 a 50MW em comparação aos ciclos combinados e turbinas, que demandam um alto investimento e são mais adequadas para projetos com mais de 50MW (ABREU, COSTA FILHO e SOUZA, 2009).

As características geológicas da região onde o aterro foi instalado também afetam os custos de implantação do projeto de geração de energia e o tempo de vida útil do aterro. O tipo de impermeabilização adotado, os sistemas de drenagem e de tratamento de percolados também influenciarão os custos da geração de energia, devido ao seu impacto sobre a produtividade dos gases. Os custos referentes à implantação de tão diferentes tipos de aterros, portanto, são variáveis de acordo com a capacidade, o tipo, suas especificidades e a região onde estão instalados, além dos custos de construção de instalações e demais obras de engenharia, aquisição de equipamentos, móveis, utensílios e demais despesas pré-operacionais, como taxas e projetos executivos (GRS/UFPE, 2014).

Os custos de operação também apresentam variações de acordo com o tipo, capacidade e características. Esses custos incluem as atividades de disposição nas células, monitoramento e tratamento de lixiviados. Os custos de operação dos aterros tendem a decrescer com o aumento da capacidade do aterro (Gráfico 11).

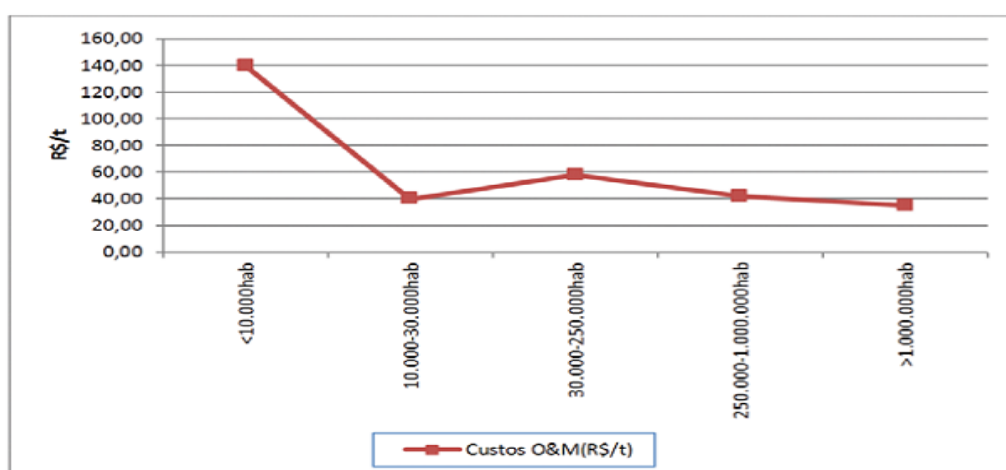


Gráfico 11. Custo Unitário de Operação e Manutenção de Aterros Sanitários

Fonte: GRS/UFPE, 2014

Segundo GRS/UFPE (2014) o custo estimado de disposição final em Aterro Sanitário para os municípios de pequeno porte, em 2008, foi de R\$ 54,25/t, enquanto para os de médio porte foi R\$35,46/t e os de grande porte R\$ 33,00. Devido às economias de escala o custo (R\$/t) tende a diminuir conforme se aumenta o volume a ser disposto.

Um estudo elaborado por Arcadis (2010) apresenta uma estimativa de custos de investimento na instalação de sistemas de aproveitamento energético visando à comercialização de energia elétrica e à geração de créditos de carbono. Este estudo apresenta diferentes valores conforme a região. Os custos variam de um mínimo de R\$ 268,00/MW, estimados para a Região Norte, a um máximo de R\$ 400/MW, no caso do Centro-Oeste, de modo que o custo médio para o Brasil é de R\$ 343,00/MW/ano (Gráfico 12).

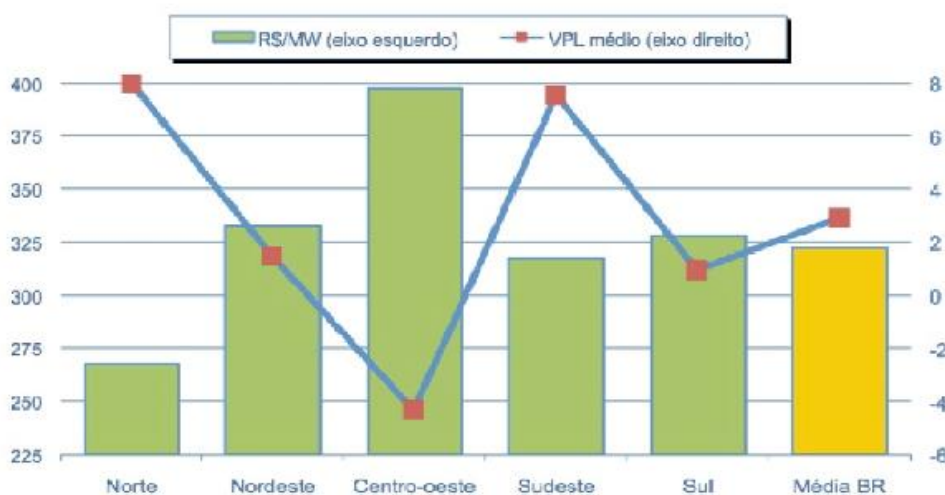


Gráfico 12. Investimento em R\$/MW por regiões do país e o valor presente líquido médio em R\$ MM

Fonte: Arcadis, 2010, p. 18

É importante destacar que a venda ou uso do GDL, no próprio aterro, normalmente torna o custo total menor e o empreendimento mais confiável, e, quando as condições locais do aterro forem favoráveis, o empreendimento poderá trazer lucros. Para a sociedade a conversão do GDL em energia trará também a criação de empregos relacionados ao projeto, operação e fabricação do sistema de geração. As comunidades locais também serão beneficiadas pelos empregos e ainda terão vantagens relacionadas ao desenvolvimento de fontes de energia locais nas áreas de aterro sanitário (HENRIQUES, 2004)

### **III.2.2 Oferta do Biogás**

É possível identificar ao menos três formas de valorizar os resíduos sólidos: reciclagem dos materiais; produção de composto orgânico; e o aproveitamento energético. Neste último caso é possível produzir energia sob três formas: Eletricidade, Combustível e Térmica, com a possibilidade de geração de créditos de carbono.

Como visto neste capítulo o GDL apresenta grande versatilidade, visto que sua energia química pode ser convertida em oferta de energias renováveis diversificadas. A melhor configuração para um determinado Aterro Sanitário dependerá de uma variedade de fatores, incluindo as condições do mercado energético, os custos de projetos, as fontes potenciais de receita, e condições técnicas.

#### **III.2.2.1 Energia Elétrica**

A energia elétrica é obtida através dos aterros tem duas aplicações possíveis:

1. O uso da eletricidade para o auto abastecimento do aterro é a primeira, e melhor remunerada, opção. Neste caso, surgem incentivos diretos à eficiência energética, via intensificação do uso de eletricidade para desempenhar novas atividades importantes para a elevação da produtividade e para a sustentabilidade econômica da atividade. O aumento da produtividade também eleva os excedentes de energia, surgindo dessa forma uma aplicação adicional para energia. Como destaca BLEY Jr (2012) algumas regras regulatórias fazem com que o autoconsumo seja uma vantagem:

Na atualidade, para a conexão em rede a potência máxima permitida é de até 300 quilowatts (KW), com Sistema de Medição de Faturamento (SMF) – padrão da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), através de medidor de quatro quadrantes. Para o auto abastecimento não há limites de potência, sendo esta a mais vantajosa condição de retorno econômico pela energia gerada (BLEY Jr, 2012, p. 224).

2. A venda do excedente de eletricidade é viabilizada, tecnicamente, pela conexão do gerador em paralelo a uma rede de distribuição e, economicamente, por meio de contratos com concessionárias distribuidoras, via leilões regulamentados pela Aneel.

### **III.2.2.2 Energia Térmica**

Já a energia térmica pode ser usada localmente como combustível em caldeiras ou fornos, para aquecimento, refrigeração e outras necessidades de processos industriais, além de poder ser transportada por tubulação para uma instalação industrial ou comercial próxima, obtendo-se eventualmente um segundo rendimento para o projeto, substituindo, desta forma a lenha, o bagaço de cana, o diesel ou outro combustível empregado.

Os vapores utilizados para o aquecimento de residências ou em processos industriais, para serem utilizados pelo consumidor final, são apenas transmitidos por tubulações ao seu consumidor, podendo este ser um complexo industrial, ou um bairro residencial de uma zona urbana. Nestes casos, somente é viável o aproveitamento energético do vapor quando estes consumidores estão fisicamente próximos à planta geradora, pois esta forma de energia não pode ser transportada por grandes distâncias sem que haja grande dissipação de energia pelo caminho, o que reduziria drasticamente a eficiência energética de todo processo (DOS SANTOS, 2011)

Existe ainda a possibilidade de cogeração de eletricidade e energia térmica a partir da instalação de conversores de calor nos coletores de escape dos motores para pré-aquecimento da água da caldeira de geração de vapor, sendo uma alternativa mais eficiente em termos energéticos (BLEY Jr, 2012).

### **III.2.2.3 Energia Combustível**

O GDL também pode ser tratado e utilizado como Gás Natural, sob as formas de gás combustível em veículos (GNV), em motores automotivos e estacionários, ou GNL (Gás Natural Liquefeito) ou GNC (Gás Natural Comprimido), para o uso em áreas que não estão

conectadas a gasodutos. A primeira opção cresceu de importância nos últimos anos pelo aumento expressivo da frota movida a GNV, especialmente nos táxis. Além disso, começam a surgir também novas aplicações, como a reforma do biogás para a obtenção de hidrogênio e o uso deste para carregar as células combustíveis (BLEY Jr, 2012).

### III.2.2.4 Potencial de Aproveitamento Energético do GDL

Segundo a ABREPEL (2013) o GDL, no Brasil, tem potencial para gerar 282 MW de eletricidade (Tabela 13). Além disso, Barros et al (2014) calcula que em um cenário pessimista o GDL pode ter participação entre 0,4% e 0,5% no consumo final de energia, já em um cenário mais favorável a participação pode chegar a 0,8%. Estes números parecem pequenos, mas, não são ainda mais se levar em consideração que, em 2010, o GDL teve participação de apenas 0,0002% no consumo final de energia.

Apesar do grande potencial de exploração dos RSU para geração de energia, este não vem sendo aproveitado. A única forma comercial de aproveitamento energéticos dos RSU é através da geração de energia elétrica, mesmo assim esta corresponde a apenas 0,05% (75,5 MW) da capacidade instalada de geração de eletricidade, correspondentes a 11 aterros localizados em 6 estados brasileiros (ANEEL, 2016). Isto é, atualmente existe apenas 4,4% do potencial projetado pela EPE para o ano de 2020 e menos de um terço do potencial identificado pela ABRELPE (Tabela 13).

Tabela 13. Potencial de geração de eletricidade a partir de biogás de Aterro Sanitário por região

<b>Região</b>	<b>Emissões Totais (bilhões m<sup>3</sup> biogás)</b>	<b>Potencial (MW)</b>
Norte	3,8	18
Nordeste	7,2	49
Centro-Oeste	4,6	22
Sudeste	35,7	170
Sul	4,8	23
<b>Brasil</b>	<b>56,1</b>	<b>282</b>

Fonte: ABREPEL, 2013

Além disso, dados dos SNIS (2013) revelam que no Brasil existem 448 aterros com sistema de drenagem dos gases, entretanto 91% não fazem aproveitamento energético dos gases. Ainda segundo o consultor Thymos Sami Grynwald “*Considerando os aterros existentes hoje no Brasil, temos um potencial de geração que chega de 1,5 a 2 gigawatts médios*” (SECOVI, 2014).

### **III.2.2.5 Projetos de Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos, via Aterro Sanitário, no Brasil**

O número de projetos de aproveitamento energético de GDL no Brasil ainda é muito pequeno, apesar de termos um expressivo número de Aterros com potencial para a captura de GDL.

Com relação à transformação do GDL em Gás Natural o único empreendimento em operação existente é a Usina de Tratamento de Biogás do Aterro Dois Arcos, no Rio de Janeiro. A usina ainda não está ligada à rede da Companhia Estadual de Gás do Rio de Janeiro (CEG-Rio), e, até que o gasoduto seja construído, o biogás produzido no local está sendo comprimido e entregue a um consumidor industrial (AGÊNCIA BRASIL, 2014).

Atualmente existem em operação 11 projetos de geração de energia elétrica a partir de Biogás de Aterro Sanitário registrados na ANEEL, totalizando uma potência de 75,5 MW. Apesar da maioria dos projetos de GDL estarem relacionado a geração de eletricidade, o GDL se mostra bastante competitivo com os combustíveis líquidos – destaque para o diesel e gasolina - e em relação ao gás natural mostra-se mais vantajoso para a geração de eletricidade (EPE, 2014). Além de ter um potencial competitivo com outras fontes, o GDL está próximo aos centros consumidores, o que leva redução de custos e perdas devido ao transporte.

### **III.3 ASPECTOS INSTITUCIONAIS: A APLICAÇÃO DE INSTRUMENTOS ECONÔMICOS PARA O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RSU, VIA ATERRO SANITÁRIO NO BRASIL**



Como foi possível observar no capítulo 2 o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos deve obedecer às diretrizes tanto do arcabouço legal que orienta a gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos como da Política Energética brasileira.

Ao analisar a legislação brasileira é possível notar que a mesma prevê instrumentos econômicos que se enquadram nas categorias de incentivos de preço e quantidade. Como será possível observar não existe nenhum Instrumento Econômico específico para o aproveitamento energético de resíduos sólidos, o que existe na verdade são regras gerais aplicadas a todas as fontes renováveis das quais o GDL pode se beneficiar. O foco dos instrumentos econômicos que podem ser aplicados ao GDL é a geração de eletricidade, a razão disso talvez esteja na busca pela diversificação da matriz elétrica brasileira, além do fato do mercado elétrico ter infraestrutura mais pulverizada e desenvolvida do que o mercado de Gás Natural, por exemplo. Seguindo a classificação de Costa (2002) neste tópico apresentaremos os instrumentos econômicos, de incentivo via preços e quantidade, e outros incentivos que não se classificam nessa dicotomia.

### **III.3.1.1 Incentivos de Preços**

No caso dos incentivos de preços, segundo o artigo 8º, IX da lei nº 12.305/2010 devem ser aplicados incentivos fiscais, financeiros e creditícios para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos, sempre respeitando as limitações da Lei de Responsabilidade Fiscal. Além disso, as instituições financeiras federais podem criar linhas especiais de financiamento para atividades destinadas à reciclagem e ao reaproveitamento de resíduos sólidos, bem como atividades de inovação e desenvolvimento relativas ao gerenciamento de resíduos sólidos, dentre outras (Art. 81º da Lei nº 12.305/2010). Outras formas de incentivo mencionadas pela lei são: cessão de terrenos públicos; subvenções econômicas; pagamento por serviços ambientais (Art. 80º, IX da Lei nº 12.305/2010).

#### **III.3.1.1.1 Subsídios Financeiros**

- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES):

Assim como para os outros projetos para energias renováveis, o banco de desenvolvimento BNDES disponibiliza linhas de créditos com baixas taxas de juro para GDL. Projetos a partir de 20 milhões de reais podem aproveitar um financiamento de 70% com juros a partir de 1,2% a.a, com prazo de pagamento de 20 anos (BNDES, 2016).

➤ Caixa Econômica Federal (CEF):

Também a Caixa Econômica Federal (CEF) oferece as concessionárias energéticas na esfera do programa de tratamento de resíduos e esgotos (Saneamento para Todos) uma linha de crédito para instalação de equipamentos para o ganho de biogás e a sua utilização com uma taxa de juros nominal de 6% a.a. Em projetos do setor público o financiamento pode arcar com até 95% dos custos do projeto, já para o setor privado o financiamento máximo é de 80%, com o prazo de até 180 meses para a amortização (CAIXA, 2016).

➤ Fundo Clima:

O Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (Fundo Clima) - do Ministério do Meio Ambiente (MMA) - criado pela Lei nº 12.114/2009 e regulamentado pelo Decreto nº 7.343/2010, tem por finalidade financiar projetos, estudos e empreendimentos que visem à mitigação (ou seja, à redução dos impactos) da mudança do clima e à adaptação a seus efeitos (MMA, 2016). Portanto, o Fundo Clima também é uma fonte de financiamento para projetos de aproveitamento energético de RSU.

O Fundo do Clima disponibiliza recursos em duas modalidades: reembolsável; não-reembolsável. Os recursos reembolsáveis são administrados pelo BNDES. Os recursos não-reembolsáveis são operados pelo MMA. O financiamento cobre despesas com obras e instalações, equipamentos e material permanente, além de diárias material de consumo, locomoção, serviços de consultoria e serviços de terceiros (MMA, 2014). Em 2014, o Fundo Clima definiu estudos e projetos para aproveitamento energético do biogás, especificamente originado na pecuária e em aterros sanitários como uma de suas linhas prioritárias.

➤ Consórcios:

A formação de Consórcios é uma outra possibilidade para os municípios enfrentarem entraves financeiros e operacionais dos projetos de GDL. Os Consórcios Públicos recebem, no âmbito da Política Nacional de Resíduos Sólidos, prioridade absoluta no acesso aos recursos da União ou por ela controlados. Esta prioridade também é estendida aos Estados que instituírem microrregiões para a gestão e ao Distrito Federal e municípios que optem por soluções consorciadas intermunicipais para gestão associada (MMA, 2011).

➤ Créditos de Carbono:

A possibilidade de comercialização de Créditos de Carbono, no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), faz que haja uma renda adicional aos projetos de geração de energia renovável, como é o caso do aproveitamento energético dos RSU.

### **III.3.1.1.2 Incentivos Fiscais**

A geração elétrica a partir de fontes alternativas usufrui de incentivos fiscais que visam garantir o acesso à transmissão e à distribuição. Segundo o art. 3º, IV da Resolução Normativa da ANEEL nº 77, que regulamenta a Lei nº 10.438/2002, hidrelétricas com capacidade inferior a 1.000 kW de potência e plantas de geração solar, eólica, à biomassa ou de cogeração qualificada com potência inferior a 30.000 kW detêm um desconto de 100% nas tarifas de utilização dos sistemas de transmissão e de distribuição, desconto esse refletido no consumo e na produção de energia.

### **III.3.1.1.3 Feed-in Tariffs**

No Brasil, o único programa que se assemelha ao sistema tarifário *Feed-in* é o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica), que ainda prevê sistemas de financiamento pelo BNDES e exigências mínimas de conteúdo local - 60% dos equipamentos utilizados nos projetos contratados devem ser nacionais (EIDI, 2011).

O programa PROINFA, criado pela Lei nº 10.438/2002, tem como objetivo que em até 20 anos, dez por cento do consumo anual de energia elétrica de todo país seja proveniente de usinas de fonte biomassa, eólica ou de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH). Para isso prevê a contratação de 3.300 MW de capacidade instalada por meio dos Leilões de Fontes Alternativas, leilões específicos para Biomassa, eólica e PCH.

### **III.3.1.2 Incentivos de quantidade**

#### **III.3.1.2.1 Sistema de Leilões (*Tender system*)**

Os leilões, regulamentados pela Aneel, de geração e transmissão de energia desempenham um papel fundamental na coordenação e expansão do sistema elétrico brasileiro (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2012).

Os leilões regulados são um instrumento econômico muito importante viabilizar qualquer projeto de geração de eletricidade. Os leilões reduzem os riscos de investimento das usinas de GDL, já que os contratos<sup>16</sup> fornecem receitas seguras durante um período determinado. O mercado cativo criado pelos leilões regulados, portanto, é um importante vetor de desenvolvimento do biogás, pois assegura uma receita aos investidores, reduzindo a necessidade de financiamento.

Existem 3 tipos de leilões que se subdividem em algumas categorias (Figura 4). No caso de Leilões de Energia Nova (do tipo A-3 e A-5) os contratos tem prazo de 15 a 30 anos e todas as fontes podem participar (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2012).

---

<sup>16</sup> Os contratos fixam o preço e o montante de energia (e potência) contratados do empreendimento ao longo de todo o período de concessão por meio de CCEARs (Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado) (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2012)

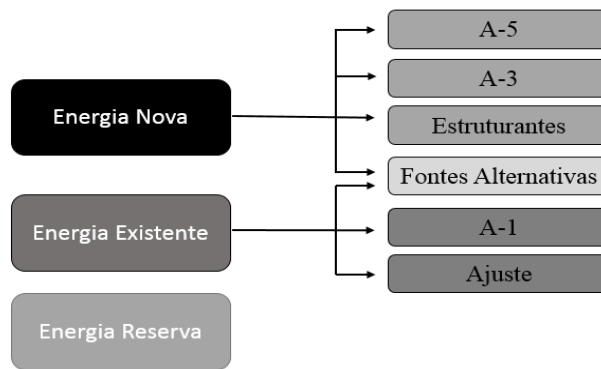


Figura 4. Tipos de Leilão

Fonte: INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2012, p.4

Os leilões Estruturantes têm como objetivo contratação de energia dos empreendimentos classificados como “estratégicos” e de “interesse público” pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2012; p.5).

O Decreto nº 5.163, de 2004 (com redação dada pelo Decreto nº 6.048, de 2007) prevê que entre os leilões A-1<sup>17</sup> e A-5 pode-se realizar Leilões de Fontes Alternativas. Estes visam promover a contratação de energia exclusivamente de empreendimentos de fonte biomassa, eólica e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2012).

Já os leilões de energia existente têm como objetivo contratar energia gerada por usinas já construídas e que estejam em operação, cujos investimentos já foram amortizados e, portanto, possuem um custo mais baixo (CCEE, 2016).

Além disso, também a legislação prevê a realização de leilões de Energia Reserva. Estes são usados para aumentar a segurança de fornecimento de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) e também podem ser usados para implementar outras políticas energéticas, como a promoção de fontes específicas na matriz elétrica. Os custos referentes as fontes contratadas por esse tipo de leilão são financiadas pelo Encargo de Energia de Reserva (EER), que é rateado por todos os consumidores - sejam do ambiente regulado ou livre –, o que o torna um mecanismo conveniente para promover a contratação de energia oriunda de fontes específicas (CCEE, 2016).

<sup>17</sup> Os leilões A-1 (dito: ‘A’ menos um) visam a promover a recontração de energia proveniente de empreendimentos em operação comercial para atendimento dos consumidores regulados. Essa recontração de energia é realizada anualmente para entrega de energia no ano seguinte mediante contratos de 3 a 15 anos de duração (INSTITUTO ACENDE BRASIL, 2012).

### **III.3.1.2.2 Sistema de Quotas com certificados verdes**

Não há atualmente o uso de Sistema de Quotas com certificados verdes no Brasil.

### **III.3.1.3 Outros incentivos para o desenvolvimento do GDL**

#### ➤ Mercado de Energia de Curto Prazo

A energia elétrica excedente também pode ser comercializada no mercado de energia de curto prazo, através de contratos bilaterais entre as geradoras e os grandes consumidores<sup>18</sup>. Essa possibilidade aumenta as combinações estratégicas para a detentor de um projeto de geração de eletricidade, de forma que o mesmo pode maximizar seus ganhos e reduzir riscos.

#### ➤ Mudanças nas Regras de Distribuição

Além disso, mudanças recentes nas regulações da ANEEL, Resoluções Normativas 390/2009 e 395/2009, alteraram os critérios de distribuição do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional), permitindo que a eletricidade em geração distribuída gerada com biogás e saneamento ambiental, por geradores de pequeno porte, menores do que 1 MW e em baixa tensão, possa ser conectada em redes de distribuição (BLEY Jr, 2012).

#### ➤ Projetos de P&D

O Brasil recentemente aderiu a projeto de cooperação em biogás com a Alemanha para ampliar o abastecimento energético a partir do biogás proveniente inclusive de resíduos sólidos (PORTAL BRASIL, 2014).

Segundo a lei nº 9.991/2000 as concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição, de transmissão e geração de energia elétrica são obrigadas a investir um percentual da sua receita operacional em projetos de pesquisa e desenvolvimento no âmbito de programas de pesquisa & desenvolvimento do órgão de regulamentação de energia ANEEL.

---

<sup>18</sup> Consumo maior que 3GW

Em 2011, a ANEEL divulgou a Chamada 014/2012 para o desenvolvimento de projetos de P&D na área de biogás oriundo de Resíduos e Efluentes Líquidos. Essa chamada teve como resultado 23 projetos cadastrados, um total de 33, 718 MWp (ANEEL, 2012).

➤ Regulamentação do uso do Biometano

No art. 2º resolução nº 8, de 30/01/2015, a ANP reconhece que o combustível produzido a partir de resíduos sólidos urbanos ou resíduos de esgotamento sanitário pode ser usado em aplicações onde se utiliza gás natural – como em veículos, comércio e residências –, desde que atenda às exigências de qualidade estabelecidas. Esta resolução é muito importante para o desenvolvimento do mercado de GDL visto que ela torna possível o aumento das possibilidades de uso do biogás.

Como visto grande parte das políticas que incentivam o desenvolvimento do GDL não foram criadas exclusivamente para isso. A maioria dos instrumentos econômicos utilizados para o aproveitamento energético são bastante genéricos e se aplicam a todas as fontes renováveis (Tabela 14).

Tabela 14. Síntese dos Instrumentos Econômicos usados para incentivar o desenvolvimento do GDL

<b>Instrumentos</b>	<b>Existe?</b>	<b>É exclusivo do biogás?</b>
<b>Preços:</b>		
<b>Subsídios Financeiros</b>	Sim	-
BNDES	-	Não
Caixa Econômica Federal	-	Sim
Fundo Clima	-	Não
Consórcios	-	Não
Crédito de carbono	-	Não
<b>Incentivos Fiscais</b>	Sim	Não
<i>Feed-in Tariffs</i>	Sim	Não
<b>Quantidade:</b>		
<b>Sistema de Leilão (<i>Tender system</i>)</b>	Sim	Não
<b>Sistema de Quotas com certificados verdes</b>	Não	Não
<b>Outros:</b>		
Mercado de Energia de curto prazo	-	Não
Mudanças nas Regras de Distribuição	-	Não
Projetos de P&D	-	Não e Sim
Regulamentação do uso do Biometano	Sim	Sim

Fonte: Elaboração própria

O grande problema disso é que ao criar políticas gerais e tratar todas as fontes renováveis de forma única não se leva em consideração as especificidades de cada uma. Logo, não são

criadas políticas que podem efetivamente viabilizar e/ou aumentar a competitividade de determinado tipo de empreendimento.

Os instrumentos econômicos de preços (subsídios financeiros, incentivos fiscais e etc.), que podem ser aplicados ao GDL, não tem sido suficiente para tornar os empreendimentos de GDL mais competitivos, com relação a outras fontes renováveis, nos leilões de energia elétrica.

Nos leilões de energia elétrica do Brasil as fontes competem em condições de igualdade, ou seja, quem tem o menor preço vence. Entretanto esse preço estabelecido não leva em consideração as especificidades de cada fonte. O Biogás, por exemplo, além de gerar energia renovável, assim como a energia eólica, solar e etc., é capaz de mitigar gases de efeito estufa duplamente. Além de substituir os combustíveis fósseis grandes emissões de gases de efeito estufa, o GDL é capaz de mitigar os efeitos nocivos ao ambiente da disposição inadequada dos resíduos. O GDL, portanto, melhora as condições de saúde e saneamento das cidades, resolvendo outro grande problema urbano, a disposição final dos resíduos. Logo, o GDL tem benefícios adicionais que outras fontes renováveis não têm e isso deveria ser considerado de alguma forma no preço da sua energia.

Com isso, os leilões que são o principal instrumento econômico de quantidade não são tão eficientes no quesito incentivo a geração de energia através do biogás.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) incluiu, pela primeira vez, o biogás em um leilão para contratação de energia de reserva. Dentre os empreendimentos cadastrados no LER de 2014, 626 foram projetos eólicos (15.356 MW), 400 de energia solar fotovoltaica (10.790 MW) e 8 termelétricas a biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos (151 MW). Entretanto, nenhum projeto de Biogás chegou a ser negociado (CCEE, 2014). Foi a primeira vez que o preço de referência para o Biogás foi fixado, mas o valor de R\$ 169/MWh não foi atrativo o suficiente de viabilizar os projetos cadastrados. Mesmo assim constitui-se em um avanço pois até então o valor utilizado como referência nos leilões eram o Valor Anual de Referência – VR, fixado pela própria ANEEL para os anos de 2015 e 2016, em R\$ 80,69/MWh (base dezembro de 2010) e R\$ 104,03/MWh (base novembro de 2013), respectivamente (BLEY JR, 2014).



## CONCLUSÃO

O Brasil apresenta um baixo desempenho nos serviços de coleta e, principalmente, na disposição final dos resíduos sólidos urbanos. Adicionalmente, os gastos necessários para melhorar este cenário são expressivos e enfrentam problemas institucionais. A maioria dos municípios não arrecada recursos suficientes para o gerenciamento de resíduos e a cobrança pelo serviço, que é o principal instrumento de financiamento do gerenciamento dos RSU, é a realidade apenas para a minoria das cidades brasileiras. E este é o primeiro entrave para o aproveitamento energético dos resíduos urbanos e para qualquer outro plano que vise mudar o cenário atual de destinação final dos RSU.

Apesar da existência da Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei nº 12.305/2010 - com metas e prazos bem estabelecidos, a PNRS falha ao não definir políticas que viabilizem o alcance das metas no prazo estabelecido. Com isso, a efetivação do que está disposto em lei avança a passos muito mais lentos que o previsto.

Os incentivos da PNRS para correta destinação dos resíduos tem um bom embasamento, inclusive da teoria econômica, porém na prática se mostram insuficientes, tanto que desde que a PNRS está em vigor o avanço na destinação adequada dos resíduos foi muito pequeno. Porém, isso não significa que a lei não seja importante, muito pelo contrário apesar das falhas e prazos muito ambiciosos com relação ao cenário recente a importância da PNRS para o setor de resíduos é inquestionável, visto que ela preencheu uma laguna do ordenamento jurídico e criou as primeiras diretrizes de política pública específica para os resíduos sólidos.

Historicamente a escolha dos municípios brasileiros foi a destinação dos resíduos aos aterros controlados, lixões e, mais recentemente, aterros sanitários. Entretanto, este último não é apenas uma forma de destinação ambientalmente adequada dos resíduos, é também uma fonte de energia: o biogás. Sendo esta uma fonte de energia renovável, que atende aos requisitos da legislação brasileira e de sustentabilidade, e com grande potencial de desenvolvimento, contudo é praticamente inexplorada. Ou seja, o Brasil tem um potencial significativo de energia não aproveitada, cujo saldo de impactos resulta em um enorme benefício para a sociedade, que talvez não possa ser comparado com o benefício de outras fontes renováveis, visto que ajuda a resolver dois grandes problemas da sociedade brasileira: a destinação final dos resíduos e a busca por novas fontes sustentáveis de energia.

A proposta deste trabalho é que se aproveitem energeticamente os gases dos aterros sanitários já existentes e pós o esgotamento destes novos aterros deverão ser criados, visto que nenhuma tecnologia é capaz de eliminar 100% dos resíduos, logo os inertes restantes deveram ser destinados a aterros. Cabe destacar que o desenvolvimento do mercado do biogás de Aterro Sanitário, também conhecido como Gás de Lixo (GDL), não é de interesse apenas dos donos dos Aterros Sanitários, mas sim para sociedade, tendo em vista os diversos benéficos que esse possui. Todavia, entender por que o biogás está muito aquém do seu potencial de geração de energia foi a motivação deste trabalho, pois só o entendimento do problema possibilita criar estratégias efetivas de inserção dos resíduos sólidos urbanos na matriz energética brasileira.

A teoria econômica diz que os incentivos direcionam as ações dos agentes econômicos. Logo uma forma de entender a baixa participação do GDL na matriz energética é analisando os incentivos, que aparecem neste trabalho sob a forma de instrumentos econômicos, usados para estimular o desenvolvimento do GDL no Brasil.

Este trabalho concluiu que GDL carece de políticas públicas que levem em consideração suas especificidades e façam com que o negócio do biogás seja viável e atrativo para os investidores.

A PNRS deixar bem claro que sempre que seja econômica e tecnicamente viável os gases provenientes dos Aterros Sanitários devem ser aproveitados, mas não há nenhuma diretriz de como isso será viabilizado. Além disso, os planos energéticos brasileiros também identificam o potencial e mostram previsões indicativas da participação futura do GDL na matriz energética, mas também não há planos de como esse potencial será efetivado.

Outro problema para a difusão do GDL são os mercados energéticos que ele se insere. O GDL pode fornecer basicamente três formas de energia (Térmica, Elétrica e Combustível). Todas essas formas de energia têm como vantagem adicional evitar as emissões do gás metano (altamente prejudicial para a camada de ozônio) dos aterros sanitários. Por produzir três formas de energia distintas o GDL se insere em mercados com características bastante distintas e com alto grau de especificidade. E este é um dos fatores que faz com que a difusão do Biogás se encontre bem aquém do potencial identificado.

O mercado de energia combustível (Gás Natural) é pouco desenvolvido no Brasil. E o fato de não ser bem estruturado dificulta a criação de políticas específicas para o GDL, tanto que a regulamentação do uso do biogás como gás natural só foi feita em 2015. No entanto, o

GDL tem um bom potencial para o aproveitamento da malha de gasodutos existente, apesar desta ser muito restrita. Afinal a região que mais gera resíduos é a que mais consome gás e a que tem a malha gasodutos mais desenvolvida.

No Brasil, o setor elétrico utiliza alguns instrumentos econômicos para incentivar a utilização de fontes renováveis de energia. Entretanto, os instrumentos são genéricos, ou seja, são usados para incentivar igualmente todas as que se enquadram na categoria de fontes renováveis. Com isso, o GDL é colocado no mesmo patamar de outras fontes que contaram com uma gama de incentivos para o seu desenvolvimento, como é o caso da energia Eólica. O tratamento não diferenciado para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos e isso faz com que o real benefício do Biogás não seja evidenciado.

Adicionalmente, quando o aproveitamento energético dos resíduos é tratado como qualquer outra fonte renovável o desafio imposto ao desenvolvimento GDL é ainda maior, visto que, enquanto as outras fontes irão iniciar o projeto somente após vencer o leilão, o empreendedor de GDL que quiser ofertar energia no caso de mercado elétrica já possuirá o projeto construído, e caso não vença o leilão os gases continuarão sendo lançados na atmosfera, causando impactos negativos na sociedade.

Os leilões são um excelente instrumento para incentivar o aumento da participação do GDL na matriz energética. Os Leilões específicos para diminuir o impacto da falta de competitividade do GDL são importantes, porém o preço estabelecido deve ser tal que incentive os investidores a investir no negócio. Logo, o preço da energia é o fator determinante para viabilizar e dar competitividade aos projetos de GDL.

Mas, somente prover leilões, assim como políticas de tarifas *feed-in* e outros incentivos financeiros, sem levar em conta as especificidades do GDL, não tem sido suficiente para desenvolver certos aspectos importantes para que o Biogás ganhe escala e se tornando assim competitivo. As políticas públicas especificamente criadas para a eólica impulsionaram seu desenvolvimento, como resposta do mercado tivemos fonte que inicialmente era considerada cara e hoje apresenta alta competitividade, o mesmo vem acontecendo com a energia solar. O mercado de biogás ainda é muito embrionário, mas como visto nesse trabalho tem muito potencial de se desenvolver, entretanto o GDL necessita de políticas específicas que atendam às suas necessidades, as questões institucionais precisam ser equacionadas para a criação de um ambiente mais adequado ao investimento.

Este trabalho mostrou que mesmo com uma legislação mais restritiva, o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos urbanos ainda é um desafio para a maioria dos municípios brasileiros. E o aproveitamento energético do GDL se mostra um desafio ainda maior.

O subaproveitamento do biogás ainda enfrenta dificuldades que têm várias origens, como, por exemplo, o fato da atividade de coleta e disposição ser bastante pulverizada. A falta de recursos financeiros suficientes para sustentar a atividade também é um entrave. Todavia, isso poderia ser parcialmente resolvido com a cobrança direta do serviço, visto que a cobrança indireta não é capaz de refletir os reais custos da atividade. Adicionalmente, os agentes que operam os aterros têm natureza jurídica bastante diversificada, assim como os órgãos gestores dos RSU. E estes não estão acostumadas a fazer análises de custo e benefício no caso de RSU – o manejo adequado dos resíduos, historicamente, nunca foi uma prioridade para a gestão pública nem o principal comprometimento dos gestores públicos, quase sempre acompanhados da ausência de políticas públicas nas esferas locais. Ademais, o aproveitamento energético dos resíduos é uma atividade nova em mercados muitos específicos, na qual gestores públicos não tem experiência e conhecimento técnico.

É importante destacar que embora o aproveitamento energético dos RSU não se apresente com potencial de escala suficiente para sustentar uma estratégia de expansão da oferta de energia elétrica ou de biocombustível do país no longo prazo, o mesmo é elemento que deve ser considerado importante dentro de uma estratégia regional ou local que transcende a dimensão energética. Na realidade compõe um arranjo de políticas de cunho social (saúde, saneamento, etc.), regional (desenvolvimento local) e ambiental (mitigação de impactos dos resíduos).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2014.

\_\_\_\_\_ Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2013.

\_\_\_\_\_ Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2012.

\_\_\_\_\_ Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2011.

\_\_\_\_\_ Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2010.

\_\_\_\_\_ Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2009.

\_\_\_\_\_ Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2008.

ABREU, Fábio Viana; COSTA FILHO, Manoel Antônio Fonseca; SOUZA, Mauro Carlos Lopes. Biogás de aterros sanitários para geração de energia renovável e limpa – um estudo de viabilidade técnica e econômica. In: IX Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, 2009.

AGÊNCIA BRASIL. Usina vai transformar em gás natural lixo produzido por oito municípios do Rio. Rio de Janeiro, 04/08/2014. Acesso 26/02/2016.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). BIG - Banco de Informações de Geração. Acesso 02/02/2016.

\_\_\_\_\_ Resolução Normativa da ANEEL nº 77, de 18 de agosto de 2004.

\_\_\_\_\_ Projetos Cadastrados no P&D Estratégico nº 14/2012 - “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás oriundo de Resíduos e Efluentes Líquidos na Matriz Energética Brasileira”. Brasília, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBSTÍVEIS (ANP). Resolução normativa nº 8, de 30/01/2015.

ARCADIS TETRAPLAN. Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável. São Paulo, 2010.

BANCO MUNDIAL. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. Urban Development Series Knowledge Papers, 2012.

\_\_\_\_\_ Banco de Dados. Disponível em <http://data.worldbank.org/>. Acesso em 10/12/2015

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL (BNDES). Energia - Geração de vapor e energia renovável. Disponível em <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/>

bndes\_pt/Institucional/apoio\_Financeiro/Produtos/FINEM/energia\_geracao\_vapor\_renovavel.html. Acesso em 22/02/2016

BRASIL. Maior parte da produção de energia no Brasil é sustentável. Publicado em 12/12/2011. Disponível em <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2011/12/maior-parte-da-producao-de-energia-no-brasil-e-sustentavel>. Acesso 02/03/2016

\_\_\_\_\_. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília: Senado, 1988.

\_\_\_\_\_. 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. Brasília, 1981.

\_\_\_\_\_. Lei nº 11.107 de 6 de abril de 2005. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. - Lei de Consórcios Públicos. Brasília, 2005.

\_\_\_\_\_. Lei nº 11.445, de 5 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. Brasília, 2007.

\_\_\_\_\_. Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2 ago.

\_\_\_\_\_. Decreto no 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Brasília, 2010.

BRITO FILHO, Luiz Fernandes. Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos. 2005. Dissertação de Mestrado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. COPPE, Rio de Janeiro.

BLEY JR, Cicero. Biogás – Fato novo no atual leilão da ANEEL, para aquisição de energia de reserva. 8 de outubro de 2014. Disponível em <http://sbera.org.br/pt/2014/10/o-biogas-fato-novo-no-atual-leilao-da-aneel-para-aquisicao-de-energia-de-reserva/>. Acesso 02/03/2016

\_\_\_\_\_. Produto Biogás: Reflexões sobre sua Economia. In: TAVARES, W. M.(Coord.).Energias renováveis: riqueza sustentável ao alcance da sociedade. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012. (Série cadernos de altos estudos, 10).

CAIXA. Saneamento para todos. Disponível em ite: [http://www1.caixa.gov.br/gov/gov\\_social/municipal/assistencia\\_tecnica/produtos/financiamento/saneamento\\_para\\_todos/saiba\\_mais.asp](http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/assistencia_tecnica/produtos/financiamento/saneamento_para_todos/saiba_mais.asp). Acesso 08/03/2016.

CARDOSO FILHO, E. P. Fatores que influenciam na digestão anaeróbia de efluentes líquidos. Sem publicação. CETESB, 2001.

CAMÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). Info Leilão Nº 009 – 6º Leilão de Energia de Reserva. Brasil, 31 de outubro de 2014

\_\_\_\_\_ Tipo de Leilão. Disponível em <http://www.ccee.org.br/>. Acesso em 02/03/2016

COSTA, Claudia do Valle. Políticas de Promoção de Fontes Novas e Renováveis para Geração de Energia Elétrica: Lições da experiência Europeia para o caso Brasileiro. Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro; Rio de Janeiro, 2006

DEUBLEIN, Dieter; STEINHAUSER, Angelika. Biogas from waste and renewable resources: an introduction. John Wiley & Sons, 2011.

DOS SANTOS, Guilherme Garcia Dias. Análise e perspectivas de alternativas de destinação dos resíduos sólidos urbanos: o caso da incineração e da disposição em aterros. 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DUTRA, Ricardo Marques. Propostas de Políticas Específicas para Energia Eólica no Brasil após a Primeira Fase do PROINFA. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2007.

EIDI (INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL). Políticas para a Promoção da Economia Verde. Março de 2011. Artigo online disponível em <http://retaguarda.iedi.org.br/midias/artigos/4d9e2a0557e47f98.pdf>. Acesso 08/03/2016

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional 2015 – Ano base 2014: Relatório Síntese. Rio de Janeiro, 2015

\_\_\_\_\_ Inventário energético dos resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_ Plano Nacional de Energia 2030. Brasília, 2007

\_\_\_\_\_ Plano Decenal de Expansão de Energia - PDE 2023. Brasília, 2014

HENRIQUES, Rachel Martins. Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica. 2004. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_ Contas Regionais 2010. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_ Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_ Série histórica do PIB e População. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/> Acesso 11/12/2015

\_\_\_\_\_ Informações Básicas Municipais – MUNIC. Rio de Janeiro, 2013.

INSTITUTO ACENDE BRASIL. Leilões no Setor Elétrico Brasileiro: Análises e Recomendações (White Paper 7). São Paulo: Instituto Acende Brasil, 2012.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Diagnóstico dos Instrumentos Econômicos e Sistemas de Informação para Gestão de Resíduos Sólidos. Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012

GRUPO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (GRS/UFPE). Relatório de Pesquisa: Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Pesquisa Científica - BNDES FEP N° 02/2010. Julho, 2014

\_\_\_\_\_ Produto 4: Relatório final do perfil institucional, quadro legal e políticas públicas relacionados a resíduos sólidos urbanos no Exterior e no Brasil. Julho, 2012.

KUPFER, David e HASENCLEVER, Lia. Economia Industrial: fundamentos teóricos e práticas no Brasil. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier. 2012

KRENZINGER, Arno. Para evitar crise, Brasil precisa diversificar matriz energética. Disponível em <http://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/deutschewelle/2014/02/05/para-evitar-crise-brasil-precisa-diversificar-matriz-energetica.htm>. Acesso em 05/02/2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Plano Nacional de Resíduos Sólidos Urbanos. Brasília, Setembro, 2011.

\_\_\_\_\_ Fundo Nacional sobre Mudança do Clima. Site: <http://www.mma.gov.br/apoio-a-projetos/fundo-nacional-sobre-mudanca-do-clima>. Acesso em 27/02/2016

\_\_\_\_\_ Edital MMA/FNMC N° 01/2014. Brasília, 14 de fevereiro de 2014

OLIVEIRA, Luciano Bastos. Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil. 2004. 237p. Tese (D.Sc., Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

OLIVEIRA, Luciano Bastos e ROSA, Luiz Pingule. Brazilian waste potential: energy, environmental, social and economic benefits. Revista Energy Policy 31 pp. 1481–1491, 2003.

MAY, Peter. Economia do Meio Ambiente. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

PATERNIO, Nádia. Aproveitamento Energético Dos Resíduos Sólidos Urbanos. Apresentação no Seminário Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos. FIESP 20 de julho de 2011.

PEARCE, David. e BRISSON, Inger. The economics of waste management. In HESTER, R, HARRISON, R. Issues in Environmental Science and Technology, n 3, 1995.

PERCORA, Vanessa. Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de Caso. Dissertação de Mestrado - Programa de Interunidades de PósGraduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006



PEDROSA, Salatiel. É preciso diversificar a matriz energética no Brasil. 18/06/2015. Disponível em <http://www.canalbioenergia.com.br/desafios-energeticos-diversificacao-e-a-saida-para-o-brasil/> Acesso 08/03/2016

PIMENTEIRA, Cicero Augusto Prudêncio. Gestão Integrada de Resíduos Sólidos no Rio de Janeiro: Impactos das decisões dos gestores nas políticas públicas. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010

PORTAL BRASIL. Brasil adere a projeto de cooperação em biogás com a Alemanha. Publicado: 20/02/2014. Disponível em <http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2014/02/brasil-adere-a-projeto-de-cooperacao-com-a-alemanha-em-biogas>. Acesso 11/09/2015.

PriceWaterhouseCoopers (PWC). Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no Brasil: Um levantamento de Perspectivas com o Setor Produtivo. Brasil, 2007

QUEIROZ, Renato. Setor Energético Brasileiro: a incontornável agenda governamental de 2015. Blog infopetro 18/08/2014. Acesso 17/02/2016  
Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS). Diagnóstico do Manejo do Resíduos Sólidos Urbanos – 2013. Brasil, 2013.

SECOVI (Sindicato da Habitação – SP). Leilão de energia deve impulsionar aproveitamento de gás do lixo. Notícias 12/08/2014. Disponível em <http://www.secovi.com.br/noticias/leilao-de-energia-deve-impulsionar-aproveitamento-de-gas-do-lixo/8157/>. Acesso 03/02/2016

SEROA DA MOTTA, Ronaldo; CHERMONT, Larissa. Aspectos econômicos da gestão integrada de resíduos, IPEA/DIPES, Texto para Discussão 416, Rio de Janeiro, Maio de 1996.

SEROA DA MOTTA, Ronaldo e YOUNG, Carlos Eduardo Frickmann. Instrumentos Econômicos para a Gestão Ambiental. Relatório Final. Rio de Janeiro, dezembro 1997

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNPD). World Urbanization Prospects, the 2011 Revision. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, United Nations, New York. , 2012

VARIAN, Hal R. Microeconomia- Princípios básicos. Elsevier Brasil, 2006.

Van Haandel, A. C., Lettinga, G. (1994). Tratamento Anaeróbio de Esgotos: Um Manual para Regiões de Clima Quente, Eppgraf, Campina Grande, 240 p.

WILLUMSEN, Hans C. Energy recovery from landfill gas in Denmark and worldwide. In: Międzynarodowego Seminarium-International Workshop for Utilization of Landfill Gas for Energy Production. Kaunas, Lithuania. 2001