

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL EM MUNICÍPIOS**

LARISSA CAROLINE SBALQUEIRO

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DO BIOGÁS
PRODUZIDO NO ATERRO SANITÁRIO DE FOZ DO IGUAÇU-PR COMO FONTE
DE ENERGIA ELÉTRICA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

MEDIANEIRA

2014

LARISSA CAROLINE SBALQUEIRO



**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DO BIOGÁS
PRODUZIDO NO ATERRO SANITÁRIO DE FOZ DO IGUAÇU-PR COMO FONTE
DE ENERGIA ELÉTRICA**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista na Pós Graduação em Gestão Ambiental em Municípios – Pólo UAB do Município de Foz do Iguaçu, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira.

Orientador(a): Prof. Elías Lira dos Santos Junior

MEDIANEIRA

2014



TERMO DE APROVAÇÃO

Estudo da Viabilidade Econômica do Aproveitamento do Biogás Produzido no Aterro Sanitário de Foz do Iguaçu-PR como fonte de Energia Elétrica

Por

Larissa Caroline Sbalqueiro

Esta monografia foi apresentada às 9 h do dia 11 **de outubro de 2014** como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista no Curso de Especialização em Gestão Ambiental em Municípios – Pólo de Foz do Iguaçu Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho **APROVADO**

Prof^a. Me. Elias Lira dos Santos Junior
UTFPR – Câmpus Medianeira
(orientadora)

Prof Me. Eduardo Borges Lied
UTFPR – Câmpus Medianeira

Tutor Kleber Gomes Ramirez
UTFPR – Câmpus Medianeira

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso-.

Dedico aos meus pais pelo apoio e dedicação fornecido

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me iluminar e me guiar em todos os momentos.

Aos meus pais Carla, Cássio e Stoney pelo incentivo, paciência e companheirismo nos momentos mais difíceis durante o período.

Aos meus irmãos que dispuseram de tempo para me ajudar quando foi preciso.

Ao meu namorado pela paciência prestada e por tolerar minha ausência durante esse período.

Aos professores que contribuíram com seus conhecimentos.

Aos amigos que pelas experiências trocadas até aqui, sejam a alavanca para alcançarmos a alegria e o sucesso no destino projetado.

Aos familiares que, mesmo distantes, mas sempre presentes, me apoiaram e torceram pelo meu sucesso.

Aos colegas de trabalho, pela ajuda, paciência, conselho e contribuição profissional.

Aos colegas de classe que direta ou indiretamente contribuíram para o final dessa jornada.

À Empresa Vital Engenharia Ambiental S/A pela confiança, apoio, e informações prestada.

Ao Professor Orientador pelo Conhecimento, Paciência e Apoio durante a realização deste trabalho.

E a todos, que de forma simbólica contribuíram para que eu concluísse mais essa etapa.

RESUMO

SBALQUEIRO, Larissa, Caroline. Estudo da Viabilidade Econômica do Aproveitamento do Biogás Produzido no Aterro Sanitário de Foz do Iguaçu-PR como Fonte de Energia Elétrica. 2014. 60. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

A disposição final dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários é uma das formas de destinação menos impactante e ambientalmente mais adequadas para o descarte dos resíduos. Muito embora essa medida reduza consideravelmente os problemas ambientais ocasionados pela disposição inadequada destes resíduos, a degradação microbiológica da matéria orgânica produz altos índices de emissão de gases poluentes, em especial o gás metano. Nesse contexto, o aproveitamento energético do metano em aterros sanitários pode representar uma solução econômica e ambiental, uma vez que, além de evitar a poluição atmosférica, também pode atender as demandas energéticas locais. Deste modo, o presente trabalho objetivou fazer uma análise de viabilidade econômica do aproveitamento energético do biogás gerado no Aterro Sanitário de Foz do Iguaçu – PR. Utilizou-se a metodologia do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) de 1996 para estimar o potencial de emissão de metano de 2001 a 2010, e o método de projeto para estimar a geração de biogás após o fechamento da célula, também foi realizado o dimensionamento e o levantamento de custos para a implantação do sistema de captação e aproveitamento energético do biogás. Com base nesses resultados a análise de viabilidade econômica do projeto foi realizada utilizando os critérios payback, VPL e TIR, onde demonstrou-se que para este aterro é ambientalmente viável e economicamente inviável realizar o aproveitamento energético do biogás uma vez que os custos das tecnologias para aproveitamento são bastante elevada.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Decomposição, e Resíduos Sólidos.

ABSTRACT

SBALQUEIRO, Larissa, Caroline. Study of the Economic Viability of the Biogas use generated in the Foz do Iguaçu – PR sanitary landfill as a source of electric energy. como Fonte de Energia Elétrica. 2014. 60. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

Study of the Economic Viability of the Biogas use generated in the Foz do Iguaçu – PR sanitary landfill

The final disposition of urban solid residue in sanitary landfill is one way to destination less impactful and more environmentally suitable to discard the residue. Although this alternative reduce considerably the environment problems occasioned by the inappropriate disposition of residue, the microbiological degradation of organic matter produce high ratter of pollutants gases emission, in special the methane gas. In this context, the methane energetic use in sanitary landfill can show a economic and environment solution, once, besides avoiding the air pollution can also serve the local energy demands. Thus, the study objective was made an analysis of the economic viability of the energetic biogas use generated in the Foz do Iguaçu – PR sanitary landfill. Using the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC 1996 methodology to estimate the potential of methane emission of 2001 to 2010, and the method of project to estimate the generating biogas after closing the cell, also it was accomplished the sizing and the costs the implantation of the catchent system and the energetic biogas use. Based in this results, the analysis of the economic viability of the project was made using this criterions: payback, VPL and TIR, showing that to the landfill in study is uneconomical and environment feasible to carry out the energetic biogas use, once the technology costs of the use are very hight.

Keywords: Sustainability, Decomposition and Solid Residue.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Comparativo entre Geração Convencional e Distribuída.....	30
Figura 2 - Localização do Município no Estado do Paraná.....	32
Figura 3 - Vista Aérea do Aterro Sanitário.....	33
Figura 4- Drenos e Poços de Captação de Biogás	34
Figura5 - Célula 1 de Disposição de Resíduos Domésticos e comerciais.	35
Figura 6 - Célula 2 de Disposição de Resíduos Domésticos e Comerciais	36
Figura 7 - Gasodutos Secundários e Principal.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição do Biogás.....	19
Tabela 2- Geração de Biogás no Aterro Sanitário de Foz do Iguaçu – PR...	21
Tabela 3- Dimensões das células de disposição de lixo	36
Tabela 4- Valor do FCM.....	39
Tabela 5- Valores Sugeridos para k (ano⁻¹).....	41
Tabela 6- Disposição dos Resíduos no Aterro Sanitário.....	45
Tabela 7- Estimativas de Geração de Biogás.....	46
Tabela 8- Dimensionamento Linear do gasoduto.....	48
Tabela 9- Diâmetro das tubulações.....	48
Tabela 10- Grupo Gerador.....	49
Tabela 11- Potencial de Geração de Energia Elétrica.....	50
Tabela 12- Custos para Implantação do Sistema de Aproveitamento Energético.....	51
Tabela 13- Viabilidade Econômica do Aproveitamento Energético do Biogás da Célula 1.....	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	12
2.1.1 Aterro Sanitário.....	14
2.1.2 Degradação Biológica dos Resíduos Sólidos.....	14
2.2 MUDANÇAS CLIMATICAS.....	16
2.3 ENERGIAS RENOVAVEIS.....	17
2.3.1 Formação e Composição do Biogás de Aterro Sanitário.....	18
2.3.2 Economia do Biogás	20
2.4 ANÁLISE ECONOMICA EM PROJETOS.....	24
2.4.1 Fluxo de Caixa.....	25
2.4.2 Payback.....	25
2.4.3 Valor Presente Líquido – VPL.....	26
2.4.4 Taxa Interna de Retorno – TIR.....	27
2.5 ENERGIA ELÉTRICA E MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	28
2.5.1 Geração Distribuída.....	29
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	32
3.1 LOCAL DA PESQUISA.....	32
3.1.1 Características do Município de Foz do Iguaçu – PR.....	32
3.1.2 Aterro Sanitário de Foz do Iguaçu.....	33
3.2 TIPO DE PESQUISA.....	37
3.3 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS.....	38
3.4 ANÁLISE DE DADOS.....	38
3.4.1 Geração de Resíduos no Aterro Sanitário de Foz do Iguaçu.....	38
3.4.2 Equação de Inventário do IPCC (1996).....	39
3.4.3 Método de Projeto.....	40

3.4.4 Dimensionamento do Gasoduto para Captação do Biogás.....	41
3.4.5 Dimensionamento do Grupo Gerador e Potencial de Geração de Energia Elétrica.....	43
3.4.6 Análise de Viabilidade Econômica do Aproveitamento Energético do Biogás no Aterro Sanitário de Foz do Iguaçu.....	43
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	45
4.1 DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS NO ATERRO SANITÁRIO.....	45
4.2 ESTIMATIVAS DE GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO.....	45
4.3 DIMENSIONAMENTO DA INFRA-ESTRUTURA DE CAPTAÇÃO DE GÁS...	48
4.4 DIMENSIONAMENTO DO GRUPO GERADOR E POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	49
4.5 VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS NO ATERRO SANITÁRIO DE FOZ DO IGUAÇU PR.....	51
4.5.1 Levantamento de Custos.....	51
4.5.2 Análise de Viabilidade Econômica.....	52
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento socioeconômico e tecnológico das cidades, bem como os altos padrões de consumo da população, ocasionaram ao longo dos anos a escassez dos recursos naturais, e conseqüente geração excessiva de resíduos. O aumento na geração desses resíduos é considerado um fato preocupante, visto que o descarte final inadequado gera passivos ambientais como: poluição do solo, poluição hídrica, poluição atmosférica e a proliferação de vetores.

Muito embora os aterros sanitários sejam os locais de destinação mais adequados para a disposição final dos resíduos, ainda apresentam altos índices de poluição atmosférica, fator que é ocasionado pela liberação de gases provenientes do processo de decomposição dos resíduos. Esse conjunto de gases é conhecido como biogás, sendo sua constituição predominante de gás carbônico e metano, os quais, ao serem liberados na atmosfera contribuem significativamente para o efeito estufa.

A captação e canalização desses gases além de diminuir os impactos ambientais ocasionados pelas emissões atmosféricas representa uma alternativa energética bastante interessante, visto que o biogás pode ser utilizado como fonte para produção de energia elétrica, térmica e veicular.

Tendo em vista que os locais de disposição final de resíduos sólidos urbanos representam um grande problema ambiental em virtude do seu elevado potencial poluidor, se faz necessário a implementação de mecanismos que diminuam a poluição ocasionada nesses locais, considerando os aspectos ambientais, econômicos e sociais, principalmente das áreas entorno do aterro que podem ser beneficiadas caso ocorra um excedente de energia no aterro. Desta forma, o objetivo central deste trabalho é avaliar a viabilidade econômica, considerando as seguintes especificidades:

- Quantificar o potencial de geração de biogás no aterro e o potencial de geração elétrica;
- Dimensionar o grupo Gerador, bem como os gasodutos para captação e condução do gás;
- Orçar o custo de implantação do sistema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 10004, define resíduos sólidos como resíduos nos estados sólidos ou semi-sólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição (ABNT, 2004).

Os resíduos sólidos são materiais heterogêneos resultantes das diversas atividades humanas, sendo que a heterogeneidade é a característica principal dos resíduos, deste modo, torna-se difícil de avaliar a exata composição, tendo em vista a diversidade dos materiais constituintes e a existência de diferentes protocolos de amostragem e caracterização (PINTO, 2000 *apud* BARCELOS, 2009).

Segundo Mól (2007), os resíduos sólidos são gerados a partir das diversas atividades humanas, e correspondem a um dos mais graves problemas enfrentados pela sociedade contemporânea. Faria (2002) relata que, para os geradores os resíduos sólidos são definidos como restos das atividades humanas e classificados de acordo com a fonte geradora.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Administração de Municípios (IBAM), depois de gerados, os resíduos sólidos devem prejudicar o mínimo possível o meio ambiente, por isso se faz necessárias soluções adequadas para que não haja poluição (IBAM, 2001). Do mesmo modo, Figueiredo (2007) relata que os resíduos quando de forma inadequada são dispostos no meio ambiente podem causar problemas de poluição e desperdício de matéria prima, e Pimenteira (2000) acrescenta que esses resíduos também podem acarretar em danos para a população devido ao vazamento de chorume e a proliferação de vetores que geralmente ocorrem nas redondezas dos locais de disposição final do lixo.

Segundo Zaneti (2003) o aumento dos resíduos nos centros urbanos é caracterizado em função do consumo inconsciente dos produtos descartáveis, todavia, a Fundação Nacional da Saúde (FUNASA) descreve que os resíduos podem ser classificados quando a sua origem em domiciliar, comercial, serviços públicos, serviços de saúde, industrial, agrícola e de entulho (FUNASA, 2006), e

Ribeiro Filho e Santos (2008) relatam que a composição desses resíduos pode ser bastante diversificada devido aos hábitos, costumes e poder aquisitivo da sociedade. Deste modo, a NBR 10004 classifica esses mesmos resíduos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública em Classe I perigosos, Classe II A não inertes e Classe II B inertes (ABNT, 2004).

Schneider *et al.* (2003), descreve que o panorama da problemática dos resíduos sólidos pode ser observada através da caracterização dos mesmos. Rocha e Lang (2003) confirmam que essa caracterização pode ser realizada através da composição gravimétrica, identificando a quantidade e a qualidade dos resíduos gerados. De acordo com Chernicharo *et al.* (2003), a composição gravimétrica possibilita o reconhecimento da carga poluente dos resíduos e a potencialidade econômica da recuperação de alguns materiais.

A geração de resíduos é proporcional ao aumento da população e desproporcional à disponibilidade de soluções para o gerenciamento dos detritos, resultando em sérias defasagens na prestação de serviços e qualidade do atendimento (DIAS, 2000). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2000, as cidades brasileiras com até 200.000 habitantes, a quantidade diária de resíduos sólidos coletado por pessoa variou entre 450 e 700 gramas, e acima de 200.000 habitantes, essa quantidade aumentou, ficando entre 800 e 1200 gramas (IBGE, 2000).

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) em 2012 a geração de resíduos teve um acréscimo de 2,7 % relacionado ao ano de 2011 na região Sul, sendo que em nível nacional a geração de resíduos é da ordem de 201.058 toneladas/dia (ABRELPE, 2012).

O aumento da produção de resíduos tem prejudicado as técnicas de aterro sanitário, e principalmente as necessidades de grandes áreas e o aumento no custo do gerenciamento (BARCELOS, 2009). “Para as melhorias deverão acontecer ações conectadas entre si como redução dos resíduos gerados, reutilização, separação das frações dos resíduos e reciclagem, e recuperar a energia contida nos resíduos cuja reciclagem não for viabilizada e com custos acessíveis” (ABRELPE, 2010).

O gerenciamento integrado dos resíduos representa um conjunto articulado de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que uma administração municipal desenvolve, com base em critérios sanitários, ambientais e econômicos, para coletar, tratar e dispor o lixo na sua cidade, ou seja, utilizar um

sistema adequado combinando soluções disponíveis, utilizando-se de tecnologias compatíveis com a realidade local, fazendo com que o lixo não seja uma fonte de problema presente e futuro (REIS; FADIGAS; CARVALHO, 2005).

2.1.1 Aterro Sanitário

De acordo com a norma da NBR 8.419/1983, o aterro sanitário é considerado um local utilizado para a disposição dos resíduos sólidos no solo, particularmente lixo domiciliar, com o propósito de isolar todo tipo de ação que possa poluir o meio ambiente (ABNT, 1983).

O aterro sanitário é a alternativa que reúne a maior vantagem, considerando a redução dos impactos ocasionados pelo descarte dos resíduos sólidos urbanos, sendo que essa alternativa utiliza critérios de engenharia e normas operacionais específicas, evitando danos ou riscos à saúde pública, e minimizando os impactos ambientais, pois os lixos são depositados sobre uma camada de material impermeável que protege o solo, com drenagem de gases e chorume (BARCELOS, 2009).

O despejo, a compactação e a cobertura são controlados para que haja a minimização de odores e proliferação de insetos e roedores. A compactação tem como objetivo reduzir a área disponível, prolongando a vida útil do aterro e a firmeza do terreno, sendo que o mesmo deve ser instalado a uma distância mínima de 400 m de um curso de água (REIS; FADIGAS; CARVALHO, 2005).

2.1.2 Degradação Biológica dos Resíduos Sólidos

Segundo Reichert (2005) a digestão anaeróbia dos resíduos sólidos é o processo de conversão da matéria orgânica em ausência de oxigênio, convertendo o orgânico em ácidos voláteis, e a conversão de ácidos orgânicos em metano e gás carbônico. Alves (2000) descreve que a decomposição da matéria orgânica em

aterros ocorre através de uma serie de etapas de degradação anaeróbica, realizada por uma serie de espécies biológicas.

De acordo com CETESB (2006) o metano é o gás mais importante produzido no tratamento de resíduos, que pode ser transformado em energia. Quantias significativas dessas emissões anuais de metano é um produto secundário da decomposição anaeróbia de resíduos. Araujo, Matos e Bernardes (2002), descrevem que a transformação biológica dos resíduos no sistema de gerenciamento de lixo, pode ser usada para reduzir o volume e o peso do material, bem como a produção de húmus e metano.

Utilizar combustível gerado a partir da digestão do resíduo contribui para o custeio do saneamento, evitando o lançamento dos gases do efeito estufa à atmosfera e o uso do combustível fóssil que emite gás carbônico (CO_2), outro gás que contribui para o aumento do efeito estufa (ALVES, 2000), e Barcelos (2009) concorda ao dizer que a principal vantagem dessa tecnologia é constituir um sistema produtor de energia com conseqüente diminuição dos gases do efeito estufa e notável redução nos custos pelo consumo de energia.

Quando os resíduos são depositados em aterros, são colocados e compactados a uma densidade específica, uma decomposição anaeróbica se inicia e então surge o gás do lixo (HENRIQUES, 2004).

A decomposição possui varias fases, a primeira é a decomposição aeróbica que ocorre imediatamente após o resíduo ter sido depositado no aterro enquanto o oxigênio está presente no resíduo. Esse processo produz dióxido de carbono, água e calor. A próxima fase, anóxica não metanogênica, ocorre que compostos ácidos e gás hidrogênio são formados enquanto há continuada produção de CO_2 . A terceira fase conhecida como instável metanogenicida, acontece quando a produção de CO_2 começa a declinar porque a decomposição do lixo muda da fase aeróbica para a anaeróbica. A decomposição anaeróbica produz calor e água, mas, diferentemente da decomposição aeróbica, também produz CH_4 . Durante a quarta fase, o metano é gerado na faixa entre 40 e 70% do volume total (SILVA, 2010).

2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O ser humano é parte integrante do ambiente que vive e a relação homem natureza teve início no surgimento da Terra. A ação humana sobre os ecossistemas se expandiu com o passar do tempo, tanto pela crescente complexidade de suas necessidades como pelo crescimento demográfico (MARCHEZI; AMARAL, 2008). O crescimento populacional e o desenvolvimento econômico são dois dos principais fatores que dão origem à produção do lixo urbano, decorrente da atividade consumista que tem como consequência a degradação do meio ambiente (MEIRA, 2009).

Cruz (2001) aponta que o homem não consegue viver no mundo sem transformá-lo, devido ao fato de que não existe atividade humana que não interfira no ambiente. No mesmo ritmo que o homem cria ele também destrói pelo fato de suas preocupações serem maiores com as inovações tecnológicas do que com o meio ambiente (VIDAL; MAIA, 2005). A disposição e tratamento de resíduos municipais e industriais podem produzir emissões dos mais importantes gases que provocam o efeito estufa (CETESB, 2006).

São muitas as atividades desenvolvidas, necessárias para a manutenção da existência humana, sendo elas a utilização em massa dos recursos naturais, a produção de alimentos, a produção de bens de consumo pelas indústrias, a urbanização e o aumento no consumo de combustíveis fósseis e energia (D'ALMEIDA *et al.*, 2000). Porém, as atividades humanas que os emitem estão provocando o aumento de sua concentração atmosférica e este está diretamente relacionado ao aumento do efeito estufa e às mudanças climáticas (ALVES, 2000). Ao longo das últimas décadas a concentração de gases de efeito estufa vem aumentando por diversas causas, mas principalmente devido ao uso de combustíveis fósseis (LINDEMEYER, 2008).

“As emissões antropogênicas dos gases do efeito estufa (GEE) vêm sendo associado à elevação da temperatura média do Planeta” (GORE, 2006). O efeito estufa é um fenômeno natural e sua existência é fundamental para a existência de vida no planeta. Os gases de efeito estufa têm a propriedade de reter parte da energia irradiada (JÚNIOR, 2006 *apud* LINDEMEYER, 2008). Para o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) uma das grandes preocupações

da sociedade mundial é o aquecimento global, por isso aumentam as exigências por soluções viáveis para mitigação dos GEE com o objetivo de diminuir os impactos sobre o clima (IPCC, 2001).

Hinrichs e kleimbach (2003) descrevem que um dos principais fatores a afetar o meio ambiente é a utilização dos recursos energéticos, e o aumento do consumo de combustíveis fósseis causou aumento de 30% da concentração de dióxido de carbono atmosférico elevando a temperatura global.

Os gases provenientes dos aterros sanitários contribuem significativamente para as emissões globais de metano. As estimativas indicam que as emissões variam entre 20 e 70 Tg/ano, enquanto que o total das emissões globais pelas fontes antropogênicas equivale a 360 Tg.ano⁻¹, apresentando que os locais de disposição final de resíduos produzem de 6 a 20% do total das emissões de gás metano (IPCC, 1995 *apud* CETESB, 2006).

De acordo com o Centro de gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), no Brasil, a vulnerabilidade climática pode se manifestar no aumento da frequência de enchentes e secas, ameaça a biodiversidade, perdas na agricultura, mudanças no regime hidrológico, e aumento das doenças endêmicas (CGEE, 2008).

2.3 ENERGIAS RENOVÁVEIS

A população mundial cresceu de 2,5 bilhões em 1950 para 6,2 bilhões em 2002. Baseado neste cenário, novas fontes de energia alternativa e sustentável serão exploradas (TOLMASQUIM, 2003). Silvestre (2007) indica que a demanda futura por energia elétrica exigirá a integração das novas fontes alternativas de energia.

Segundo a Agência Municipal de Energia de Almada (AGENEAL), as fontes de energias podem ser divididas em renováveis e não renováveis, sendo que as renováveis são aquelas encontradas na natureza, porém, são limitadas e se extinguem com a utilização (AGENEAL, 2008). Produzidas pelo calor do sol, pela força do vento ou da água, as energias renováveis tem a vantagem de serem utilizadas localmente, diminuindo a dependência energética em relação aos países produtores de petróleo e gás natural (BLEY JUNIOR *et al.*, 2010).

Braga *et al.* (2005) relatam que a biomassa é a matéria vegetal produzida pelo sol por meio da fotossíntese, ela pode ser queimada no estado sólido ou convertida para líquido ou gasoso. Segundo Tolmasquim (2003) a classificação das tecnologias de eletricidade a partir da biomassa está associada a necessidade ou não de conversão da biomassa antes de sua produção. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), biomassa é todo recurso natural oriundo de matéria orgânica que pode ser utilizada na produção de energia por processo de combustão em fornos e caldeiras (ANEEL, 2008).

Segundo Lima (1995) *apud* Vanzin (2006) os resíduos sólidos urbanos podem ser considerados como fonte inesgotável de energia alternativa, devido ao fato de que a conversão biológica dos mesmos para fins energéticos é um fato considerável.

Reis, Fadigas e Carvalho (2005) relatam que no cenário ecológico as questões ambientais terão grande influencia no crescimento e na demanda de energia, assumindo a participação significativa de recursos renováveis como a biomassa moderna, pela geração de energia a partir dos resíduos sólidos urbanos. O lixo é a única fonte renovável de energia que, se não for utilizada causa danos ao meio ambiente.

De acordo com Itaipu Binacional (2010) outra fonte de energia renovável é o Biogás, produto proveniente da decomposição orgânica natural ou biológica, que além de atribuir ganhos ambientais tem grande potencial energético.

2.3.1 Formação e Composição do Biogás de Aterro Sanitário

De acordo com Ensinas (2003) o lixo ao ser depositado no aterro sanitário fica descoberto e em contato com a atmosfera até que sejam cobertos. Nesse período em que os resíduos orgânicos se encontram descobertos constata-se a emissão de compostos voláteis que compõem a massa do resíduo, contudo, esses compostos continuarão a serem emitidos após a cobertura do lixo.

Justi e Moliterno (2008) relatam que a formação do biogás de aterro pode ser estimado de acordo com a composição química dos resíduos, principalmente dos compostos orgânicos biodegradáveis. Segundo Coelho (2008) o biogás de

aterro é obtido a partir da decomposição do resíduo orgânico sob condições anaeróbicas em processos de fermentação onde a matéria orgânica é degradada formando basicamente o metano e o gás carbônico. Segundo Figueiredo (2007) a formação e geração dos principais gases constituintes do biogás de aterros são estimadas em 15 anos, contudo, em condições normais, a taxa atinge um pico entre primeiro e segundo ano, e depois diminui gradativamente nos próximos anos.

A produção desses gases está vinculada há alguns fatores como quantidade e composição dos resíduos depositados, nutrientes, temperatura, pH (JUSTI; MOLITERNO, 2008). Nesse sentido, Silva (2010) complementa que a produção também depende da forma construtiva do aterro, uma vez que, a estrutura, espessuras das camadas e/ou altura total estão ligada com maiores ou menores condições de anaerobicidade estabelecidas no interior da massa do resíduo sólido.

De acordo com Alves (2000) a composição do biogás é dada pela mistura dos gases metano (50 a 90%), gás carbônico (10 a 50%), gás sulfídrico (3%), hidrogênio (1%), oxigênio e nitrogênio (1%), conforme apresenta a Tabela 1.

Tabela 1- Composição do Biogás

Composição	Quantidade (%)
Metano	50 - 90
Gás Carbônico	10 - 50
Gás Sulfídrico	3
Hidrogênio	1
Oxigênio e Nitrogênio	1

Fonte: Alves (2000).

Zalauf (2004) descreve que a composição predominante do biogás é metano e gás carbônico, e são encontrados naturalmente em pântanos, dejetos bovinos, suínos e equinos, estações de tratamento de efluentes domésticos e industriais, e aterros sanitários. Para o IPCC (1996) o biogás proveniente de aterros sanitários possui uma composição de 50 a 60% de metano, porém, adotado em 50% o valor referencial.

A presença de substâncias não combustíveis no biogás, como o caso do dióxido de carbono e água prejudicam o processo de queima tornando o gás menos eficiente, devido ao fato dessas substâncias entrarem no lugar do combustível no processo de combustão e absorvem parte da energia gerada. O gás sulfídrico é outra substância que prejudica o rendimento e a vida útil dos motores (COSTA, 2006).

2.3.1 Economia do Biogás

Para o Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO) o biogás é considerado como uma fonte de energia renovável e, portanto, sua recuperação e seu uso energético apresentam vantagens ambientais, sociais, estratégicas e tecnológicas significativas (CENBIO, 2001).

Apesar dessa opção de geração de energia, não se pode considerar esta uma solução para a escassez de energia elétrica do país já que um programa que empregasse todo o gás de lixo na geração de eletricidade, não representaria 1% daquilo que é consumido hoje no país (ZALAUF, 2004).

De acordo com Lima (1995) *apud* Vanzin (2006) muitos projetos que visam a exploração do metano tem sido estabelecidos nos aterros sanitários nas últimas décadas. Paralelo a isso, Reis, Fadigas e Carvalho (2005) descrevem que os projetos com alternativas de aproveitamento de biogás a partir dos resíduos sólidos encontram-se instalados em algumas Capitais e Municípios, cabendo ressaltar que a questão do lixo que deve ser tratado de forma integrada no contexto de infraestrutura, tendo como objetivo aumentar a eficiência do uso da energia e recursos e reduzir a geração de resíduos ao mínimo, buscando bases na redução, reutilização e reciclagem.

Segundo Silva (2010) o adequado aproveitamento do biogás como fonte de energia, utilizando técnicas apropriadas de captação do gás metano, oportuniza a sustentabilidade dos aterros sanitários, e Barcelos (2009) afirma que o aproveitamento energético do metano oriundo da degradação biológica dos resíduos pode mitigar o efeito estufa e tornar sustentável a matriz energética. Cada tonelada de resíduos sólidos urbanos produz cerca de 70 m³ de gás (REIS; FADIGAS;

CARVALHO, 2005), e Henriques (2004) descreve que essa geração é baseada em diversos fatores como região, clima, temperatura, precipitação, composição gravimétrica dos resíduos, operação do aterro, compactação das células e recirculação do chorume.

Uma vantagem da produção de biogás para geração de energia elétrica é a diminuição dos custos com implantação de linhas de transmissão, devido à proximidade da fonte geradora ao centro consumidor (VANZIN, 2006).

Segundo Zalauf (2004) a geração de energia elétrica e a captação do biogás geram empregos diretos e indiretos. Em aproximadamente 100 projetos, estima-se uma geração de 2000 empregos com renda de R\$ 2 milhões de reais.

Souza (2011) realizou um estudo no Aterro Sanitário do Município de Foz do Iguaçu – PR, cujo objetivo era determinar o potencial de geração de metano gerado no aterro. Para verificar a quantidade de gás gerado pela disposição do lixo, o autor utilizou a metodologia do IPCC de 1996, onde encontrou os resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Geração de Biogás no Aterro Sanitário de Foz do Iguaçu - PR

Ano	Quantidade de Resíduos (Ton.)	Geração de Biogás (m³)
2001	71.406,00	6.869,26
2002	87.713,00	8.437,99
2003	69.602,00	6.695,71
2004	69.108,00	6.648,19
2005	74.182,00	7.136,31
2006	79.477,00	7.645,19
2007	78.786,00	7.579,21
2008	81.612,00	7.851,07
2009	81.611,00	7.850,98
2010	92.238,00	8.873,30

Fonte: Souza (2011).

Figueiredo (2007) realizou um estudo no Aterro Sanitário CTR Caieiras cujo objetivo era analisar o potencial de geração de biogás no aterro como também

analisar a viabilidade de implantação do projeto de geração de energia elétrica. Utilizando-se da metodologia descrita pelo IPCC de 1996, a autora estimou um potencial de 62.185.802.93 m³ com 2.400.000 toneladas de lixo. De acordo com os resultados encontrados pela metodologia da CETESB para geração de energia elétrica, o aterro possui um potencial de aproximadamente 3,94 MW em 2007, podendo chegar a 42 MW no ano de seu encerramento em 2024, e com base no alto consumo energético do setor elétrico, a proposta do projeto se torna viável uma vez que os investimentos do projeto terão retorno em poucos meses.

Abreu (2009), realizou um estudo cujo objetivo principal era analisar a viabilidade técnica e econômica para geração de energia elétrica através do biogás gerado no Aterro Sanitário de Gramacho. Baseado nos cálculos realizados, para uma quantidade média de 8779 toneladas.dia⁻¹ de resíduos, obteve-se o potencial de geração de metano anual na ordem de 271.086.741.00 m³ com capacidade de geração de energia na usina termoelétrica de 10 MW e no décimo quinto ano será de 4,3 MW. O investimento inicial do projeto foi de R\$ 15.514.880,00 reais, obtendo a taxa interna de retorno (TIR) de 7,68% e o valor presente líquido (VPL) R\$ 257.092,00, viabilizando assim as questões técnicas, econômicas e ambientais do projeto.

O estudo realizado por Silva (2011) no aterro sanitário de São João, apresentou que a usina termoelétrica possui 16 geradores de 1,54 MW de potência, com capacidade de geração de energia elétrica de 200.000 MW.ano⁻¹, e investimento inicial de R\$ 48 milhões de reais, verificando a viabilidade do investimento.

De acordo com Vanzin (2006), o aterro metropolitano Santa Tecla teve sua operação de 1999 a 2005 com disposição de 2.043.208,24 ton de resíduos. Essa quantidade gerou 170 m³ de metano.ton⁻¹ de resíduo, deste modo, o potencial de geração de energia elétrica no aterro inicia com potencial de 0,5 MW chegando ao máximo de 3,69 MW.ano⁻¹, com média de 10,11 Kwh.dia⁻¹. O investimento inicial para o aproveitamento energético foi de U\$ 4,008 milhões, sendo o projeto ambientalmente, economicamente e socialmente viável.

Silva *et al.* (2009) realizaram um estudo no aterro sanitário da Caximba, na capital do Estado do Paraná, e concluíram que o aterro possui capacidade de 1 MW.dia⁻¹. O investimento inicial da usina de aproveitamento foi de R\$ 3.710.500,00 reais, e economicamente viável.

Justi e Moliterno (2008) ao estudar o aterro sanitário Bandeirantes apresentaram que a central de aproveitamento de biogás possui 24 conjunto moto geradores ciclo Otto de 925 Kwh, com capacidade de 22,2 MW.

Santos e Tauchen (2010) realizaram um estudo no aterro sanitário de Cascavel sobre o potencial de geração de energia elétrica, e concluíram que são dispostos no aterro 230 ton. dia⁻¹ de resíduo, que geram 170 Kwh.mês⁻¹, com dois motores de 300 CV, os quais refletem uma redução de 85% na dependência de energia da concessionária local, porém, constata-se ao longo dos anos a viabilidade do investimento.

De acordo com a Prefeitura Municipal e Toledo – PR (2012) foi realizado um estudo para aproveitamento energético do biogás no aterro sanitário de Toledo, e concluíram a viabilidade do projeto. Deste modo, foi instalado em abril de 2012 um motor para aproveitamento energético do biogás no aterro, onde o sistema contempla um motor de 50 KVa que atende a demanda de energia local, e investimento de R\$ 90.000,00.

Gracino (2010) realizou um estudo para analisar o potencial de geração de biogás no aterro do Município de Araçatuba e verificou que no ano de 2009 a geração de metano era de 800.000 m³/ano e no ano de 2010 essa geração foi de 1.900.000 m³/ano.

Ludwig, Steve e Dávila (2009) ao estudarem a geração de biogás nos aterros sanitários, concluíram que a geração máxima de biogás após o fechamento da célula ocorrerá no mesmo ano ou no ano seguinte ao fechamento da célula, depois diminuíram exponencialmente devido à atividade de degradação microbiológica ser retardada em 6 meses. Do contrario, Firmo (2006) *apud* Alves (2008) relata que no primeiro ano de disposição de resíduos a geração de biogás é praticamente nula, e que após o fechamento da célula, a geração atingir o pico no sexto ano havendo declínio até o final do décimo sexto ano e, Borba (2006) conclui que a geração máxima ocorre nos dois primeiros anos, e a geração decresce por 25 anos ou mais dependendo das condições do clima e da composição gravimétrica do resíduo.

Ensinas (2003) concluiu em seu estudo que, para viabilizar o aproveitamento energético do biogás para geração de energia elétrica, é necessário obter valores mínimos de produção de metano e que as taxas de degradação sejam elevadas por meio da reinjeção do chorume na célula do aterro.

Jucá *et al.* (2005) ao realizarem o estudo sobre a disponibilidade de biogás em uma célula de aterro, concluíram que a previsão futura da geração de biogás é o fator principal para estimar a potência dos equipamentos de geração de energia elétrica bem como determinar a quantidade de energia que poderá ser gerada.

Borba (2006) descreve que os cálculos para estimação da geração de gases em aterros sanitários são de grande incerteza devido a variedade dos processos que ocorrem na massa do resíduo e a falta de monitoramento relacionados a disposição dos resíduos nos aterros, contudo, conclui que a metodologia descrita pelo IPCC fornece valores mais exatos e sensíveis, pois utiliza maior número de elementos quando comparada com outras metodologias existentes.

Figuerola e Stegmann (1991) *apud* Maciel (2003), realizaram um estudo para analisar a variação das pressões dos gases no interior da célula do aterro sanitários Murimbeca, onde constataram que as pressões variam de acordo com a profundidade dos resíduos, tempo de disposição e pressão atmosférica, sendo que para a análise realizada em um período de sete dias, utilizando um dispositivo manométrico, concluíram que ao longo da célula de 33 m de altura as pressões variaram de 0,01 a 0,4 Kpa.

Mari, Lucio e Muller (2012) ao estudarem a implantação de gasodutos rurais para biogás, concluíram que os custos dos gasodutos incluindo escavação, tubos PEAD, instalação, soldagem por termofusão, fita de advertência, leito de areia, reaterro e compactação são: DN 20: R\$ 17,00; DN 25: R\$ 17,50; DN 32: R\$ 18,50; DN 40: R\$ 20,00; DN 50: R\$ 24,50; DN 63: R\$ 28,00; DN 75: R\$ 35,50; DN 90: R\$ 41,50; e DN 110: R\$ 54,00.

2.4 ANÁLISE ECONÔMICA EM PROJETOS

Apesar da geração de energia a partir do biogás agregar vários benefícios ambientais e sociais, não se descarta a avaliação da viabilidade econômica do investimento (VANZIN, 2006). Deste modo, Moura (2000) descreve que a avaliação de investimento deve considerar o valor do dinheiro no tempo. Investimento é uma atividade básica empresarial (HELFERT, 2000).

Bruni e Fama (2007) afirmam que a análise econômico financeira de investimentos tem justamente a preocupação de verificar se os benefícios gerados com o investimento compensam os gastos realizados. Segundo Moreira, David e Rocha (2003) por razões estratégicas, valores incertos e intangíveis devem ser considerados na quantificação econômica de um projeto.

2.4.1 Fluxo de Caixa

De acordo com Zimmermann e Gobbo (2011) fluxo de caixa é a origem de todo dinheiro que entrou e a aplicação de todo dinheiro que saiu em determinado período, de uma maneira geral são os valores recebidos menos as despesas pagas. Deste modo, Vanolli (2010) relata que o fluxo de caixa auxilia no controle e na previsão das movimentações financeiras em um determinado período, identificando sobras e até faltas de caixa.

2.4.2 Payback

Payback é o período de tempo necessário para recuperar o investimento inicial de um projeto, ou seja, quantos anos serão necessários para recuperar o capital inicial (GROPPELLI; NIKBAKHT, 2010).

Vanolli (2010) afirma que o *payback* é uma ferramenta de análise de investimento utilizado para determinar quanto tempo é necessário para a empresa recuperar o dinheiro investido. A análise consiste em avaliar o tempo de retorno do capital empregado, quanto maior o *payback*, maior o tempo necessário para que o investimento se pague, contudo, quanto maior o *payback*, maior o risco envolvido devido as incertezas do futuro. Essa ferramenta é dividida em *payback* simples, o qual não considera o custo de capital da empresa, e *payback* composto que considera o custo de capital da empresa.

Uma forma simples, porém aproximada, de calcular o *payback* simples no caso de uma série uniforme é dividir o investimento total pela receita líquida anual.

De acordo com Bruni e Fama (2007) o *payback* simples e composto podem ser calculado de acordo com as Equações 1 e 2.

$$VP = \frac{VF}{FC} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:
VF= Valor Futuro
FC = Fluxo de Caixa

$$VP = VF/(1+i)^n \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:
VP = Valor Presente;
VF = Valor Futuro;
i = Taxa;
n = ano de ocorrência do fluxo.

2.4.3 Valor Presente Líquido – VPL

Valor presente de um fluxo de caixa futuro de um projeto menos o seu investimento inicial, ou seja, se o valor presente de um fluxo for maior que seu custo inicial, o projeto é um empreendimento válido, por outro lado, se o valor presente for menor que o custo inicial, deve-se rejeitar o projeto.

O valor do presente líquido para que o projeto seja aceito deve ser zero ou positivo (GROPPELLI; NIKBAKHT, 2010). Segundo Vanolli (2010) quando o valor do VPL for maior que zero, significa que a empresa terá um retorno mínimo exigido, VPL igual à zero entende-se que a empresa terá o retorno exatamente igual ao capital investido, e VPL menor que zero demonstra que a empresa não terá retorno do capital investido.

Para Gitman (2002) o valor presente líquido “é considerado uma técnica sofisticada de orçamento de capital”. Leva em conta o valor do dinheiro no tempo, ou seja, é o resultado da diferença entre o valor dos fluxos de caixa trazidos ao período inicial e o valor do investimento. Desta forma, o VPL é considerado uma ferramenta de análise de investimento que considera a mudança de valor do dinheiro no tempo.

Nela, todos os fluxos de caixa futuros são descontados utilizando-se valores atuais, ou seja, cada um dos fluxos de caixa é trazido ao valor presente a uma determinada taxa.

Para Vanolli (2010) o VPL é obtido subtraindo-se o investimento inicial de um projeto do valor presente de suas entradas de caixa, descontadas a uma taxa igual ao custo de capital da empresa. A Equação 3 utilizada para calcular o VPL é descrita por Gropelli E Nikbakht (2010).

$$VPL = VP - I \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

VP - valor presente

I - investimento inicial

2.4.4 Taxa Interna de Retorno – TIR

Gropelli e Nikbakht (2010) relatam que a TIR é uma medida bastante utilizada em orçamentos de capital, considerada uma medida de rentabilidade, ou seja, é uma taxa de desconto que padroniza o valor presente dos fluxos de caixa futuro ao investimento inicial, igualando o VPL a zero. Motta e Calôba (2002) concordam e acrescentam que a taxa interna de retorno (TIR) é um índice que mede a rentabilidade do investimento por unidade de tempo, e necessitando que haja receitas e investimentos envolvidos.

Gitman (2002) afirma que a TIR iguala o valor presente do somatório das receitas líquidas futuras ao valor do investimento. Para critério de decisão, se o TIR for maior que o custo de capital, aceita-se o projeto, do contrário, rejeita-se.

A Equação 4 para calcular a TIR é descrita de acordo com Bruni e Fama (2007).

$$TIR = \frac{EC_j}{(1+i)^n} - \frac{SC_j}{(1+i)^n} = 0 \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

ECj = entradas de caixa;
SCj = saídas de caixa
N = número de anos

2.5 ENERGIA ELÉTRICA E MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

A questão energética tem um significado bastante relevante na busca do desenvolvimento sustentável, e tem sido foco de muitas discussões sobre o desenvolvimento humano. Nos últimos anos, esse tema tomou posição central na agenda ambiental global, pois, a matriz energética atual é muito dependente de combustíveis fósseis que, de modo geral, torna-se importante rever o setor energético dentro de uma visão abrangente tanto em questões de desenvolvimento quanto em impactos ambientais. Muito embora o setor energético tenha sofrido rápidas transformações nos últimos anos, ainda haverá fortes mudanças no futuro, não só em função de demandas ambientais e modificações nos mercados, mas também por que novas políticas deverão redirecionar o desenvolvimento tecnológico do setor, onde, por sua vez, acabará gerando novas transformações internas de caráter competitivo e gerencial (REIS; FADIGAS; CARVALHO, 2005).

Bronzatti e Iarozinski Neto (2008) relatam que o Brasil encontra-se em um período de desenvolvimento com processo de mudanças na estrutura econômica e de produção de energia.

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME), para sustentar o Produto Interno Bruto (PIB) com crescimento anual de 3,5%, será necessário aumentar 4,5% ao ano a produção de energia elétrica para evitar racionamento, e o Brasil cresceu nas últimas quatro décadas 3% ao ano no consumo final de energia apresentando importantes alterações estruturais (MME, 2010).

De acordo com o Operador Nacional do Sistema (ONS) o Brasil tem capacidade geradora de energia elétrica de 92 mil MW, e desse montante 85% é proveniente de usinas hidrelétricas (ONS, 2005).

No ano de 2003 a matriz energética brasileira era distribuída em petróleo e derivados 43,2%, biomassa 27,2%, eletricidade 13,6%, gás natural 7,5%, carvão 6,6% e urânio 1,9% (BEN,2004).

Em sequencia, de acordo com BEN (2007) a distribuição da matriz energética de 2006 foi petróleo e derivados 36,7%, energia hidráulica e eletricidade 14,7% biomassa 31,7% gás natural 9,3% carvão mineral e derivados 6,2% Urânio e Derivados 1,4%.

A matriz energética brasileira de 2009 foi distribuída em petróleo e derivados 38%, biomassa 27,3%, eletricidade 14,2%, gás natural 10,2%, carvão 5,1% e urânio 1,4%.

Duas novas fontes estão sendo introduzidas na matriz energética, geração eólica e co-geração a biomassa, sendo visto que respectivamente essa ultima fonte tem potencial de nos próximo sete anos se tornar uma das principais fontes de energia do país. Nesse mesmo contexto, Pereira (2010) relata que o aproveitamento do biogás existente no país será uma das alternativas disponíveis para o aumento da oferta e do equilíbrio da matriz energética (ONS, 2005).

Vanolli (2010) relata que a Matriz Energética Brasileira não trata especificamente da energia gerada pelo emprego do biogás produzido pelo processo de biodigestão anaeróbio de resíduos orgânicos, agrícolas, urbanos e industriais, apesar da produção de energia elétrica a partir desses materiais já apresentar tecnológicas maduras.

2.5.1 Geração Distribuída

Segundo Bley Junior *et al.* (2010) geração distribuída é o modo de geração de energia elétrica conectada em sincronia com a rede de distribuição, que viabiliza a geração por micro-centrais, possibilitando a descentralização do sistema. A geração distribuída pode servir para qualquer fonte renovável de energia elétrica, como eólica, solar, hídrica, geotérmica e no caso da geração de biogás, além dos efeitos energéticos, ainda produz efeitos ambientais, econômicos e sociais.

De acordo com o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) geração distribuída é uma expressão usada para designar a geração elétrica realizada junto ou próxima dos consumidores independente da potência, tecnologia e fonte de energia (INEE, 2010). A Figura 1 mostra o comparativo entre a geração convencional e geração distribuída.

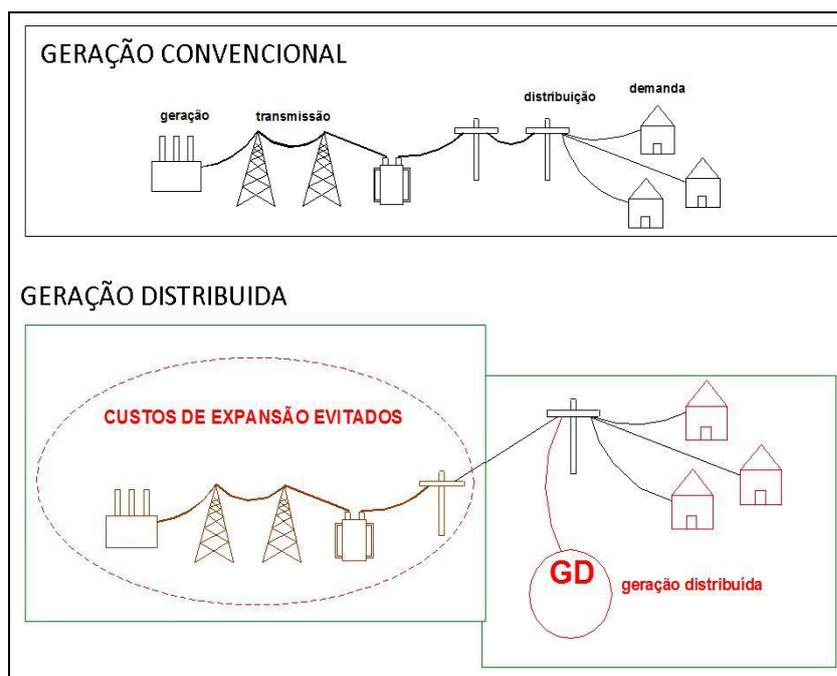


Figura 1: Comparativo entre Geração Convencional e Distribuída.
Fonte: Bley Junior *et al.* (2010).

A geração distribuída é uma boa alternativa as formas tradicionais de geração de energia elétrica. As recentes tecnologias tem permitido que se construam geradores com dimensões reduzidas, seguros, fáceis de adquirir e operar (SANTOS; SANTOS, 2009) .

A geração distribuída tem vantagem sobre a geração central, pois economiza investimentos em transmissão e reduz as perdas nestes sistemas, melhorando a estabilidade do serviço de energia elétrica (INEE, 2010). Santos e Santos (2009) relatam que de acordo com as características, a geração distribuída pode oferecer um custo de produção mais baixo, e qualidade de energia mais elevada do que o consumidor pode obter da rede. Nessa mesma linha de pensamento, Bley Junior *et al.* (2010) relata que esse processo viabiliza a eficiência energética regional a partir da sua renovabilidade, adéquam os custos da energia de atividades economicamente críticas, viabiliza o emprego das fontes renováveis disponíveis, descentraliza a geração viabilizando unidades geradoras de pequeno porte, fornece energia adequada ao tipo de consumo, produz amplos efeitos econômicos locais e regionais.

Segundo Itaipu (2010) esse modelo de geração tem como meta estabelecer uma nova dimensão de geração energética, de forma complementar ao modelo de grande escala.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 LOCAL DA PESQUISA

3.1.1 Características do Município de Foz do Iguaçu - PR

Foz do Iguaçu localiza-se no Estado do Paraná, com área de 617.701 km² e 263,508 habitantes, renda domiciliar per capita de R\$ 804,18 reais, sendo o município voltado para a vocação turística, geração de energia elétrica e comércio (PREFEITURA MUNICIPAL DE FOZ DO IGUAÇU, 2010). Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2009), o clima da região é subtropical úmido mesotérmico, com precipitação média anual de 1800 mm, temperatura média de 22°C, umidade relativa de 72,4%. O solo apresenta textura argilosa, de origem eruptiva, profundos e ricos em matéria orgânica, apresentando encostas levemente onduladas (EMBRAPA, 2006). A Figura 2 apresenta um mapa de localização no Município no Estado do Paraná.

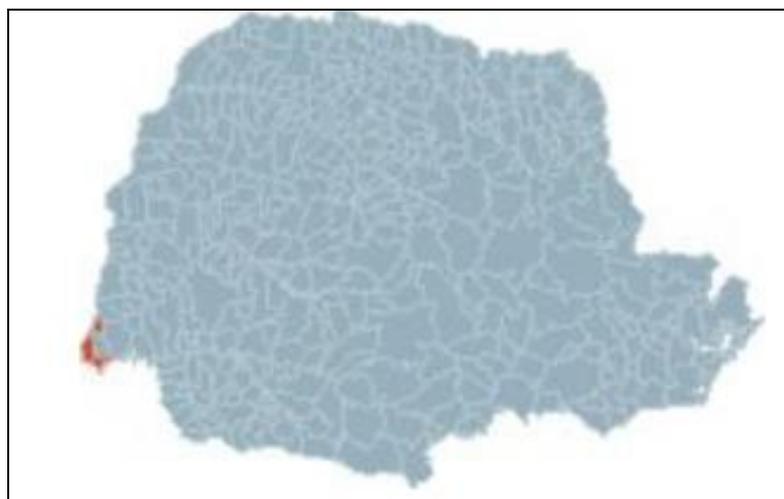


Figura 2: Localização do Município no Estado do Paraná
Fonte: IPARDES, 2013.

3.1.2 Aterro Sanitário de Foz do Iguaçu

O primeiro projeto de aterro sanitário para disposição dos resíduos sólidos urbanos do município foi realizado no ano de 1992, porém, o projeto não foi implementado, e a área foi transformada em um lixão a céu aberto.

Entretanto, em Janeiro de 2001 a empresa de limpeza urbana Vital Engenharia Ambiental S/A foi nomeada responsável por esse serviço no município, dando início a implantação do referido empreendimento, com a recuperação da área de lixão.

Conforme a especificação do projeto, o aterro possui área de 38,973 hectares, e situa-se entre os bairros Porto Belo e Jardim Califórnia. A Figura 3 apresenta a vista aérea do aterro sanitário onde a linha vermelha representa a célula 1 em estudo e as verdes representam as demais estruturas do aterro.



Figura 3: Vista Aérea do Aterro Sanitário.
Fonte: Adaptado de Google Earth 2010.

De acordo com o projeto, a infraestrutura do aterro é dividida em:

- Entrada: o aterro conta com duas guaritas de controle, sendo a primeira destinada ao controle de entrada e saída de pessoas e veículos, e a segunda para pesagem dos caminhões, contendo uma balança com capacidade de 40 toneladas.
- Célula 1: No início de Janeiro de 2001 começou a construção da célula, através da compactação e impermeabilização do solo, e em seguida a execução da rede de drenagem de percolado bem como os poços de captação de biogás. A Figura 4 mostra a construção dos drenos e dos poços de captação de biogás.



Figura 4: Drenos e Poços de Captação de Biogás.

Em 21 de Janeiro de 2001 foi iniciada a disposição dos resíduos, e a conclusão ocorreu no dia 10 de Maio de 2010 com aproximadamente 869.000 toneladas de lixo. A área possui 58.387,15 m² e 32 queimadores de gás (flares) (VITAL ENGENHARIA AMBIENTAL S/A, 2014). A Figura 5 mostra a célula 1 concluída.



Figura 5: Célula 1 de Disposição de Resíduos Domésticos e Comerciais.

- Célula 2: A construção dessa célula iniciou-se em paralelo com a construção da célula 1, com a utilização do lixo da célula 1 para compor a primeira camada. Contudo, o início da operação de disposição de resíduos se deu no dia 11 de Maio de 2010, e atualmente encontra-se recebendo os resíduos do município, e estima-se que seu fechamento aconteça no ano de 2020 (VITAL ENGENHARIA AMBIENTAL S/A, 2014). A Figura 6 retrata a atual situação da célula 2.



Figura 6: Célula 2 de Disposição de Resíduos Domésticos e Comerciais.

- Célula 3: está célula não foi descrita no projeto do aterro, todavia, já foi realizado um novo projeto para a construção da mesma, mas devido a alguns problemas técnicos, a decisão sobre a construção da mesma ainda não foi concretizada. Conforme especificação do projeto, essa célula terá capacidade de armazenamento de resíduos superior as demais, com vida útil estimada em 10 anos, e sua construção se dará onde atualmente encontram-se as jazidas de terra (VITAL ENGENHARIA AMBIENTAL S/A, 2014). A Tabela 3 apresenta as dimensões das células 1, 2 e 3.

Tabela 3 – Dimensões das Células de Disposição de Lixo

Células	Área	Camadas	Altura das Camadas (m)
Célula 1	58.387,15 m ²	7	6
Célula 2	61.584,01 m ²	7	6
Célula 3	71.004,82 m ²	7	6

Fonte: Vital Engenharia Ambiental S/A (2014).

- Compostagem de resíduos: área destinada a produção de compostos orgânicos, com resíduos oriundos das podas de árvores e jardins do município, bem como resíduos orgânicos provenientes da Central de Abastecimento Ceasa - Foz. A área possui 600 m², e recebe em média 7 toneladas de resíduos orgânicos por semana. A área é compactada com uma camada de argila de espessura 50 cm, canais de drenos de pedra, direcionados para as lagoas de tratamento de chorume (VITAL ENGENHARIA AMBIENTAL S/A, 2014).
- Jazidas: área destinada à extração de solo para cobertura diária dos resíduos nas células (VITAL ENGENHARIA AMBIENTAL S/A, 2014).
- Áreas de Inertes: são destinadas a receber resíduos provenientes da construção civil (VITAL ENGENHARIA AMBIENTAL S/A, 2014).
- Lagoas de tratamento de chorume: esta área é composta por 3 lagoas. A primeira, lagoa anaeróbica, recebe o chorume bruto, possui área de 2.880,35 m², profundidade de 3,00 m e volume de 8.354,47 m³. A segunda, lagoa facultativa ou de aeração, é dotada de 3 motores para aeração, possui 9.549,64 m², profundidade variável entre 1,5 a 2,80 m e volume aproximado de 17.113,03 m³. A terceira lagoa encontra-se desativada, todavia, sua área é de 1.985,46 m², profundidade de 1 m, e volume de 1.786,91 m³. Essas lagoas são revestidas com manta Pead de alta densidade e espessura de 2 mm (VITAL ENGENHARIA AMBIENTAL S/A, 2014).
- Centro educacional ambiental: local destinado ao recebimento de visitas técnicas, onde ocorrem palestras sobre o aterro sanitário, e aulas de educação ambiental.
- Refeitório: espaço reservado para os funcionários.
- Barracão coleta seletiva: local destinado a triagem dos materiais reciclados daquela região.

3.2 TIPO DE PESQUISA

De acordo com o tema e os objetivos do projeto, a pesquisa foi desenvolvida em forma de estudo de caso, onde foi desenvolvido um estudo para analisar a viabilidade da geração de energia elétrica no aterro sanitário de Foz do Iguaçu PR.

3.3 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

Os dados necessários para o desenvolvimento do projeto foram fornecidos pela Empresa responsável pelo Aterro Sanitário, Vital Engenharia Ambiental. Os dados foram fornecidos em formato digital. As informações coletadas em campo referem-se a análise do sistema de gestão do resíduo: disposição do resíduo, sistema de coleta, sistema de geração de gás (flare) sistema de drenagem, distancia entre células e caracterização do local. Esses dados são importantes para auxiliar na caracterização do local e do potencial poluidor.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados coletados em campo e os fornecidos pela empresa foram armazenados em uma planilha de Excel, para serem tabulados, criticados e analisados. A análise da viabilidade foi obtida por meio do resultado das Equações de Viabilidade (Equações 1, 2, 3 e 4) para o horizonte de tempo de 20 anos visto que o aterro já se encontra em operação desde 2001, e normalmente as emissões mais significantes são na faixa dos 30 anos. Os dados foram analisados de acordo com: Equação de Inventario do IPCC – International Panel on Climate Change - (utilizada para determinar a quantidade de gás gerado no aterro – Equação 5) dimensionamento do gasoduto para captação do biogás, grupo gerador (determinado pelo fabricante baseado no potencial de gás), geração de energia elétrica e, análise de viabilidade econômica do projeto.

3.4.1 Geração de Resíduos no Aterro Sanitário de Foz do Iguaçu

Para o cálculo da produção *per capita* dos resíduos domésticos do município de Foz do Iguaçu, foram utilizadas as variáveis: população urbana e a quantidade de resíduos coletados pela empresa responsável pelo serviço de limpeza urbana no ano de 2010. O valor obtido para o consumo *per capita* foi de 0,75 kg/hab/dia (PREFEITURA MUNICIPAL DE FOZ DO IGUAÇU, 2011). Esse resultado se

enquadra dentro da variável de 0,5 a 0,8 kg/hab/dia para cidades de medio porte, como é o caso de Foz do Iguaçu com 263,508 habitantes (IPARDES, 2013).

3.4.2 Equação de Inventário do IPCC (1996)

Para avaliar o potencial de geração de metano gerado a partir dos resíduos do Aterro Sanitário de Foz do Iguaçu, utilizou-se a Equação de Inventário do IPCC (1996). A Equação 5 descreve o cálculo realizado para a determinação do potencial de metano, o qual foi estimado com base no conteúdo de carbono do resíduo, na fração de carbono biodegradável e num fator de conversão estequiométrico.

$$L_0 = MCF * COD * COD_f * \frac{16}{12} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

RSD - resíduo sólido domiciliar;

L_0 - potencial de geração de metano do resíduo (m^3 biogás/kgRSD);

MCF - fator de correção do metano (%);

COD - fração de carbono degradável (kgC/kgRSD);

COD_f - fração de DOC dissolvida (kgC/kgRSD);

F - fração de metano no biogás;

16/12 - conversão de carbono para metano;

A Tabela 4 apresenta o Fator de Correção do Metano (MCF) de acordo com os locais de disposição de resíduos.

Tabela 4 – Valores do MCF

Local de Disposição	MCF
Lixão	0,4
Locais sem categoria	0,6
Aterro controlado	0,8
Aterro Sanitário	1

Fonte: IPCC (1996)

A Equação 6 descreve o cálculo realizado para determinar a quantidade de Carbono Orgânico Degradável (COD), no qual foi embasado na composição do resíduo e na quantidade de carbono em cada componente de sua massa.

$$COD = 0,40A + 0,16(B + C) + 0,30D \quad \text{Equação (6)}$$

Onde, segundo IPCC (1996):

A - percentual de papelão e tecidos;

B+C - alimentos e resíduos orgânicos;

D - resíduos de madeira;

Utilizou-se a fração de Carbono Orgânico Degradável Dissociado (CODf) para indicar a fração de carbono que é disponível para decomposição bioquímica, que segundo o IPCC (1996) o CODf é a estimativa da fração de carbono finalmente liberada no local de disposição.

A CODf calculada é descrita de acordo com a Equação 7.

$$CODf = 0,014T + 0,28 \quad \text{Equação (7)}$$

Onde:

T - temperatura (°C) na zona anaeróbia dos resíduos;

3.4.3 Método de Projeto

Utilizou-se o método de projeto para determinar a quantidade de metano que será gerado no aterro após o fechamento da célula.

Esse método é encontrado nas metodologias de USEPA e IPCC (CETESB/SMA, 2003) que utilizam uma constante k de decaimento que é função de fatores como disponibilidade de nutrientes, pH, temperatura e principalmente umidade. A Tabela 5 descreve os valores sugeridos para k (ano⁻¹).

Tabela 5 – Valores Sugeridos para k (ano⁻¹)

Precipitação Anual	Relativamente	Decomposição	Decomposição
	Inerte	Moderada	Alta
< 250 mm	0,01	0,02	0,03
> 250 a < 500 mm	0,01	0,03	0,05
> 500 a < 1000 mm	0,02	0,05	0,08
> 1000 mm	0,02	0,06	0,09

Fonte: World Bank (2003).

Esse método é utilizado para aterros durante a vida útil, e após o fechamento da célula. A Equação 8 descreve o cálculo realizado para obtenção da geração de metano após o fechamento da célula, e a Equação 9 durante a vida útil da célula.

$$Q = F * R * Lo * (e^{-k*c} - e^{-k*t}) \quad \text{Equação (8)}$$

$$Q = F * R * Lo(1 - e^{-k*t}) \quad \text{Equação (9)}$$

Onde:

Q- Metano gerado (m³ / ano)

F- Fração de metano no biogás (%)

R- Quantidade média de resíduos assentados durante a vida útil do aterro (kg RSD/ano)

Lo: Potencial de geração de biogás (m³ Biogás / Kg de RSD)

e : Exponencial valor = 2,72

k: Constante de decaimento (ano-1)

c: Tempo decorrido desde o fechamento do aterro (ano)

t: Tempo decorrido desde a abertura do aterro (ano)

3.4.4 Dimensionamento do Gasoduto para Captação do Biogás

Para o dimensionamento linear dos gasodutos, utilizou-se os programas *Google Earth* e *Autocad*. O desenho do traçado foi realizado no programa *Autocad*, onde o gasoduto principal foi projetado da camada superficial passando pela base do aterro até a central de aproveitamento. Os gasodutos secundários foram dimensionados para cada camada da célula, onde a tubulação conecta todas as

saídas de gases existentes os quais são representados pelos pontos verdes na figura, conduzindo até o gasoduto principal, conforme apresenta a Figura 7.



Figura 7: Gasodutos Secundários e Principal.
Fonte: Adaptado de Google Earth 2010.

Para determinar o diâmetro dos gasodutos secundários, utilizou-se para os cálculos 8 dos 15 flares dispostos na camada base da célula, com equidistância de 50 m entre si, sendo este o ponto de contribuição mais distante do gasoduto principal, logo, é o que exerce maior influência sobre a perda de carga e consequentemente diâmetro da tubulação, dessa forma não se faz necessário calcular a tubulação da outra parte, pois será idêntico ao dimensionado. Devido a inexistência de legislação e normativas para o cálculo do dimensionamento dos diâmetros dos gasodutos, utilizou-se a metodologia para gasodutos de baixa pressão desenvolvida por Rathund (2009) e apresentada nas Equações 6 e 7.

$$D = (2220 * S^{0,8} * L * \frac{Q^{1,8}}{H})^{\frac{1}{4,8}} \quad \text{Equação (6)}$$

$$PB = PA - (2220 * S^{0,8} * L * \frac{Q^{1,8}}{D^{4,8}})$$

Equação (7)

Onde:

S - densidade relativa do gás em relação ao ar: biogás-0,9

L- comprimento do trecho (m)

Q- vazão de biogás (m³/hora)

H- Perda de carga máxima admissível (Kpa)

PB- Pressão máxima de saída (Kpa)

PA- Pressão máxima de entrada (Kpa): valor adotado de Maciel (2003)

3.4.5 Dimensionamento do Grupo Gerador e Potencial de Geração de Energia Elétrica

O dimensionamento do motor de combustão interna foi realizado por uma empresa especializada em motores para aproveitamento de biogás. Para a determinação do dimensionamento a empresa baseou-se no potencial de geração de biogás, na capacidade das bombas existentes no aterro e seu regime de funcionamento, bem como na quantidade de energia consumida no aterro.

O potencial de geração de energia elétrica é determinado pelo consumo de biogás.hora⁻¹ do motor, e pelo fator de conversão biogás/Kw que é capacidade máxima de geração do motor.hora⁻¹.

3.4.6 Análise de Viabilidade Econômica do Aproveitamento Energético do Biogás no Aterro Sanitário de Foz do Iguaçu

Após a realização dos cálculos de geração de metano, dimensionamento da estrutura de captação de biogás, potencial de geração de energia elétrica e, levantamentos de custos de obras civis realizaram-se os cálculos para determinação da viabilidade econômica do biogás no aterro por meio das equações do *Payback* e TIR descritas por Bruni e Fama (2007), e Valor Presente Líquido descrita por Groppelli e Nikbakht (2010), respectivamente dispostas nas Equações 8, 9 e 10.

Para o cálculo do *payback* simples não foi possível calcular por meio da fórmula devido as receitas anuais não serem fixas, deste modo, será subtraído do

valor total dos custos de implantação as receitas anuais até que o custo se iguale a zero, obtendo a quantidade em anos para o retorno do investimento.

$$VP = \frac{VF}{(1+i)^n} \quad \text{Equação (8)}$$

Onde:
 VP - Valor Presente;
 VF - Valor Futuro;
 i - Taxa;
 n - ano de ocorrência do fluxo.

$$TIR = \frac{EC_j}{(1+i)^n} - \frac{SC_j}{(1+i)^n} = 0 \quad \text{Equação (9)}$$

Onde:
 EC_j - entradas de caixa
 SC_j - Saídas de Caixas
 i- taxa de juros
 n – numero de período de capitalização

$$VPL = VP - I \quad \text{Equação (10)}$$

Onde:
 VP - valor presente
 I - investimento inicial

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS NO ATERRO SANITÁRIO

A Tabela 6 apresenta as quantidades anuais de resíduos dispostos no aterro.

Tabela 6 - Disposição de Resíduos no Aterro

Ano	Resíduos dispostos anualmente (ton)
2001	71.406,00
2002	87.713,00
2003	69.602,00
2004	69.108,00
2005	74.182,00
2006	79.477,00
2007	78.786,00
2008	81.612,00
2009	81.611,00
2010	92.238,00

Fonte: Vital Engenharia Ambiental S/A, (2014).

De acordo com Foz do Iguaçu (2010) a geração de resíduos per capita é de 0,75 kg/hab/dia, sendo assim, para o ano de 2010 a quantidade de 72.135 toneladas de resíduos deveria ser disposta no aterro, o que contradiz com a quantidade real disposta para o ano de 2010.

4.2 ESTIMATIVAS DE GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO

Os resultados encontrados para a geração de biogás no aterro são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Estimativas de Geração de Biogás

Ano	Disposição de Resíduos (Ton.)	Geração de Biogás (m³)
2001	71.406,00	8.983,65
2002	87.713,00	11.035,24
2003	69.602,00	8.756,68
2004	69.108,00	8.694,53
2005	74.182,00	9.332,90
2006	79.477,00	9.999,07
2007	78.786,00	9.912,13
2008	81.612,00	10.267,67
2009	81.611,00	10.267,55
2010	92.238,00	11.604,54
2011	-	14.679,48
2012	-	13.416,04
2013	-	12.261,02
2014	-	11.206,02
2015	-	10.241,53
2016	-	9.360,05
2017	-	8.554,44
2018	-	7.818,17
2019	-	7.145,27
2020	-	6.530,29
2021	-	5.968,23
2022	-	5.454,55
2023	-	4.985,09
2024	-	4.556,03
2025	-	4.163,89
2026	-	3.805,51
2027	-	3.477,98
2028	-	3.178,63
2029	-	2.905,05

2030	-	2.655,02
2031	-	2.426,50
2032	-	2.217,66
2033	-	2.026,78

Os resultados encontrados para a estimativa de geração de biogás nos anos de 2001 a 2010 foram obtidos através da metodologia do IPCC. Para Borba (2006) para realizar a estimativa de geração de biogás em aterros, a metodologia do IPCC é a que fornece melhor resultado devido ao maior número de elementos considerados no cálculo, mas conclui que ainda oferece incertezas devido à variedade de processos ocorridos na massa do resíduo e como também a falta de monitoramento na disposição final.

Deste modo, os resultados encontrados para a geração de biogás no aterro nos anos de 2001 a 2010 diferem dos resultados obtidos por Souza (2011), essa diferença ocorre devido os valores da fração de metano presente no biogás e massa específica do metano serem diferentes em ambos os cálculos devido ao trabalho em estudo utilizar o valor descrito pela metodologia do IPCC (1996).

A máxima geração de biogás ocorreu no ano de 2011 e nos anos seguintes houve uma diminuição exponencial na geração, sendo este cenário também analisado por Gracino (2010). Este pico de geração máxima está de acordo com o descrito por Ludwig, Stege e Dávila (2009), onde relatam que a geração máxima de biogás ocorre normalmente no mesmo ano ou no ano seguinte ao fechamento da célula, concordando também com Borba (2006) que conclui que a máxima geração ocorre nos dois primeiros anos e o decréscimo de geração acontece nos próximos 25 anos ou mais dependendo das condições do aterro, contudo, esse resultado discorda com o relatado por Firmo (2006 *apud* Alves, 2008) onde descreve que o pico ocorre no sexto ano e o declínio até o final do décimo sexto ano após o fechamento final da célula.

Em se tratando da relação tonalada de resíduo/geração de metano, as estimativas demonstram que para cada tonelada de resíduo disposta no aterro, houve uma geração de 7,95 m³ de biogás, e Souza (2011) encontrou para o mesmo aterro 10,39 m³, sendo esta diferença apontada pela incoerência dos resultados da geração de biogás. Para aterros maiores, Figueiredo (2007) no seu estudo sobre aproveitamento energético do biogás de aterro, apresentou para essa relação uma

quantidade de 25,91 m³, no entanto, Abreu (2008) encontrou uma vazão de 30,88 m³. Estas discrepâncias são descritas no estudo realizado por Henriques (2004), onde o autor conclui que ocorrem variações na geração de biogás de região para região devido ao clima, temperatura, precipitação, compactação da célula, operação do aterro e recirculação do chorume.

4.3 DIMENSIONAMENTO DA INFRA-ESTRUTURA DE CAPTAÇÃO DE GÁS

Os valores encontrados para o dimensionamento linear utilizando os programas *Google Earth* e *AutoCad*, é apresentado na Tabela 8.

Tabela 8- Dimensionamento Linear do Gasoduto

Gasoduto	Dimensionamento linear (m)
Principal	278,72
Secundário	3.214,73

Em se tratando dos diâmetros das tubulações, a Tabela 9 apresenta os resultados encontrados para os gasodutos secundários e principal.

Tabela 9 – Diâmetro das Tubulações

Gasoduto	Distância gasoduto (m)	Vazão dinâmica acumulada (m³)	Diâmetro interno calculado	Diâmetro interno (mm)	Diâmetro comercial (mm)	Perda de carga (Kpa)
Secundário	50	0,0521	7,00	14,00	20	0,00
Secundário	50	0,1042	9,08	14,00	20	0,01
Secundário	50	0,1563	10,57	14,00	20	0,01
Secundário	50	0,2083	11,78	14,00	20	0,02
Secundário	50	0,2604	12,81	14,00	20	0,03
Secundário	50	0,3125	13,71	14,00	20	0,04

Secundário	50	0,3646	14,53	19,00	25	0,01
Secundário	50	0,4167	15,28	19,00	25	0,02
Principal	277	1,6600	36,64	40,80	50	0,03

Para as tubulações secundárias os cálculos apresentaram diferença em seus diâmetros comerciais devido a tabulação de maior diâmetro se encontrar mais distante da tubulação principal. Deste modo, por medidas de segurança, será utilizado neste estudo os diâmetros de 25 mm para toda a tubulação secundária, uma vez que, utilizar tubulação superior ao necessário não influencia no deslocamento do gás, e uma tubulação subdimensionada pode dificultar a movimentação do gás dentro do gasoduto.

4.4 DIMENSIONAMENTO DO GRUPO GERADOR E POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.

O dimensionamento do motor foi realizado por uma empresa de grupo geradores a biogás, com as especificações descritas na Tabela 10.

Tabela 10– Grupo Gerador

Potencia (Kva)	Ciclo	Rotação	Frequência	Tensão de saida	Consumo (m ³ .hora ⁻¹)
18	otto	3600 RPM	60 Hz	110/220 V	4

Os resultados encontrados para o potencial de geração de energia elétrica no aterro foram obtidas de acordo com as especificações do grupo gerador, podendo ser analisados de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11– Potencial de Geração de Energia Elétrica

Ano	Geração de biogás.ano⁻¹	Geração de biogás.dia⁻¹	Kwh	Kwh.dia⁻¹
2014	11.206,02	30,70	8	61,40
2015	10.241,53	28,06	8	56,12
2016	9.360,05	25,64	8	51,29
2017	8.554,44	23,44	8	46,87
2018	7.818,17	21,42	8	42,84
2019	7.145,27	19,58	8	39,15
2020	6.530,29	17,89	8	35,78
2021	5.968,23	16,35	8	32,70
2022	5.454,55	14,94	8	29,89
2023	4.985,09	13,66	8	27,32
2024	4.556,03	12,48	8	24,96
2025	4.163,89	11,41	8	22,82
2026	3.805,51	10,43	8	20,85
2027	3.477,98	9,53	8	19,06
2028	3.178,63	8,71	8	17,42
2029	2.905,05	7,96	8	15,92
2030	2.655,02	7,27	8	14,55
2031	2.426,50	6,65	8	13,30
2032	2.217,66	6,07	8	11,9
2033	2.026,78	5,55	8	10,6

A determinação do potencial de geração de energia elétrica foi obtido por meio da metodologia da CETESB (2006), e Figueiredo (2007) também utilizou esta metodologia para verificar a capacidade do aterro estudado, onde o potencial de energia é de 3,94 MW e energia de 82,37 MWh.dia⁻¹ podendo chegar a 42 MW no ano de fechamento em 2024, essa diferença ocorre devido ao tamanho do aterro e da estrutura de captação de gás.

Os resultados encontrados para o potencial de geração de energia elétrica para o aterro em estudo são maiores que o potencial de geração de energia do aterro de Cascavel estudado por Santos e Tauchen (2010), onde o potencial de

geração é de 170 Kwh.mês⁻¹, ou 5,66 Kwh.dia⁻¹ sendo esta diferença apontada pelo tamanho da célula e pela quantidade de resíduos dispostos. A geração de energia elétrica no aterro sanitário de Santa Tecla conforme apresentado por Vanzin (2006) possui capacidade máxima de 3,69 MW.ano⁻¹, sendo este potencial semelhante a capacidade de geração do aterro em estudo.

Para aterros de maior porte, tem-se os resultados encontrados por Silva *et al.* (2009) que mostraram que o aterro da Caximba possui capacidade de 1 MW.dia⁻¹, aterro Bandeirantes estudado por Justi e Moliterno (2008) com capacidade de geração de 22,2 MW, assim como o aterro de Gramacho com capacidade de 10 MW decaindo até 4,3 MW segundo Abreu (2007), e o aterro de São João com capacidade de 200.000 MW.ano⁻¹ de acordo com o estudo realizado por Silva (2011).

4.5 VIABILIDADE ECONOMICA DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS NO ATERRO SANITÁRIO DE FOZ DO IGUAÇU - PR

4.5.1 Levantamento de Custos

Os custos de implantação do sistema para aproveitamento energético do biogás são apresentados na Tabela 12. Os custos dos gasodutos foram obtidos utilizando os valores encontrados por Mari, Lucio e Muller (2012).

Tabela 12– Custos para Implantação do Sistema de Aproveitamento Energético

Equipamentos	Preço R\$
Grupo Gerador 18 KVA	15.381,27
Gasodutos	67.289,00
Conexões para gasodutos	2.553,54
Construção civil	10.000,00
Mão de Obra	5.000,00
Painel de Controle	11.000,00

Total 111.223,81

4.5.2 Análise da Viabilidade Econômica

A análise da viabilidade econômica do aproveitamento energético do biogás da célula 1 pode ser analisado de acordo com a Tabela 13. Utilizou-se a taxa Selic de 2014 para o cálculo do fluxo de caixa ajustado. As despesas anuais são calculadas pela empresa dos geradores e gasodutos, sendo o valor considerado para manutenção anual. Para o cálculo são considerados os desgastes dos equipamentos e deterioração dos gasodutos. O fluxo de caixa é calculado pela redução dos gastos com energia elétrica, ou seja, o quanto será deixado de pagar para a concessionária pela energia não consumida.

Tabela 13: Viabilidade Econômica do Aproveitamento Energético do Biogás da Célula 1.

Ano	Receita Bruta Anual (R\$)	Despesas Anuais (R\$)	Receita Líquida Anual (R\$)	Fluxo de Caixa Anual (R\$)	Fluxo de Caixa Ajustado (R\$)	Fluxo de Caixa Acumulado e Ajustado (R\$)
				-111.223,81		-111.223,81
2014	12.342,75	2.845,87	9.496,88	9.496,88	9.001,79	-102.222,02
2015	11.280,43	2.845,87	8.434,56	8.434,56	7.578,05	-94.643,98
2016	10.309,53	2.845,87	7.463,66	7.463,66	6.356,16	-88.287,82
2017	9.422,21	2.845,87	6.576,34	6.576,34	5.308,53	-82.979,29
2018	8.611,25	2.845,87	5.765,38	5.765,38	4.411,29	-78.568,00
2019	7.870,09	2.845,87	5.024,22	5.024,22	3.643,79	-74.924,21
2020	7.192,72	2.845,87	4.346,85	4.346,85	2.988,18	-71.936,02
2021	6.573,65	2.845,87	3.727,78	3.727,78	2.429,02	-69.507,01
2022	6.007,86	2.845,87	3.161,99	3.161,99	1.952,94	-67.554,07
2023	5.490,77	2.845,87	2.644,90	2.644,90	1.548,41	-66.005,66
2024	5.018,19	2.845,87	2.172,32	2.172,32	1.205,44	-64.800,22
2025	4.586,28	2.845,87	1.740,41	1.740,41	915,42	-63.884,79
2026	4.191,54	2.845,87	1.345,67	1.345,67	670,90	-63.213,89
2027	3.830,78	2.845,87	984,91	984,91	465,44	-62.748,45
2028	3.501,07	2.845,87	655,20	655,20	293,49	-62.454,97
2029	3.199,74	2.845,87	353,87	353,87	150,25	-62.304,72
2030	2.924,34	2.845,87	78,47	78,47	31,58	-62.273,14
2031	2.672,65	2.845,87	-173,22	-173,22	-66,08	-62.339,22
2032	2.442,61	2.845,87	-403,26	-403,26	-145,81	-62.485,03
2033	2.232,38	2.845,87	-613,49	-613,49	-210,26	-62.695,29
	Taxa	VPL	TIR	Payback simples	Payback descontado	
	5,50%	48.528,52	-11	35,43	-	

Os resultados encontrados para a viabilidade do aterro em estudo apresentam que é economicamente inviável realizar o aproveitamento energético do biogás uma vez que o VPL apresentou valor inferior ao investimento do projeto e o TIR apresentou valor negativo, contudo, os estudos realizados por Figueiredo (2007), Abreu (2009), Silva (2011), Vanzin (2006) e Silva *et al.* (2009) constataram a viabilidade econômica do projeto, uma vez que, os aterros em estudos possuem elevado potencial de geração de energia elétrica bem como elevadas receitas líquidas anuais. Do contrário, o estudo realizado por Santos e Tauchen (2010) no aterro sanitário de Cascavel, o qual é proporcional ao aterro em estudo, apresentou viabilidade econômica do investimento, devido aos custos de implantação do projeto ser menor e pelo potencial de geração de energia elétrica ser aproveitado por mais de 20 anos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados apresentados, verifica-se que realizar o aproveitamento energético do biogás no Aterro Sanitário de Foz do Iguaçu – PR é ambientalmente viável devido à redução do impacto ambiental pelas emissões dos gases e, socialmente viável devido aos benefícios que podem ser gerados a população que reside próximo ao aterro, principalmente pela menor emissão de gás, melhorando a qualidade de vida local e conseqüente reflexo na saúde e economicamente inviável, uma vez que, os custos para captação e aproveitamento do biogás são bastante elevados, e a receita líquida total da empresa ser relativamente baixa devido ao decaimento exponencial do potencial de geração de biogás, estando esse fato diretamente ligado ao término da vida útil da célula.

Pode-se concluir que a análise de viabilidade econômica para o aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários, é de extrema importância, haja vista que devido as diferenças consideráveis de resultados que se pode encontrar em estudos de viabilidade, esse pode ser um fator decisivo para apontar uma solução que seja factível tanto do ponto de vista ambiental, quanto econômico. Para a valoração ambiental, ou seja, os ganhos ambientais com a utilização do biogás sugere-se que novos estudos sejam realizados utilizando o método VERA principalmente no que se refere ao valor de uso indireto.

Sendo assim, recomenda-se que sejam realizados novos cenários de estudos para verificar se a geração conjunta de biogás da célula 1 com a célula 2 apresenta viabilidade econômica para a utilização do biogás como energia elétrica, ou em outro cenário, analisar apenas a geração de biogás da célula 2 para geração de energia. Caso seja verificado a possibilidade de início da operação da célula 3, outro estudo pode ser realizado a fim de obter um aproveitamento conjunto da célula 2 e 3 para geração de energia.

REFERÊNCIAS

ABRELPE: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf>>. Acesso em 30 Agos. 2014.

ALVES, João. W. S. **Diagnóstico Técnico Institucional da Recuperação e Uso Energético do Biogás Gerado pela Digestão Anaeróbia de Resíduos**. 2000. 165 p. Dissertação (Mestrado em Energia). UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (Faculdade de Economia e Administração e Instituto de Eletrotécnica e Energia). 2000. Disponível em: <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/biogas/docs/artigos_dissertacoes/alves.pdf>. Acesso em: 24 Nov. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos sólidos: classificação – apresentação: **NBR10004:2004**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Disponível em: <<http://www.aslaa.com.br/legislacoes/NBR%20n%2010004-2004.pdf>>. Acesso em: 22 Nov. 2013

_____. Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos – apresentação: **NBR8419:1983**. Rio de Janeiro: ABNT, 1983. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/61140879/NBR-8419-NB-843-Apresentacao-de-Projetos-de-Aterros-Sanitarios-de-Residuos-Solidos-Urbanos>>. Acesso em: 23 Nov. 2013.

BARCELOS, Beatriz, R. **Avaliação de Diferentes Inóculos na Digestão Anaeróbia da Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Domésticos**. 2009. 90p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental E Recursos Hídricos). UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil e Ambiental). Distrito Federal, 2009. Disponível em: <http://vsites.unb.br/ft/enc/recursos_hidricos/diss-ptarh/Dissertacao%20119%20-%20Beatriz%20Barcelos.pdf>. Acesso em: 23 Nov. 2013.

BRUNI, Adriano. L; FAMA, Rubens. **A Matemática das Finanças**. São Paulo: Atlas, 2003.

CENBIO: Centro Nacional de Referência em Biomassas. **Geração de energia a partir de biogás gerado por resíduos urbanos e rurais**. Florianópolis, Santa Catarina. 2001. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/download/documentos/Nota%20t%E9cnica%20VII%20-%20biog%E1s.pdf>>. Acesso em: 23 Nov. 2013.

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Biogás, geração e uso energético. Manual do usuário do programa de computador**. Versão 1.0. São Paulo, 2006.

EMBRAPA: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª Ed. Rio de Janeiro – RJ, 2006.

FIGUEIREDO, Natalie. J. V. **Utilização do Biogás de Aterro Sanitário para Geração de Energia Elétrica e Iluminação a Gás – Estudo de Caso**. 2007. 90 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/download/publicacoes/Natalie.pdf>>. Acesso em: 24 Nov. 2013.

GRACINO, Marina. C. S. **Caracterização dos Aterros Sanitários de Araçatuba e Região e o Potencial do Aterro Sanitário da Cidade de Araçatuba para Produção de Biogás**. 2010. 62 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Biocombustíveis). FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ARAÇATUBA. Araçatuba, 2010. Disponível em: <<http://www.fatecaracatuba.edu.br/suporte/upload/Biblioteca/BIO%2017701020003.pdf>>. Acesso em: 24 Nov. 2013.

GROPPELLI, A . A; NIKBAKHT, Ehsan. **Administração Financeira**. 3 Ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil**. Brasília. 2009.

IPARDES: Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Caderno Estatístico Município de Foz do Iguaçu**. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/cadernos/Montapdf.php?Municipio=85850>. Acesso em: 30 Agos. 2014.

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 1996. **Manual de Referencia**, vol 3. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html>>. Acesso em: 24 Nov. 2013.

MARI, Angelo, G; LUCIO, Luis. T; MULLER, Ricardo. **Definição de Valores de Referência para A Implantação de Gasodutos Rurais para Biogás**. In: Congresso de Engenharia Ambiental e Agronomia, 4, 2012. FACULDADE DINÂMICA DAS CATARATAS. Disponível em: <<http://www.udc.edu.br/pdf/IVCongressoAmbiental-Agronomia.pdf>>. Acesso em: 24 Nov. 2013.

MÓL, Marcio. J. L. **Situação dos Resíduos Sólidos Urbanos no Município de Teixeira – MG**. 2007. 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia). UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Viçosa, 2007. Disponível em: <<http://www.geo.ufv.br/docs/monografias/marcioJose.pdf>>. Acesso em: 24 Nov. 2013.

PMFI: PREFEITURA MUNICIPAL DE FOZ DO IGUAÇU. Dados Gerais e Socioeconômicos de 2010. Disponível em: <<http://www.pmfi.pr.gov.br/Portal/VisualizaObj.aspx?IDObj=12569>>. Acesso em: 24 Nov. 2013.

RATHUND, Paulo. H. **Viabilidade econômica da geração distribuída do biogás de dejetos animais no município de Cruz Machado**. 2009. 149 p. Dissertação (Mestrado em organizações e Desenvolvimento). CENTRO UNIVERSITÁRIO FRANCISCANO. Curitiba. 2009.

REICHERT, Geraldo. A. **Aplicação da Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Revisão**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, 2005, Campo Grande, MS. ABES. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/III-242.pdf>>. Acesso em: 24 Nov. 2013.

SANTOS, Luis. O. TAUCHEN, Joel. A. **Uso do biogás proveniente de um aterro sanitário para geração de energia elétrica: Estudo de caso do aterro municipal de Cascavel – PR**. 2010. In: SAEP, 1, 2010. FACULDADE HORIZONTINA. RS. 2010. Disponível em: <http://www.fahor.com.br/publicacoes/saep/2010_biogas_aterro_cascavel.pdf>. Acesso em: 24 Nov. 2013.

SILVA, Gislaíne. F. **Aterro Sanitário São João: Estudos dos Indicadores Ambientais em Energia**. 2011. 185 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Produção). UNIVERSIDADE PAULISTA. São Paulo, 2011.

SOUZA, Jeferson. R. Avaliação Teórica da Geração do Biogás Produzido pelo Aterro Sanitário do Município de Foz do Iguaçu – Pr. 2011. 66 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). FACULDADE DINÂMICA DAS CATARATAS. Foz do Iguaçu, Paraná, 2011.

VANOLLI, Kleber. **Demandas para Gestão Administrativas de Projetos de Biogás**. 2010.

VITAL ENGENHARIA AMBIENTAL S/A. **Empresa de Limpeza Pública**, 2013.

ZIMMERMANN, Gustavo. L; GOBBO, Thiago. L. **Análise de Viabilidade Financeira e Econômica Sobre o Prisma da Sustentabilidade no Condomínio de Agroenergia Para Agricultura Familiar Sanga Ajuricaba**. Foz do Iguaçu: Faculdade Anglo-Americano, 2011.

WORLD BANK. Handbook for the preparation of landfill gas to energy projects in Latin America and Caribbean. **Conestoga-Rovers&Associates**. 2003. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd51/preparation/part2.pdf>>. Acesso em 24 Nov. 2013.