

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ALEXANDRE VICENZI KLITZKE
GUILHERME BODINI DA CRUZ

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DA
ENERGIA ELÉTRICA GERADA ATRAVÉS DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS APLICADA AO TRANSPORTE COLETIVO - ESTUDO DE
CASO NA CIDADE DE CURITIBA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2017

ALEXANDRE VICENZI KLITZKE
GUILHERME BODINI DA CRUZ

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DA
ENERGIA ELÉTRICA GERADA ATRAVÉS DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS APLICADA AO TRANSPORTE COLETIVO - ESTUDO DE
CASO NA CIDADE DE CURITIBA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - DAELT - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Candido

CURITIBA
2017

ALEXANDRE VICENZI KLITZKE
GUILHERME BODINI DA CRUZ

Viabilidade Técnica e Econômica da Utilização da Energia Elétrica Gerada Através de Resíduos Sólidos Urbanos Aplicada Ao Transporte Coletivo – Estudo de caso na cidade de Curitiba

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 21 de Novembro de 2017.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemarle Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
De Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Professor Roberto Candido, Doutor.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Professor Roberto Candido, Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Luiz Erley Schafranski, Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Raphael Augusto de Souza Benedito, Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

DEDICATORIA

Dedicado à nossas famílias pelo suporte e amor incondicional em todos os momentos da vida, por sempre acreditarem no nosso sucesso e por não medirem esforços para que atingíssemos esta etapa das nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

As nossas famílias pelo amor, força, suporte e compreensão incondicional no decorrer do curso e no período da elaboração deste trabalho.

Ao nosso orientador Roberto Candido por acreditar na relevância deste trabalho, pela confiança depositada e toda sua dedicação, apoio e incentivo no período de elaboração deste.

Aos nossos professores pelo conhecimento e ensinamentos que nos passaram durante os anos da graduação.

Aos nossos amigos pelas histórias compartilhadas, pelo companheirismo nos momentos mais difíceis e presença nos momentos de descontração

Aos professores membros da banca avaliadora deste trabalho, professores Marcio Aparecido, Álvaro Almeida, Raphael Benedito e Luiz Erley pelas sugestões de melhoria e disponibilidade no período de elaboração.

“Se enxerguei mais longe, foi porque me apoiei sobre os ombros de gigantes.”
Sir Isaac Newton

RESUMO

CRUZ, G.B.da; KLITZKE, A.V.. Viabilidade técnica e econômica da utilização da energia elétrica gerada através de resíduos sólidos urbanos aplicada ao transporte coletivo - Estudo de caso na cidade de Curitiba. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Devido ao significativo crescimento dos centros urbanos problemas como a produção e destinação final de resíduos sólidos, bem como o aumento na emissão de gases de efeito estufa, principalmente por parte do setor de transportes, tem acarretado sérios danos ao meio ambiente e a população, indo na direção oposta aos ideais de desenvolvimento sustentável. Visando apresentar uma solução compartilhada à estes problemas, foi realizado um estudo de caso na cidade de Curitiba para utilização do potencial energético de geração de energia elétrica do Aterro Sanitário da Caximba no abastecimento de ônibus elétricos, tornando possível o levantamento de alguns níveis de viabilidade técnica e econômica. Desta forma foi possível concluir que do ponto de vista técnico o estudo é perfeitamente viável, enquanto que para os cenários I e II levantados no estudo de viabilidade econômica, apenas o cenário II se mostrou viável.

Palavras-chave: Biogás, Resíduos Sólidos Urbanos, Energia limpa, Ônibus elétricos, Reaproveitamento energético.

ABSTRACT

CRUZ, G.B.da; KLITZKE, A.V.. The technical and economic feasibility of the use of electric energy generated by urban solid waste applied to the collective transportation – Case study in the city of Curitiba.. 71 f. – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Due to the significant growth on urban centers, problems such as the solid waste production and final destination, as well as the growth on the emission of greenhouse effect gases, especially by the transportation sector, have brought serious damage to the environment and population, going in the opposite direction to the sustainable development ideals. Aiming to present a shared solution to these problems, a study on the city of Curitiba was held in order to use the energy potential of electric power generation in the Caximba landfill in the supply of electric buses, making it possible to raise some levels of technical and economic feasibility. In this way, it was possible to conclude that from the technical point of view the study is perfectly feasible, while for the scenarios II and I raised in the economic feasibility study, only scenario II is feasible.

Keywords: Biogas, Urban Solid Waste, Clean Energy, Electric Bus, Energy reuse

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Crescimento Populacional Mundial.	19
FIGURA 2	– Geração Total de RSU (t/dia)	31
FIGURA 3	– Disposição Final de RSU no Brasil por Tipo de Destinação (Ton/DIA) ...	31
FIGURA 4	– Ciclos Térmicos de Um Motor de Combustão Interna de Quatro Tempos .	36
FIGURA 5	– Diagrama de Processo de Uma Turbina a Gás	37
FIGURA 6	– Brasil. Consumo Total de Eletricidade: PNE 2050 vs PNE 2030.	42
FIGURA 7	– Vista Aérea do Aterro Sanitário da Caximba(t/dia)	46
FIGURA 8	– Ônibus Elétrico K9	48
FIGURA 9	– Ônibus Elétrico K11	49
FIGURA 10	– Ônibus Elétrico E-Bus	49
FIGURA 11	– Ônibus Híbrido AC319	50
FIGURA 12	– Composição da Frota na Rede Integrada de Transporte	52
FIGURA 13	– Microturbina C1000S	54

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– Energia Consumida por Tipo, Brasil, 1998	25
TABELA 2	– Composição do Biogás Gerado em Aterros	32
TABELA 3	– Características das Plantas de Aproveitamento Energético de Gás de Aterro no Mundo	39
TABELA 4	– Valores Utilizados para Determinar a Produção de Energia Elétrica Através do Biogás Bruto e do Purificado	47
TABELA 5	– Custos da Purificação (1 ano) de 395,92 m ³ /h de Biogás Captado	47
TABELA 6	– Características Mecânicas	50
TABELA 7	– Custo Global de Vida Útil	51
TABELA 8	– Análise das Linhas da RIT	52
TABELA 9	– Análise das Linhas da RIT para o Ônibus K9	53
TABELA 10	– Análise das Linhas da RIT para o Ônibus K11	53
TABELA 11	– Análise das Linhas da RIT para o Ônibus E-bus	53
TABELA 12	– Especificações Técnicas - Microturbina CAPSTONE C1000S	54
TABELA 13	– Investimentos Totais para Instalação da Usina no Aterro Sanitário do Caximba	55
TABELA 14	– Comparação Técnica Entre Geração de Energia e Capacidade de Abastecimento	56
TABELA 15	– Comparação Técnica Entre Linhas Propostas e as Características do Ônibus K9	56
TABELA 16	– Energia Gerada e Consumida	57
TABELA 17	– Composição de Despesas Totais Para o Cenário I	58
TABELA 18	– Composição de Despesas Totais Para o Cenário II	58
TABELA 19	– Comparativo Operativo Entre o Modelo AC319 e K9 Para Um Ônibus ...	59
TABELA 20	– Fluxo de Caixa para o Cenário I	60
TABELA 21	– Fluxo de Caixa para o Cenário II	60

LISTA DE SIGLAS

ACR	Ambiente de Contratação Regulado
ACL	Ambiente de Contratação Livre
Amforp	American e Foreign Power
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BYD	Build Your Dreams
CMCT	Companhia Municipal de Transportes Coletivos
CNPJ	Certificado Nacional de Pessoa Jurídica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
GEE	Gases de Efeito Estufa
MAE	Mercado Atacadista de Energia
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MDL	Mecanismo do Desenvolvimento Limpo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PCI	Poder Calorífico Inferior
PNE	Plano Nacional de Energia
RCE	Redução Certificada de Emissões
RIT	Rede Integrada de Transporte
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SIN	Sistema Interligado Nacional
SMMA	Secretaria Municipal de Meio Ambiente
URBS	Urbanização de Curitiba SA
UTE	Usina Termoelétrica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA	13
1.1.1 Delimitação do Tema	13
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS	14
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo Geral	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4 JUSTIFICATIVA	15
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	16
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2 REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1 PROBLEMAS ENFRENTADOS PELOS GRANDES CENTROS URBANOS	18
2.1.1 Mobilidade Urbana	21
2.1.1.1 Transporte coletivo no Brasil e no mundo	22
2.1.2 Aumento da demanda por Energia Elétrica	25
2.1.3 Geração de Resíduos Sólidos Urbanos	29
2.2 O APROVEITAMENTO DO BIOGÁS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	33
2.2.1 Tecnologias Utilizadas Para Geração de Energia Elétrica Através do Biogás	35
2.2.1.1 Motores a combustão interna	35
2.2.1.2 Motores a combustão externa (Stirling)	36
2.2.1.3 Turbinas a gás	37
2.2.1.4 Microturbinas	38
2.2.2 Panorama sobre o uso do Biogás como combustível para geração de energia elétrica	38
2.3 MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA: PERSPECTIVAS SOBRE O USO DO BIOGÁS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	41
3 METODOLOGIA DE PESQUISA	43
3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	43
3.2 QUESTIONÁRIO CIENTÍFICO	44
3.3 MÉTODO DE ANÁLISE DE DADOS	44
3.3.1 Análise Comparativa	45
4 ESTUDO DE CASO	46
4.1 CAPACIDADE ENERGÉTICA DO ATERRO SANITÁRIO DA CAXIMBA	46
4.2 COMPARATIVO TÉCNICO E ECONÔMICO ENTRE MODELOS DE ÔNIBUS	48
4.3 ESTUDO DE UMA LINHA PILOTO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA FROTA DE ÔNIBUS ELÉTRICOS	51
4.4 ESTIMATIVA DE CUSTO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE USINA TERMOELÉTRICA NO ATERRO SANITÁRIO DO CAXIMBA	53
4.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE	55
4.5.1 Viabilidade Técnica	55

4.5.2 Viabilidade Econômica	57
5 CONCLUSÃO	62
REFERÊNCIAS	64
Anexo A – FLUXO DE CAIXA	71

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

É fato que a geração e o destino dos resíduos sólidos urbanos é um problema enfrentado pela sociedade em diversas metrópoles, de acordo com a *Internacional Finance Institute - IFC* (2015), só na cidade de Curitiba são geradas cerca de 2.600 toneladas de lixo por dia, sendo que a grande maioria é depositada em aterros sanitários, lixo este, que poderia ser utilizado para algum fim devido.

Além da geração de lixo, outro fator que é prejudicial ao meio ambiente é a emissão de gases na atmosfera gerado principalmente por veículos automotivos, que só na capital paranaense, segundo o relatório da *Ecowood Assessoria Ambiental* (2015), são responsáveis por cerca de 70% das emissões de dióxido de carbono. Em vista deste cenário os governos buscam alternativas para redução de emissões, tais como a implantação de veículos elétricos e híbridos em sua frota pública e a geração de energia elétrica proveniente da queima do gás liberado pelos resíduos sólidos urbanos. Assim, o estudo para determinação do ponto de equilíbrio entre o número de veículos de uma frota pública e capacidade de geração em aterro sanitário no mesmo município é uma importante contribuição para a tomada de decisões estratégicas econômicas e ambientais. Neste estudo, portanto, serão levantados pontos de viabilidades combinadas que permitam a decisões iniciais para implantação de um sistema alternativo de geração e transporte urbano.

1.1.1 Delimitação do Tema

Na cidade de Curitiba, entre as décadas de 60, 70 e 80 as conquistas para o meio ambiente podem ser resumidas em evoluções da legislação ambiental e na preservação e criação de áreas verdes. Assim, estes e outros acontecimentos, como os prêmios que a cidade recebeu pelos programas “Compra do lixo” e “Lixo que não é lixo” em 1990, levaram a conquista do título de capital ecológica. (OLIVEIRA, 2001). No entanto, todos os programas e incentivos não foram suficientes para minimizar a emissão de gases poluentes e a geração de resíduos sólidos urbanos, em 2008 sabe-se que a cidade de Curitiba emitiu 3,5 milhões de toneladas de dióxido de carbono e produziu em média 2,5 mil toneladas de resíduos sólidos. (ECOWOOD ASSESSORIA AMBIENTAL, 2015) (IFC, 2015).

Visando amenizar as emissões de gases na atmosfera, a prefeitura de Curitiba adicionou à sua frota em 2012 os chamados *Hibribus*, que são ônibus híbridos movidos a biocombustível e energia elétrica, além deste, também realizou testes com um modelo 100% elétrico (XY030) da fabricante chinesa BYD. (URBS, 2013). No entanto, para a implementação de um veículo de grande porte, totalmente elétrico, deve-se analisar cuidadosamente a questão de seu abastecimento energético.

Ainda tratando da Cidade de Curitiba, com intuito de fornecer um local adequado e seguro para disposição de seus resíduos sólidos, no ano de 1989, a prefeitura colocou em operação o Aterro Sanitário da Caximba, para receber os resíduos sólidos urbanos da cidade e da região metropolitana. Em 2002, após receber mais de 11 milhões de toneladas de resíduos, 3,4 vezes a sua capacidade inicial, o aterro teve seu esgotamento decretado, porém a falta de alternativas forçou as autoridades a mantê-lo em funcionamento, sendo interditado oficialmente no ano de 2010. Atualmente este encontra-se desativado, mas ainda assim, possui grande potencial energético, que poderia ser utilizado para geração de energia elétrica. (NETO; MOREIRA, 2009 apud OKAMURA, 2013).

Frente a estes fatores, pretende-se estudar a viabilidade de utilização do potencial energético do Aterro da Caximba, para o abastecimento de veículos elétricos de frota pública, visando assim, um destino final ao gás liberado pela queima do lixo, o incentivo à utilização de veículos elétricos e a busca por autossuficiência em seu abastecimento.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

A literatura destaca três grandes problemas enfrentados por qualquer metrópole: maior necessidade de energia elétrica, destino final aos resíduos produzidos pela população e o transporte público.

Assim, uma vez que na cidade de Curitiba o transporte público é um dos principais responsáveis pelas emissões de gases poluentes, a adição de ônibus elétricos em sua frota minimizaria este problema, mas acarretaria outros, como o abastecimento elétrico destes veículos e impactaria também a matriz energética regional, contudo o aterro sanitário da Caximba poderia ser utilizado para suprir esta necessidade energética, se comprovada sua capacidade de suprimento de energia elétrica para abastecimento dos veículos.

Desta forma, o problema fundamental constitui-se na apresentação de uma solução compartilhada às premissas apresentadas através de um estudo para obtenção da relação entre geração de energia elétrica em aterro e o abastecimento de uma frota pública de ônibus elétricos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade técnica e econômica do uso de energia elétrica, gerada a partir do biogás de aterro sanitário, em uma frota de ônibus elétricos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar pesquisa documental sobre mobilidade urbana, resíduos sólidos urbanos e geração de energia elétrica a partir do biogás;
- Levantar dados sobre o potencial energético do Aterro Sanitário da Caximba;
- Encontrar as especificações técnicas sobre os ônibus elétricos alvo do estudo;
- Apresentar o estudo de viabilidade técnica e econômica combinada com redução do impacto ambiental.

1.4 JUSTIFICATIVA

Este estudo busca levantar níveis de viabilidade do uso de energia elétrica gerada através do biogás proveniente de aterros sanitários na aplicação direta em veículos elétricos do transporte urbano público. Para viabilização deste trabalho se realizará um Estudo de Caso na cidade de Curitiba, que tem condições de disponibilizar dados de um Aterro desativado como fonte e também os estudos sobre implantação de veículos elétricos no transporte coletivo.

A partir dos níveis de viabilidade poder-se-á analisar os efeitos redutores da degradação do meio ambiente, que pode ser composta por duas parcelas:

1.) Da emissão de gases poluentes pelo transporte público e

2.) Via destino final ao biogás liberado pelos resíduos, através geração de energia elétrica.

O aterro da Caximba foi escolhido pelo estudo por estar desativado e não receber mais nenhum tipo de resíduo. Esta característica é desejável pelo estudo porque a fonte de gás possui um padrão na emissão, permitindo assim, que a energia gerada tenha níveis aceitáveis de continuidade e regularidade.

Sabe-se também que este potencial de geração diminuirá com o tempo à medida que a

emissão de gases cair, porém, estudos já realizados permitem estimar a quantidade gerada e tempo de decaimento da emissão de gases, portanto, propiciar uma estimativa da quantidade de energia que poderá ser gerada através dos anos.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente, para o desenvolvimento da revisão da literatura, foi realizada uma pesquisa documental em livros, artigos, trabalhos acadêmicos, revistas e páginas web, para assim, poder compreender os problemas enfrentados pelos grandes centros urbanos, conhecer as tecnologias utilizadas no transporte coletivo e na geração de energia elétrica a partir do biogás. Em paralelo foram levantados os dados técnicos sobre os veículos elétricos que foram testados em Curitiba no transporte coletivo, assim como os dados sobre o potencial energético do aterro sanitário do Caximba e o gasto energético das principais linhas de ônibus de Curitiba.

Através dos dados obtidos pela pesquisa, iniciou-se a análise para verificar as possibilidades de viabilidade, que são compostas por:

- Quantidade e disponibilidade aproximada de energia que pode ser gerada;
- Custo aproximado para implantação de uma usina termoelétrica;
- Número e custo dos veículos a serem implantados;
- Gasto energético dos ônibus elétricos em função da linha adotada para sua implantação;
- Vida útil de equipamentos de geração x equipamentos de transporte;
- Taxa de retorno de investimento;
- Ganhos ambientais em redução de toneladas de CO_2 .

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos:

- O capítulo um apresenta a introdução, que é composta pela apresentação do tema de pesquisa, problemas e premissas, objetivos, justificativa, procedimentos metodológicos e a estrutura do trabalho.
- O capítulo dois é composto pelo referencial teórico, onde apresenta-se um panorama mundial e nacional, em relação a mobilidade urbana, tecnologias alternativas no transporte coletivo, geração de resíduos sólidos urbanos e a utilização do biogás para

geração de energia elétrica. Também mostra-se as tecnologias utilizadas para geração de energia elétrica a partir do biogás e as perspectivas de sua utilização na matriz elétrica nacional.

- O capítulo três é constituído pela apresentação da metodologia de pesquisa, contemplando os métodos empregados para realização da pesquisa, análise dos dados e análise comparativa.
- O capítulo quatro exhibe o estudo de caso propriamente dito, explicitando o estudo de caso na cidade de Curitiba, a situação atual do aterro sanitário da Caximba e seu potencial energético, o comparativo técnico/econômico entre modelos de ônibus elétricos, a análise de uma linha piloto para implementação de um modelo de ônibus elétrico e finalmente a apresentação do estudo de viabilidade financeira e energética.
- O capítulo cinco apresenta as conclusões obtidas, as possibilidades de viabilidades propostas e sugestões para futuros estudos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 PROBLEMAS ENFRENTADOS PELOS GRANDES CENTROS URBANOS

Ao longo de toda história da humanidade, registram-se a formação, o apogeu e a decadência de muitos núcleos urbanos. Estes núcleos em sua maioria possuíam até dez mil habitantes chegando a ocupar cerca de um quilômetro quadrado. Neste período, núcleos como Atenas e Roma, destacaram-se como sede de grandes civilizações, no tempo em que o imperador Augusto governou Roma, a capital do Império Romano do Ocidente, sua população chegou a ser estimada em um milhão de pessoas. No entanto, outras maiores cidades do Império Romano possuíam entre 15 e 30 mil habitantes. (BRUNN et al., 2003 apud DEPUTADOS et al., 2015)

Apesar de grandes cidades terem surgido nesta época, como Roma e Atenas, somente ao final do século XIX com a Revolução Industrial, que as cidades deram um salto significativo rumo a urbanização, segundo Brunn et al. (2003) conforme citado por Deputados et al. (2015, p.26):

Pode-se inferir o vigor das mudanças advindas da Revolução Industrial pelo patamar de urbanização na Europa. Enquanto, em 1600, havia somente 13 cidades com mais de 100 mil habitantes, em 1900, o número chegava a 143. No século IV, Londres tinha um pouco mais de 100 mil habitantes, chegando a abrigar, em 1800, mais de um milhão de pessoas, em um crescimento de mais de 1000%. Em 1860, contavam-se mais de três milhões e, ao fim do século XIX, cerca de seis milhões de pessoas.

Segundo Drakakis-Smith (apud DAVIS, 2006) enquanto Londres em 1910 era sete vezes maior do que em 1800, cidades como Daca (Bangladesh) e Lagos (Nigéria), hoje, são aproximadamente quarenta vezes maiores do que eram em 1950. A China, que se urbaniza numa velocidade sem precedentes em toda história humana, em 1980 somou a sua população urbana mais moradores do que toda Europa em todo século XIX. Em 1950 haviam 86 cidades no mundo com mais de um milhão de habitantes, em 2006 haviam 400, e em 2015 este número chegou a cerca de 550.

De fato a população do planeta vem crescendo rapidamente, assim como visto na figura 1, é possível notar o crescimento populacional mundial ao longo dos anos, bem como as projeções para o ano de 2030, que indicam que a população mundial pode chegar a oito bilhões de pessoas

Comparado ao cenário internacional o Brasil sofreu um intenso processo de urbanização entre as décadas de 40 e 70, segundo a publicação Deputados et al. (2015) em apenas trinta anos o Brasil deixou de ser um país agrário-exportador para se tornar urbano-industrial, tendo

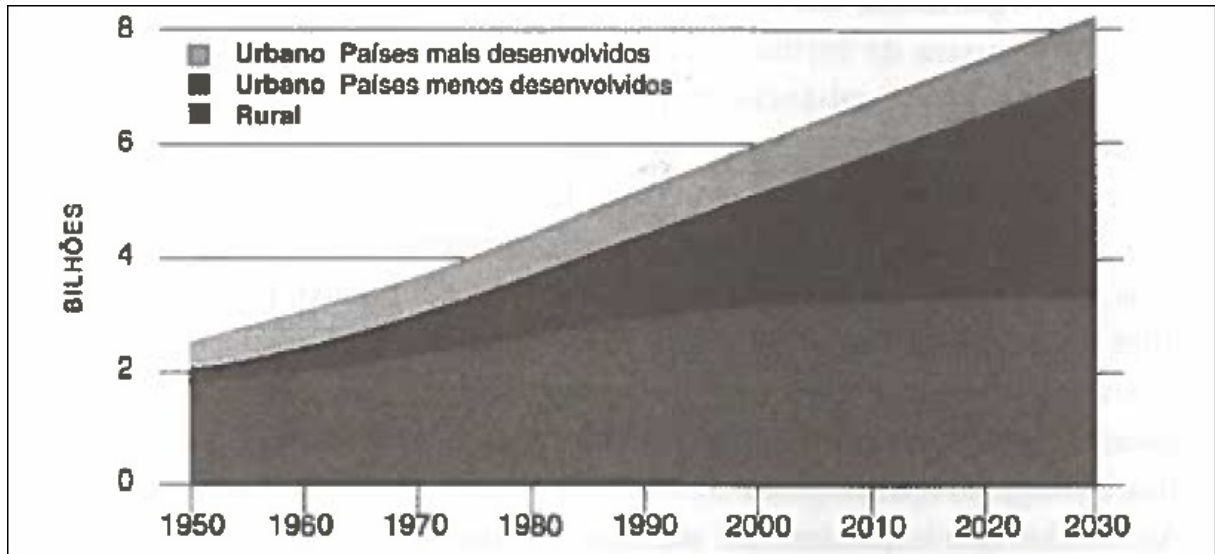


Figura 1: Crescimento Populacional Mundial. Fonte: Davis (2006, p.15).

por base a migração de milhares de pessoas do campo para as cidades. Isto ocorreu, devido ao fato das fábricas de bem de consumo que estavam em sua maioria na região Sudeste, ofertarem oportunidades de trabalho que não existiam em outras regiões do Brasil, atraindo assim um expressivo contingente populacional.

Somente a Região conhecida como Região Metropolitana Ampliada Rio-São Paulo, que inclui as cidades de tamanho médio no eixo viário de 500 quilômetros entre as duas maiores metrópoles brasileiras, assim como a área industrial dominada por Campinas, conta com uma população atual de 37 milhões de habitantes, já sendo maior que Tóquio-Yokohama. (DAVIS, 2006).

De acordo com Lucion (2006, p.47)

Na medida em que a urbanização avança, os problemas associados a ela se avolumam e passam a produzir efeitos negativos, muitas vezes de difícil reversão. A maneira espontânea e sem efetivo planejamento com que vem ocorrendo o processo de urbanização no Brasil tem produzido um crescimento desordenado e desigual das cidades, que incapazes de suportar o grande fluxo migratório, gerado principalmente pela inflexão ocorrida com a migração urbano-rural de décadas anteriores, ocasionam uma queda bruta na qualidade de vida das pessoas, em especial dos habitantes das grandes e médias cidades.

Segundo o IBGE (2010), no mesmo ano da pesquisa o Brasil chegou a uma taxa de urbanização de 84%, ou seja, 160 milhões de pessoas residindo em áreas urbanas, o que leva à reflexão sobre os problemas decorrentes das altas taxas de urbanização. Em seu estudo o autor Boareto (2008, p.146) diz que:

A realidade verificada nos grandes centros urbanos é o aumento nos tempos da viagem, perda da mobilidade das pessoas, principalmente das mais carentes, congestionamentos, aumento da poluição, desperdício de energia, acidentes, mortes e aumento da frota de veículos particulares em circulação.

Estes problemas supracitados por Boareto (2008) estão correlacionados a um dos principais produtos do crescimento populacional e da urbanização, o consumo exacerbado de bens e recursos naturais, de acordo com Lucion (2006, p.53) “O atual padrão de consumo, associado a constantes estímulos, pode ser considerado um dos principais causadores da degradação ambiental por ser frequentemente realizado além dos limites da necessidade do homem”.

Além da problemática de mobilidade urbana, dois outros problemas que estão intimamente relacionados ao consumo ganham destaque, a geração de resíduos sólidos urbanos e o aumento da demanda por energia elétrica. O primeiro, tem como principal fator a intensa produção do sistema capitalista, que incentiva o consumo descartável e faz com que a produção de lixo se intensifique nas grandes cidades, agravando cada vez mais a situação ambiental.

Segundo Camargo et al. (apud LUCION, 2006):

Estima-se que em todo mundo, as pessoas que residem nas cidades produzem cerca de 0,5 a 2 kg de lixo sólido, por pessoa, por dia. A essa grande quantidade de detritos, tem-se dado o destino mais cômodo, ou seja, os aterros sanitários. A precariedade na armazenagem dos lixões tem poluído gravemente as águas de superfície e subterrâneas.

Em conformidade com Schmidt e Lima (2004) ao analisar o aumento da demanda por energia elétrica, observa-se o consumo de energia elétrica total que em 1960 era de 18.346 GWh, passou para 304.634 GWh em 2000, que representa um aumento de 1560% em 40 anos e um crescimento médio anual no período de 7,35%.

Ainda sobre a demanda de energia elétrica Farret (2010) diz que a sua geração, que antes era tratada como apenas mais um problema para humanidade, devido ao grande aumento de seu consumo “tomou proporções dramáticas, acelerando a destruição do meio ambiente de uma forma visível, inegável e generalizada, mesmo para meros observadores do dia a dia”. (FARRET, 2010, p.11).

De acordo com Alier (2007) conforme dito por Boareto (2008, p.147) “A urbanização em larga escala ainda está por acontecer e, na medida em que a humanidade se torna mais urbana, há uma demanda maior de consumo per capita de energia”.

Em conjunto, estas questões trazem à tona um dos maiores desafios da sociedade moderna, como manter os níveis atuais de urbanização e consumo, sem prejudicar sua qualidade de vida.

2.1.1 Mobilidade Urbana

O conceito de mobilidade urbana surgiu com o desenvolvimento dos grandes centros urbanos, da necessidade do habitante dos aglomerados urbanos em se deslocar e de efetuar o transporte de bens dentro destes aglomerados, segundo o Anteprojeto de Lei da Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável, a mobilidade urbana é:

Um atributo associado às pessoas e aos bens; corresponde às diferentes respostas dadas por indivíduos e agentes econômicos às suas necessidades de deslocamento, consideradas as dimensões do espaço urbano e a complexidade das atividades nele desenvolvidas ou, mais especificamente, a mobilidade urbana é um atributo das cidades e se refere à facilidade de deslocamento de pessoas e bens no espaço urbano. Tais deslocamentos são feitos através de veículos, vias e toda a infraestrutura (vias, calçadas, etc.), é o resultado da interação entre os deslocamentos de pessoas e bens com a cidade. (BOARETO, 2005, p.10).

No entanto a mobilidade remonta aos primórdios do homem, onde, através dos primeiros animais domesticados, teve-se um avanço na agricultura e, posteriormente, foram utilizados como meios de locomoção, surgia assim o primeiro modal de transporte terrestre. Com o decorrer do tempo aldeias e vilas, tornaram-se pequenos centros e este avanço tem como principal agente a mobilidade, que tornou possível a locomoção do homem e o comércio entre os centros. Todavia, os aspectos de mobilidade existentes nesta época não configuram problema algum para sociedade. (SILVA, 2014).

O autor Silva (2014) ainda afirma que já na Roma pré-imperial, Júlio César enfrentou os primeiros problemas com mobilidade urbana. Neste período atuou como uma espécie de “ministro do transporte” já que administrava importantes funções urbanas, regulamentou o tráfego de carroças na região urbana e deu continuidade a um ambicioso plano rodoviário, que pretendia criar “vias” que para facilitar a locomoção e serviriam de estratégia comercial, aparentando assim, ter boa noção do sistema viário.

No entanto, foi durante o período da revolução industrial que a situação se intensificou, pois, modificou profundamente a economia e conseqüentemente a necessidade de melhoras no sistema de transporte. (NATAL, 1991).

Até então os problemas para os quais os governos se atentavam, eram somente em relação a ampliação do sistema de transporte, como a construção de novas vias, estradas, etc. e também com o atendimento aos usuários do transporte público. Foi só então a partir das primeiras

conferências mundiais sobre clima, que os impactos causados pelo transporte ao meio ambiente começaram a ser debatidos, como por exemplo em relação as emissões de Gases de Efeito Estufa - GEE na Atmosfera. (VASCONCELLOS, 2006).

Vasconcellos (2006) também afirma que esta preocupação com meio ambiente está associada ao agravamento de algumas condições ambientais, decorrentes dos processos de industrialização e urbanização. Alguns indicadores globais comprovam esta situação, como por exemplo, o aumento de temperatura da Terra, decorrente da intensificação da emissão de dióxido de carbono na atmosfera. Entre 1950 e 1990, as emissões totais de carbono na atmosfera terrestre aumentaram de cerca de dois bilhões para cerca de seis bilhões de toneladas.

Um fato que chama atenção é que os meios de transporte em sua totalidade são responsáveis 20% das emissões totais de CO_2 , que é um dos principais gases causadores do efeito estufa, sem considerar a emissão de outros gases também nocivos ao meio ambiente. No Brasil, segundo informações do Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT, o setor de transporte responde por cerca de 9% das emissões totais de CO_2 , sendo que as queimadas respondem com mais de 70% delas. (CNT, 2009).

Além disso, Davis (2006, p.136) afirma que:

O crescimento urbano desordenado sem o correspondente investimento em transporte de massa ou vias adequadas para comportar tal crescimento é evidenciado pela presença constante dos engarrafamentos das vias públicas e superlotação dos veículos de transporte de massa.

Para Vasconcellos (2006) o transporte além de ser uma atividade fundamental para a sociedade, acarreta uma série de benefícios, possibilita a locomoção das pessoas, a distribuição de alimentos e, por consequência, contribui para seu desenvolvimento socioeconômico. No entanto, nota-se que sem o devido investimento em infraestrutura e alternativas tecnológicas menos poluentes, o serviço torna-se ineficaz e adverso.

Segundo Silva (2014, p.17) em síntese, a mobilidade urbana "deve permanecer sob o comando da sustentabilidade e do interesse coletivo, sem prejuízo dos direitos da pessoa e dos direitos individuais não conflitantes. Caso contrário, a insustentabilidade se alastrará".

2.1.1.1 Transporte coletivo no Brasil e no mundo

A ideia do transporte coletivo remonta ao ano de 1661, idealizada por Blaise Pascal, tinha o objetivo de utilizar carruagens públicas para circular pela cidade de Paris, no entanto o elevado preço das tarifas levou a derrocada do serviço. 160 anos depois, a ideia foi retomada

por outro francês, Stanilas Baudry, que empreendeu o serviço para fornecer o deslocamento de seus fregueses até sua casa de banho, chegando a fundar, em 1828, uma empresa de transportes, que apesar de promissora, acabou fracassando. Foi apenas em 1829, na cidade de Londres e depois em Nova York que o serviço finalmente se concretizou, sendo introduzido o motor a combustão aos ônibus em 1895 pelo alemão Karl Benz. (COSTA, 2006 apud DEPUTADOS et al., 2015).

No Brasil, mais especificamente em São Paulo, haviam os bondes movidos a cavalo e com o surgimento da empresa Light os primeiros bondes elétricos foram inaugurados e permaneceram em operação até 1968 quando foram desativados pela Companhia Municipal de Transportes Coletivos - CMCT. (SILVA et al., 2015).

De acordo com a *International Energy Agency* - IEA (2009) quase todos os ônibus urbanos são movidos a motores à diesel, sendo que este tipo de motorização está presente em 85% de todas as vendas de ônibus mundialmente. Na Europa, apesar da maioria da frota de ônibus ser movida à diesel, motores movidos a gás natural e gás liquefeito de petróleo estão presentes devido ao interesse local em combustíveis alternativos, sendo possível perceber a presença mais marcante de motores não a diesel na porção oriental do continente onde motores com combustível alternativo representam até um terço da frota de ônibus urbanos.

Em relação ao uso de tecnologias alternativas no transporte, o grupo C40 Cities and IDB (2013, p.11) afirma que:

Atualmente, muitas cidades ao redor do mundo estão tomando decisões radicais no que diz respeito ao aumento da frota para responder à crescente demanda de passageiros. Achados mostrando que os ônibus híbridos estão em operação e que a tecnologia está funcionando como esperado, com economia de combustível de mais de 30% em relação aos ônibus a diesel convencionais, é uma forte evidência para que as cidades da América Latina, e do mundo, sejam incentivadas a fazer investimentos futuros.

No Brasil, de acordo com a Associação Nacional de Transportes Públicos - ANTP (2010) o ônibus é responsável por 25% das viagens urbanas realizadas no país, 85% se considerarmos apenas o contexto do transporte coletivo. Além disso, a maioria dos veículos é operada com combustíveis diesel, como pode-se ver na tabela 1 que globalmente desperta uma preocupação devido aos efeitos adversos à saúde humana causada pela emissão de material particulado. Estes fatos, corroboraram em um crescimento na conscientização e nas ações proativas das empresas a favor do desenvolvimento sustentável. (BETHA; BALASUBRAMANIAN, 2011; NETO et al., 2008)

Além disso, segundo Ribeiro et al. (apud VASCONCELLOS, 2006), no âmbito mundial, a energia gasta pelo setor do transporte corresponde à 48%, da demanda total de petróleo e

poderá chegar a 77% em 2020. Esta, atrelada ao crescimento populacional, evidencia um futuro onde a demanda por transporte será ainda maior, sendo que, atualmente, este depende de um combustível de caráter não renovável, isto é, algum dia se esgotará.

Nesse sentido, o transporte coletivo de passageiros realizado por veículos híbridos pode ser uma alternativa para substituição de um combustível não renovável, implicando em uma redução direta na emissão de poluentes.

De acordo com a *American Public Transportation Association* - APTA, o processo de inovação do trânsito e de melhorias no ambiente urbano tem ocorrido devido à evolução das agências de transporte na utilização de tecnologias mais limpas e combustíveis como a eletricidade, veículos híbridos, biocombustíveis, gás natural e células de hidrogênio. (APTA, 2012).

Segundo o programa de testes do grupo C40 Cities and IDB (2013) tecnologias limpas como elétricas e híbridas podem obter resultados, em relação a performance, semelhantes ou superiores as tecnologias convencionais utilizadas hoje em dia como nos ônibus a diesel. Além disso também podem apresentar uma taxa de retorno financeiro razoável, utilizando-se da mesma comparação. A posteriori da realização dos testes, os resultados obtidos mostram que adoção de ônibus híbridos pode reduzir as emissões de CO_2 em até 35% (26% em média) se comparadas ao ônibus à diesel. Além disso, ônibus elétricos reduzem o consumo de energia em até 77%, quando comparados o uso de eletricidade com o diesel.

A respeito da redução de emissões de CO_2 conforme o protocolo de Kyoto, pode-se utilizar dos créditos de carbono ou Redução Certificada de Emissões - RCE para obtenção de retorno financeiro, segundo SEBRAE (2016) créditos de carbono são:

certificados emitidos quando ocorre a redução de emissão de gases do efeito estufa. Por convenção, uma tonelada de dióxido de carbono (CO_2) equivalente corresponde a um crédito de carbono. Créditos de carbono criam um mercado para a redução de GEE dando um valor monetário à redução da poluição.

No caso dos ônibus puramente elétricos, se comparados aos ônibus movidos à diesel, a manutenção pode ser 25,4% menor e ter uma economia de 64,7% com combustíveis. (GREENPEACE, 2016).

Tabela 1: Energia Consumida por Tipo, Brasil, 1998

Fonte	Participação (%)
Óleo diesel	47,2
Gasolina automotiva	30,3
Álcool	13,6
Querosene	6,4
Óleo combustível	1,6
Eletricidade	0,7
Gás natural	0,1
Gasolina de aviação	0,1

Fonte: Ribeiro et al. (apud DAVIS, 2006, p.24)

2.1.2 Aumento da demanda por Energia Elétrica

Atualmente, a preocupação ambiental está envolvida em todos os âmbitos mundiais, pois sabe-se que não é possível manter um desenvolvimento socioeconômico vinculado ao consumo excessivo dos recursos naturais. Na América do Norte, como na maioria dos países mais desenvolvidos, grande parte dos problemas relacionados a poluição são causados pelo contínuo crescimento econômico e pela grande demanda por energia elétrica. (MARCHI, 2011).

No Brasil, a demanda por energia se inicia no final do século XIX, início das atividades industriais no país, na época da Segunda Revolução Industrial, e consistia na oferta de energia elétrica por pequenas empresas privadas nacionais. Já no século XX, o investimento para a construção de usinas termo e hidrelétricas além da ampliação dos sistemas de transmissão atraiu para o país concessionárias estrangeiras, a vinda destas proporcionou um aumento na produção de energia elétrica e assim tornou possível a disponibilização desta para o consumo urbano e industrial em locais próximos àqueles onde se dava a produção de bens. (GOMES; VIEIRA, 2009).

Decorrente da forte intervenção estatal na economia e do grande processo de urbanização do país, durante o primeiro governo de Getúlio Vargas (1930/45) houve um enorme aumento na demanda energética brasileira e as empresas do setor passaram a ter dificuldades de atender as exigências do desenvolvimento nacional. Tal fato se agravaria com o período da 2ª Guerra Mundial, em que o esforço de guerra dos países industrializados tornou impossível a importação de bens de capital essenciais à ampliação do nosso parque energético. (FILHO, 2003).

Em sequência, no período de presidência de Juscelino Kubitschek, planos econômicos que foram criados, incluíam dentre suas metas a ampliação e melhoras no setor elétrico. No período de 1956 a 1961, a capacidade instalada pulou de 3.148 MW para 5.204 MW.

Tamanha expansão era parte do Plano de Metas instaurado pelo, então presidente, Juscelino Kubistchek e representaram um alcance de 84% da meta para o setor elétrico. Ao decorrer deste período, as principais fontes de geração e destino de investimentos, tanto de recursos internos como externos, foram hidrelétricas. Na década de 60, tais investimentos foram fundamentais uma vez que em 1962 foi criada a Centrais Elétricas Brasileiras – Eletrobrás, que assumiu o desenvolvimento do setor elétrico, criando diversas companhias estaduais de energia elétrica e a Central Elétrica de Furnas em 1963. Além disso, a Eletrobrás passaria a administrar os fundos setoriais, antes controlados pelo BNDES. (DOLLE, 2013).

O período do regime militar de 1964 continuaria a dar prioridade à construção da malha energética nacional. No primeiro ano (1964), a Eletrobrás adquiriu não apenas a *American Foreign Power* - Amforp, como mais onze empresas estrangeiras, o que também acabou ocorrendo com a Light, mas apenas em 1979. O que figurou o “passo final” para a plena nacionalização da área energética. Na realidade, durante o regime militar houve uma expansão vertiginosa da capacidade instalada de geração elétrica. No período de 1964 – 1972, ela praticamente dobrou, e mais do que duplicou de 1972 a 1980. (FILHO, 2003).

No decorrer da década de 80, segundo Dolle (2013) o BNDES financiou diversas obras de geração hidrelétrica, o que adicionou 20 GW de capacidade à matriz do país. A participação das hidroelétricas na matriz elétrica brasileira atingiu a marca de 92,5% neste período, tendo destaque as obras de Tucuruí e Itaipu, ambas de 1984 e as maiores em capacidade instalada no Brasil.

Finalmente, em 1989, durante o governo do presidente José Sarney, a Eletrobrás inaugurou o Centro Nacional de Operações de Sistemas (CNOS), integrado aos centros de operações das principais empresas de energia elétrica do país. Essa integração através do CNOS proporciona o intercâmbio de energia entre regiões que podem assumir o papel de exportadores ou importadores, dependendo do regime de chuvas ou estiagem. Para que se avalie a vantagem do CNOS para o Brasil, basta se afirmar que, por conta da operação interligada, o país na prática aumentou sua capacidade energética em cerca de um quarto do que dispunha até então. (FILHO, 2003).

Segundo Gomes e Vieira (2009) nos anos de 1990, a crise de financiamento no setor elétrico se torna um grande entrave à expansão da oferta de energia, o que teria gerado um grande descompasso entre oferta e demanda, não fosse o regime hidrológico favorável que ocorreu na época, o que permitiu que os reservatórios permanecessem acima do nível ótimo operacional.

De acordo com Tolmasquim et al. (2007), o movimento de privatização presente em diversos países nos anos 90 e a necessidade de aumentar a arrecadação incentivaram o governo a dar início ao processo de privatização das empresas de energia elétrica, tendo como primeiro medida a instituição do Plano Nacional de Desestatização - PND, que preparou a base para a privatização das empresas de energia elétrica, acelerada pela crise financeira que afetava o setor.

Ainda segundo Tolmasquim et al. (2007):

No início de 1995, foi editada a Lei Geral das Concessões, que definiu algumas regras gerais para a prestação dos serviços públicos, tais como os direitos e obrigações dos concessionários e usuários, a instituição do serviço pelo preço (em substituição ao serviço pelo custo) para concessões e permissões de serviço público, com reajustes e revisões tarifárias, a fim de preservar o equilíbrio econômico-financeiro das concessões.

Na mesma data da edição da Lei Geral das Concessões, foi editada a Medida provisória 890 de 1995, que se tornaria a Lei 9.074. Tal medida provisória criou regras específicas para a prorrogação de concessões de energia elétrica. Uma vez convertida para lei, trouxe algumas modificações como o Produtor Independente de Energia - PIE, que comercializa a energia elétrica por sua conta e risco, também o consumidor livre, que pode celebrar contratos de compra e venda de energia com o PIE, sinalizando então uma reestruturação mais profunda do setor.

Ainda em 1995, o governo propôs uma ampla reforma com o Plano Diretor da Reforma do Aparelho do Estado - PDRAE que, junto às modificações no setor elétrico, foi editada a Lei 9.427, que instituiu a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, e que tem como finalidade regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica.

Junto a estas medidas, deu-se início ao processo de privatização do setor elétrico, dando início a grande reforma do setor elétrico conhecido como Restruturação do Setor Elétrico Brasileiro - RE-SEB que teve como objetivo, além da privatização dos ativos de geração, estimular o investimento privado em projetos de geração. Estimulando a competição nos setores possíveis, como os setores de geração e comercialização, e a regulação nos demais, transmissão e distribuição. Com os objetivos citados, o ponto fulcral da reforma seria a livre comercialização de energia elétrica no âmbito do Sistema Interligado Nacional - SIN, como resultado do projeto RE-SEB, desenhou-se um novo arranjo institucional e regulatório que possuía como recomendações principais a livre comercialização de energia no sistema Interligado Nacional, o estabelecimento de "contratos iniciais" para a transição de modelos, a criação do Mercado Atacadista de Energia - MAE para operacionalizar a compra e venda de energia livremente

negociada, desmembramento de ativos de geração e transmissão, desvinculando a contratação da transmissão da compra e venda de energia, criação de um operador Independente do Sistema - OIS e a organização das atividades financeiras e de planejamento.

No primeiro ano do século XXI, o país enfrentou baixos níveis nos reservatórios das hidrelétricas e, associado a um aumento da demanda de eletricidade pelos consumidores, enfrentou os chamados “apagões” que foram cortes forçados de energia elétrica para evitar o colapso da oferta de energia e também evitar um esvaziamento ainda maior dos reservatórios das hidrelétricas o que evidenciou que o crescimento da oferta de energia no país não acompanhou o crescimento da demanda. (BARDELIN, 2004).

Tendo em vista o deficit de energia elétrica presente no país, surgiu então a necessidade de um redesenho do setor e do marco regulatório para que se pudesse fazer um planejamento melhor a longo prazo e assim aumentar a segurança energética. Historicamente, a demanda por energia no Brasil tem acompanhado os momentos de crescimento econômico do país e em um cenário de crescimento econômico sustentado é de esperar um grande aumento da demanda de energia. Nessas condições, a estratégia de expansão da oferta de energia deve considerar iniciativas que promovam o uso mais eficiente das fontes e demonstra também a necessidade pela busca de novas fontes de energia. (DOLLE, 2013).

Diante da crescente preocupação mundial com as mudanças do clima global, em especial o aquecimento do planeta, as emissões de gases de efeito estufa se tornam uma questão cada vez mais relevante. Em comparação com o resto do mundo, o Brasil tem se destacado por apresentar reduzidos índices de emissão de gases em sua produção de energia, o que se deve basicamente à elevada participação de fontes renováveis na oferta energética interna, que em 2005 foi da ordem de 44,5%. No horizonte de longo prazo, fatores como o ritmo de crescimento da economia e a estrutura da expansão do consumo de energia terão papel fundamental no volume das emissões de gás carbônico (CO_2). Mesmo levando-se em conta o aumento da participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira, o nível de emissões deverá se ampliar nos próximos 25 anos. (TOLMASQUIM et al., 2007).

Em 2004, o governo preparou um novo modelo de regulação para o setor elétrico, que pregava a modicidade tarifária e considerava a eletricidade um serviço de utilidade pública. O novo modelo não permitiu que as empresas de distribuição participassem da geração de energia elétrica. A venda da energia elétrica no mercado cativo é feita por meio de leilões, dos quais as distribuidoras de energia só podem participar como compradoras. (COSTA; PIEROBON, 2008).

De acordo com Zanette (2009) a aprovação do Projeto de Lei nº 630/2003 apresentou um importante avanço para as fontes alternativas renováveis de energia, o projeto de lei previa uma série de incentivos para as fontes alternativas de energia, estando incluso no projeto a obrigatoriedade, por parte das distribuidoras de energia, da contratação de montantes significativos de energia proveniente dessas fontes.

Em conformidade com Costa e Pierobon (2008, p.42):

O modelo regulatório atual contém dois ambientes de contratação: Ambiente de Contratação Regulado - ACR e Ambiente de Contratação Livre - ACL. O primeiro inclui o mercado cativo de energia das distribuidoras e estas são obrigadas a comprar energia de todas as geradoras participantes dos leilões com contratos de longo prazo. O segundo é o mercado de curto prazo, de que podem participar consumidores livres e comercializadores aptos a escolher seu fornecedor de energia elétrica. Consumidores cuja demanda seja maior ou igual a 3 MW podem comprar energia de qualquer agente de geração ou comercialização de energia. Os consumidores com carga acima de 0,5 MW podem realizar negócios no âmbito do ACL desde que seja atendido por pequenas centrais hidrelétricas - PCH, geração a biomassa, usinas eólicas e sistemas de cogeração qualificada. Desde 2004, o volume de negócios no ACL cresceu bastante. Hoje, o ACL representa cerca de 25% do mercado de energia elétrica. O mercado cresceu graças ao excesso de oferta de energia no período pós-acionamento, quando os preços da energia no ACL estavam baixos.

Dentro do ACR ainda existe o conceito de geração distribuída, que permite ao consumidor gerar sua própria energia. Esta modalidade que vem ganhando força nos últimos anos possibilita a geração e consumo de energia remotamente, e caso a energia gerada seja superior a consumida, cria-se um "crédito de energia" que não pode ser revertido em dinheiro, mas pode ser consumido em até 60 meses em relação ao mês em que foi gerado. (ANEEL, 2017a)

2.1.3 Geração de Resíduos Sólidos Urbanos

Segundo a Norma Brasileira NBR-10.004, resíduos sólidos são aqueles:

nos estados sólidos e semissólidos que resultam da atividade da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Considera-se, também, resíduo sólido os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível. (NBR, 2004, p.7).

Desta forma, o que se chama de resíduo sólido urbano, nada mais é do que a matéria prima, "não utilizável", gerada pela atividade urbana.

Sendo um dos principais geradores de resíduos sólidos urbanos do planeta, de acordo com (HINRICHS; KLEINBACH, 2003) todo ano os norte-americanos jogam em seus aterros cerca de 207 milhões de toneladas de lixo, sendo que, apenas cerca de 30% deste lixo é recuperado e retornado para uso.

Na África, onde o serviço de limpeza normalmente é de responsabilidade municipal, a coleta ocorre de forma diversa em todo o continente, desde carroças puxadas por homens a caminhões que a realizam. A coleta dos resíduos sólidos perfaz uma média de 40 a 50% do lixo gerado, em toda África, que em sua maioria é descarregado em locais a céu aberto, sem preocupação alguma a respeito dos impactos ao solo e a população. Em Lagos, Nigéria a situação do destino final ao RSU também é crítica, resultante do rápido processo de urbanização e do incremento no setor industrial, sabe-se que 90% das indústrias não tratam seus dejetos de maneira adequada, além disso, a fragilidade dos órgãos responsáveis pela fiscalização do setor, intensificam ainda mais o problema. (UNEP, 2005 apud MARCHI, 2011).

Em contrapartida, no Oeste Europeu e em alguns lugares do Norte, alguns países se destacam em relação ao tratamento e políticas de resíduos sólidos, como Holanda e Alemanha, que possuem um dos maiores índices de reaproveitamento do mundo. Na Alemanha, das 45,7 milhões de toneladas de lixo produzidas no ano de 2011, segundo a Eurostat, órgão de estatísticas da União Europeia, 63% foram reciclados, contra uma taxa de continental de 25%. (SENADO, 2014).

Na Holanda, as taxas são ainda mais impressionantes, no ano de 2012 considerando uma produção de resíduos anual de cerca de 8 milhões de toneladas, 80% dos resíduos sólidos foram reciclados, 16% incinerados e somente 4% destinados aos aterros sanitários. (FIESP, 2012; UNEP, 2015)

Em relação a reciclagem, na Ásia o Japão também se destaca como exemplo de excelência na área, levando em conta que metade de seu fluxo de resíduos é reciclado. Isto inclui 95% dos jornais, 50% é de todos outros tipos de papéis e 55% de todos os metais. Da parte não reciclável dois terços é destinado à incineração e apenas um terço é despejado nos aterros. (HINRICHS; KLEINBACH, 2003).

Já o Brasil, não pode ser tomado como exemplo no tratamento e destinação final de seus resíduos sólidos. Como pode-se observar na figura 2, no período entre 2014 e 2015 a população brasileira apresentou um crescimento de 0,8% e a geração per capita de RSU cresceu no mesmo ritmo. Por sua vez, a geração total atingiu o equivalente a 218.874 t/dia de RSU gerado no país, um crescimento de 1,7% se comparado ao ano anterior. Além disso, dos 79,9 milhões de toneladas geradas em 2015, cerca de 42,6 milhões de toneladas seguiram para disposição

adequada em aterros sanitários, e outros 30 milhões de toneladas foram dispostas em lixões ou aterros controlados. (ABRELPE, 2015).

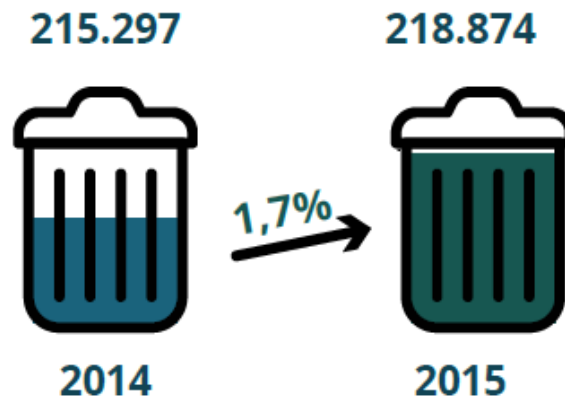


Figura 2: Geração Total de RSU (t/dia). Fonte: ABRELPE (2015).

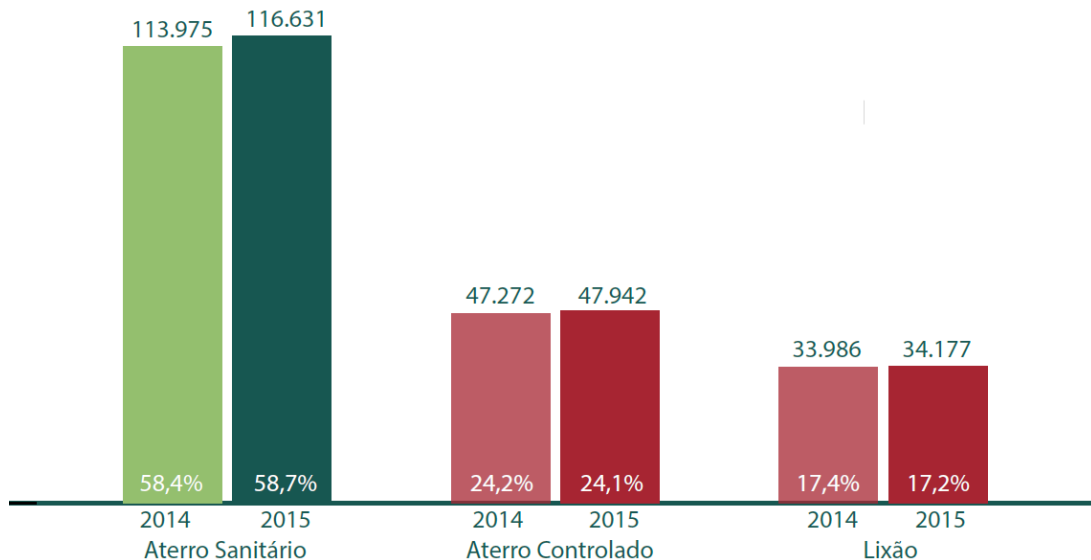


Figura 3: Disposição Final de RSU no Brasil por Tipo de Destinação (Ton/DIA) Fonte: ABRELPE (2015).

Analisando a disposição final de RSU no Brasil, notam-se alguns sinais de evolução e aprimoramento, vê-se através da figura 3 que, do montante dos resíduos coletados no ano de 2015, 58,7% foram encaminhados para aterros sanitários. No entanto, unidades inadequadas de disposição ainda estão presentes em todas as regiões do Brasil e recebem mais de 82.000 toneladas de resíduos por dia, com elevado potencial de poluição ambiental. (ABRELPE, 2015).

Para (ANDRADE; FERREIRA, 2011) “a disposição inadequada dos resíduos domiciliares é o principal fator responsável pelos impactos negativos no ambiente e na saúde pública em países da América Latina e, possivelmente, em todos os países periféricos”.

Do ponto de vista econômico, a disposição inadequada dos resíduos acaba provocando prejuízos, já que os materiais que são jogados fora, não são reutilizados e/ou reciclados, o que acarreta em desperdício energético, de mão de obra e recursos naturais. Para o meio ambiente, os problemas relacionados as disposições indevidas são ainda mais graves, pois podem causar a poluição das águas superficiais e subterrâneas, em decorrência da percolação do chorume, formado pela degradação da matéria orgânica, que por sua vez, também causa danos a atmosfera em razão da liberação do biogás. (PEREIRA; MELO, 2009).

Produto da digestão anaeróbica do material orgânico presente nos resíduos sólidos, o biogás, também chamado de GDL (gás do lixo), é uma mistura de gases constituída principalmente pelo metano (CH_4) e pelo dióxido de carbono (CO_2), no entanto também possui outros gases em menores quantidades, que pode ser visto na tabela 2. O biogás produzido em aterro necessita ser continuamente drenado, por ser altamente combustível, a fim de evitar explosões. No Brasil, a maioria dos aterros utiliza o sistema de drenos, que efetua a queima imediata do biogás através de uma chama, conforme o biogás é drenado. Este sistema, no entanto, não é eficiente, pois estima-se que 20% do biogás drenado é efetivamente queimado, enquanto o restante é emitido para atmosfera. (ICLEI, 2009).

Tabela 2: Composição do Biogás Gerado em Aterros

Componentes	Quantidade	Considerações
Metano	60%	Gás combustível, sendo um dos gases causadores do efeito estufa com potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao do Dióxido de Carbono
Dióxido de Carbono	~ 45%	Gás causador do efeito estufa
Outros Gases - Hidrogênio, Nitrogênio, Oxigênio, Amônia, Ácido Sulfúrico, Aminas Voláteis e Monóxido de Carbono.	~ 5%	Entre esses gases, destaca-se o sulfeto de hidrogênio que além de mau odor, pode levar à ocorrência de chuva ácida

Fonte: Willumsen (2001).

Além disso, como alternativa para disposição adequada dos resíduos sólidos, também se utilizam os biodigestores, que consistem numa câmara hermeticamente fechada, onde diversos grupos de bactérias anaeróbicas realizam a degradação da matéria orgânica, produzindo o biogás. (HIRANO, 2015).

2.2 O APROVEITAMENTO DO BIOGÁS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Como consequência das ligações químicas entre os átomos de Hidrogênio e carbono, o metano, principal gás presente no biogás, possui elevado potencial energético (energia química), que ao reagir com o oxigênio, provoca uma reação exotérmica, liberando energia em forma de calor. (ICLEI, 2009).

Desta forma, por possuir alto valor energético o biogás é comumente utilizado como fonte energética para geração de calor ou eletricidade, para Tolmasquim (apud LANDIM; AZEVEDO, 2008) o maior uso do biogás é como combustível para geração de energia, com a venda desta energia para um consumidor próximo.

A utilização do biogás como combustível para geração de energia remonta a mais de 100 anos. Na China o estudo do biogás começou em 1900 e mais tarde em 1930 foi fundada a Primeira Companhia de Biogás em Xangai. Em 1950, a China iniciou um processo de implementação de biodigestores, que já eram utilizados na Índia, principalmente para produção de energia, devido à escassez de lenha provocada pela guerra fria. Pelo mundo o uso dos biodigestores e do biogás tornou-se obsoleto principalmente após a Segunda Guerra Mundial, devido ao uso abundante do petróleo como fonte de energia primária. Entretanto com a crise do petróleo em 1970, alguns projetos foram resgatados e direcionados a geração de energia e aumento da produção do gás. (HIRANO, 2015).

No Brasil, de acordo com OLIVER et al. (2008) citado em Hirano (2015) a introdução dos biodigestores ocorreu em 1970, também influenciada pela crise do petróleo. Em 1979 com a criação da Empresa de Assistência Técnica e Extensão (EMATER), houveram incentivos à produção de biogás, bem como a instalação de 200 biodigestores no estado da Paraíba, no entanto de acordo com uma pesquisa realizada em 2008 pelo Núcleo de Energia da Universidade Federal da Paraíba, apenas 4,6% destes biodigestores continuam em funcionamento.

Como dito, os biodigestores podem ser utilizados como maneira alternativa à disposição adequada, ou também, para acelerar o processo de decomposição da matéria orgânica, no entanto, é necessário utilizar algum processo para realizar a conversão do biogás em energia.

Oliveira (2009, p.15) diz que:

O biogás produzido nos biodigestores pode ser utilizado como fonte de energia primária para fornecer energia mecânica em turbinas e motores, os quais acoplados a geradores elétricos são capazes de produzir energia. Essa energia elétrica poderá ser utilizada localmente pela indústria ou ainda vendida para concessionária de energia elétrica local, havendo excedente na geração, viabilidade e possibilidade de comercialização.

Além disso, o biogás gerado ainda pode passar por um processo de purificação, onde seu poder calorífico é aumentado com a retirada da água e do gás carbônico. Além destes, também é possível remover o gás sulfídrico, que pode estar presente na mistura gasosa, afetando o rendimento e a vida útil do motor utilizado, por ser um gás altamente corrosivo. (COELHO et al., 2006; ROHSTOFFE, 2010).

Coelho et al. (2006) também diz que atualmente existem diversas tecnologias que podem ser utilizadas para conversão energética do biogás, por conversão energética entende-se o processo que transforma um tipo de energia em outra. No caso do biogás, a energia química contida em suas moléculas é transformada em energia mecânica através de um processo de combustão controlada, que por sua vez, pode ser transformada em energia elétrica, através de um gerador.

Dentre as tecnologias existentes as mais convencionais são: motores de combustão interna (Ciclo Otto e Ciclo Diesel), turbinas a gás, microturbinas e as menos utilizadas, células combustíveis. (LANDIM; AZEVEDO, 2008).

Além destas existem também as turbinas a vapor, no entanto elas não utilizam diretamente um combustível para queima, como é feito nas turbinas a gás, mas sim convertem a energia térmica do vapor proveniente de um sistema de cogeração, como uma caldeira, em energia mecânica. A cogeração de sistemas pode ser definida como o processo de transformação de energia térmica de um combustível em mais de uma forma de energia útil, onde, as formas mais frequentes de energia são mecânica e térmica, largamente utilizada em turbinas a vapor e a gás. (MACHADO, 2011).

Willumsen (apud LANDIM; AZEVEDO, 2008) destaca que “ o uso mais conhecido do biogás é em motor a combustão interna, acoplado a um gerador produzindo energia elétrica. Uma planta típica para disponibilizar energia com motor a gás atinge potencial entre 350 e 1.200 kW por motor”.

De acordo com Coelho (2001) citado por Hirano (2015) a produção de energia elétrica proveniente do biogás apresenta vantagens como:

- Geração descentralizada de energia elétrica.
- Colaboração para a viabilidade econômica do saneamento básico.
- Redução da energia elétrica comprada da concessionária.
- Possibilidade de eventual venda da energia excedente a concessionária
- Utilização de energia renovável (biomassa).
- Redução do consumo de combustíveis fósseis.

Entretanto, apesar de todas as vantagens, o uso do biogás para geração de energia elétrica ainda é muito tímido no Brasil. Características peculiares dos setores envolvidos, tal como pouco interesse por parte das concessionárias, associado a complexidade da legislação do setor elétrico, ou em alguns casos, a inexistência dela, acabam desestimulando o progresso do setor. (MACHADO, 2011).

2.2.1 Tecnologias Utilizadas Para Geração de Energia Elétrica Através do Biogás

2.2.1.1 Motores a combustão interna

Os motores a combustão interna são divididos em dois grupos, os motores ciclo Otto e os motores ciclo Diesel. Os motores ciclo Diesel, desenvolvidos por Rudolf Diesel, em 1892, são pouco utilizados para fins de produção de energia elétrica associado ao uso de gases combustíveis, já os motores ciclo Otto, projetados por Nikolaus August Otto, no ano de 1867, são os mais aplicados nos projetos atuais. O motor Diesel é mais utilizado quando se tem cargas que requerem grande força e apresentam vida útil longa. (MACHADO, 2011; GEHRING et al., 2014).

Os motores Otto e Diesel diferem apenas na forma em que ocorre a combustão. No ciclo Diesel, a combustão ocorre com a compressão do combustível na câmara de combustão, enquanto no ciclo Otto a combustão se dá pela explosão do combustível através de uma centelha na câmara de combustão. Como pode-se notar através da figura 4, o ciclo Otto ocorre em quatro etapas, primeiro a válvula de entrada de ar abre admitindo a entrada da mistura ar/combustível na câmara através da sucção causada pela descompressão realizada pelo movimento do pistão. Na segunda etapa a válvula de admissão é fechada e o pistão se movimenta de forma a comprimir a mistura interna do cilindro. No terceiro momento após a compressão máxima da mistura a vela da ignição provoca a centelha, assim a mistura inflamável sofre combustão e a energia gerada por esta é transmitida ao pistão. Por fim os gases internos do cilindro são liberados para que este esteja disponível para os próximos ciclos. (COSTA, 2006 apud MACHADO, 2011)(GEHRING et al., 2014).

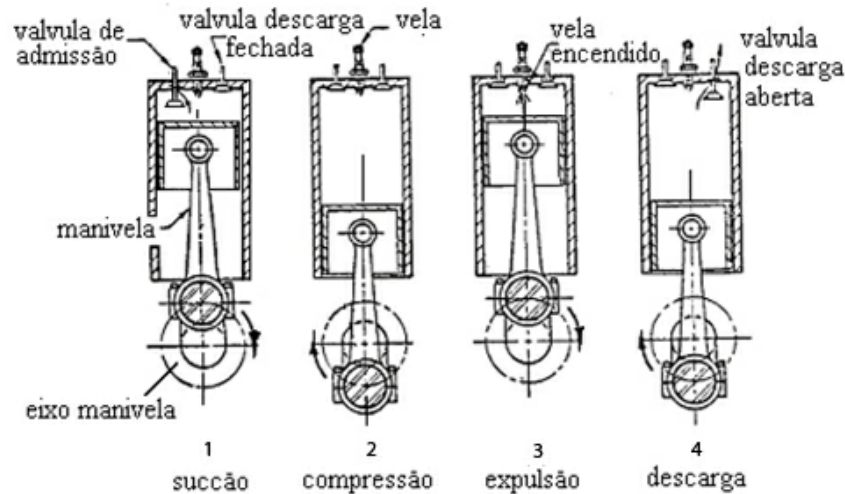


Figura 4: Ciclos Térmicos de Um Motor de Combustão Interna de Quatro Tempos
 Fonte: Gehring et al. (2014).

2.2.1.2 Motores a combustão externa (Stirling)

O motor Stirling é um motor de combustão externa que possui dois tempos, divididos em quatro fases. Este motor, que foi aperfeiçoado pelo pastor Robert Stirling, desenvolvido como sucessor do motor a vapor, é composto por duas câmaras onde um gás é mantido hermeticamente, onde por meio da compressão cíclica e da expansão deste gás (o fluido de trabalho) a diferentes temperaturas haja uma conversão líquida de calor em energia mecânica. (PAUTZ, 2013).

Segundo Hirata (apud PAUTZ, 2013) os motores podem ser divididos em três grupos, Alfa, Beta e Gama, de acordo com a configuração dos cilindros e dos pistões. Suas quatro etapas consistem em: compressão a temperatura constante, aquecimento a volume constante, expansão a temperatura constante e rejeição de calor a volume constante.

Gehring et al. (2014) diz que, dentre as vantagens do motor Stirling estão:

- Baixa poluição, pois opera em combustão contínua (polui menos que os motores de combustão interna).
- Dispensa pré tratamento do biogás, como processos de purificação.
- Baixo custo de manutenção.

E desvantagens:

- Baixa potência (menor que 1000kVA).
- Lenta variação à cargas.
- Não muito presente no mercado.

2.2.1.3 Turbinas a gás

As turbinas a gás são equipamentos de combustão interna, baseados no Ciclo Brayton de expansão. São compostas por três grupos de elementos: compressor, câmara de combustão e turbina de expansão. Como pode ser visto no diagrama da na figura 5, seu funcionamento ocorre da seguinte maneira, o compressor comprime o ar para dentro da câmara de combustão, fornecendo oxigênio para queima do gás combustível. Dentro da câmara, ocorre uma reação exotérmica com a queima do gás, a pressão constante e elevada temperatura. O gás resultante é expandido na turbina, de onde se extrai sua energia mecânica, que é reutilizada no compressor e pode ser transformada em energia elétrica através de um gerador acoplado a turbina. (PAUTZ, 2013; GEHRING et al., 2014).

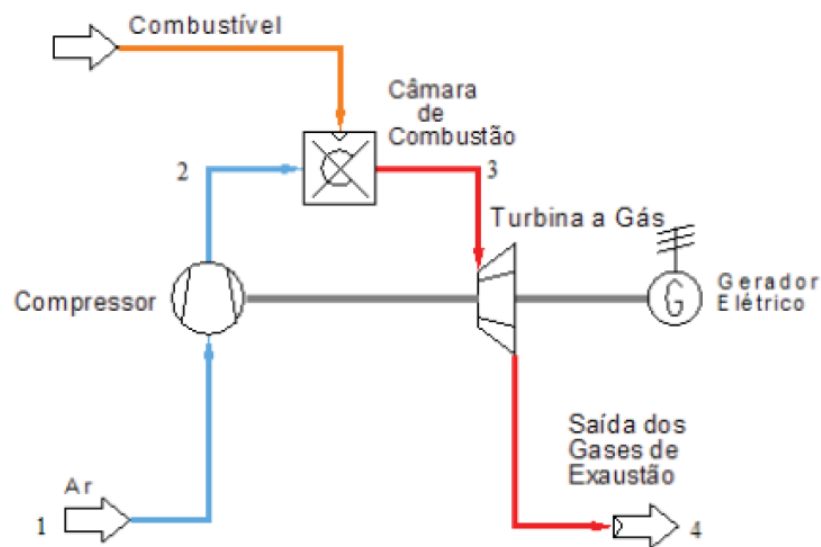


Figura 5: Diagrama de Processo de Uma Turbina a Gás. Fonte: Pautz (2013).

De acordo com Gehring et al. (2014), combustíveis como o biogás, gás natural, propano e querosene, estão entre os mais utilizados em tecnologias como a turbina a gás. Além disso, por apresentarem alta temperatura, parte dos gases liberados pela turbina são utilizados em cogeração, onde a eficiência da turbina pode chegar até 80%, assim, o uso mais indicado para esta tecnologia, é em locais onde a haja grande necessidade de energia elétrica e térmica.

2.2.1.4 Microturbinas

As microturbinas são modelos diminutos das turbinas a gás, portanto, tal como as turbinas a gás, seu funcionamento também é baseado no Ciclo Brayton. As microturbinas foram desenvolvidas originalmente para serem utilizadas em aeronaves quando estas estão em solo com suas turbinas principais desligadas. Da mesma maneira que as turbinas a gás, o ar comprimido pelo compressor é admitido para dentro da câmara de combustão, fornecendo oxigênio para o gás inflamável. A mistura é então inflamada por meio de queimadores, assim os gases aquecidos em alta temperatura são expandidos nas pás turbinas, fazendo com que esta gire. Como a turbina, o compressor e o gerador estão no mesmo eixo, quando o ciclo se completa, a movimentação das pás da turbina fornece energia mecânica ao compressor e ao gerador. (MACHADO, 2011; GEHRING et al., 2014).

Apesar de possuírem potencial energético relativamente baixo, se comparado as outras tecnologias, apresentam eficiência de até 70%, se combinadas a um ciclo de cogeração, ademais, apresentam vida útil em torno de 80.000 horas, muito superior aos motores de combustão interna. (GEHRING et al., 2014).

2.2.2 Panorama sobre o uso do Biogás como combustível para geração de energia elétrica

No ano de 2003, segundo Willumsen (apud FILHO, 2013) haviam pouco mais de 1.100 plantas de exploração do biogás para fins energéticos pelo mundo, com capacidade instalada de aproximadamente 4.000 MW. Alguns países como Alemanha, Inglaterra e Estados Unidos, se destacam com mais experiência no uso do biogás. A tabela 3 mostra a quantidade de plantas distribuídas pelo mundo.

No âmbito mundial, existem atualmente, alguns projetos que podem ser destacados quanto a utilização do biogás para geração de energia elétrica. De acordo com Hirano (2015) no ano de 2007 entrou em operação na Austrália, a usina de Tatura, que produz biogás a partir do sistema de tratamento de esgoto, onde o biogás produzido é canalizado, tratado e então distribuído a geradores, onde produzem cerca de 5 GWh de energia ao ano.

Ainda segundo Hirano (2015), na China, a usina de Beijing Yanqing Deqinyuan Eco-Garden 2, que foi implantada pelo governo local, recebe diariamente cerca de 212 toneladas de dejetos de aves, que são misturados a água e levados aos biodigestores, onde o biogás é recolhido e purificado. O biogás então purificado é destinado a dois geradores de 1.064 kW, onde é gerado anualmente aproximadamente 14 GWh de energia. Além da energia elétrica gerada, o calor do processo é utilizado para o aquecimento dos biodigestores no período do

inverno.

Tabela 3: Características das Plantas de Aproveitamento Energético de Gás de Aterro no Mundo

País	Quantidade de plantas (unid.)	Capacidade instalada (MW)	Quantidade anual de lixo (10^6 t/ano)	Vazão de gás de aterro (m^3/h)
África do Sul	4	4	4	1600
Alemanha	182	270	380	78.500
Austrália	18	76	101	43.657
Áustria	15	22	28	8.820
Canadá	15	106	120	72.000
China	4	4	4	2.160
Coréia do Sul	3	16	14	7.000
Dinamarca	23	22	20	5.913
Espanha	14	36	51	20.700
Finlândia	14	12	20	6.500
França	26	30	35	12.400
Grécia	1	13	20	7.400
Holanda	47	62	100	26.575
Honk Kong	8	32	28	14.620
Inglaterra	151	320	400	180.000
Itália	135	362	240	115.150
Letônia	1	5	5	2.850
México	1	7	7	3.800
Noruega	30	28	13	5.790
Polônia	19	18	15	5.000
Portugal	1	2	2	900
República Checa	6	7	8	2.700
Suécia	61	55	35	12.950
Suíça	7	7	8	2.988
Taiwan	4	20	20	10.972
Turquia	1	4	8	2.200
USA	594	1.813	2.850	958.400
Total	1.152	3.929	4.548	1.615.545

Fonte: Willumsen (apud FILHO, 2013)

Para o caso do Reino Unido alguns regimes como a substituição do NFFO (do inglês, *Non-Fossil Fuel Obligation*) pelo RO (do inglês, *Renewables Obligation*), aumentando assim, a participação das energias renováveis de 3% em 2002/2003 para 15,4% em 2015/2016. Saiba-se também que devido às políticas de incentivo a energia renovável, em 2009, foram gerados no Reino Unido cerca de 18 TWh de energia elétrica proveniente do gás de aterro. (UNITED KINGDOM, 2009 apud FILHO, 2013).

A Alemanha, como dito na seção 2.1.3, é um dos países referência quanto ao tratamento de seus resíduos, em função disso, o país conta com um parque bastante desenvolvido no setor de energia.

Em março de 2000 foi promulgada a lei das fontes renováveis de energia *Erneuerbare Energien Gesetz* (Lei das Fontes de Energia Renováveis) - EEG, que proporcionou um grande avanço para o aproveitamento energético do biogás. (FILHO, 2013). Assim, entre os anos de 1999 e 2009, a Alemanha quadruplicou seu parque de usinas a biogás, que em 1999 era 45 MW, saltou para 1.853 MW em potência instalada. (THRÄN et al., 2009 apud ROHSTOFFE, 2010).

Como é possível observar, diversos países utilizam o biogás para geração de energia elétrica, muitos deles, estão preocupados em adicionar em suas matrizes energéticas fontes renováveis de energia para cumprir com leis de não agressão ao meio ambiente, mas também, como uma forma de apresentar uma solução alternativa para geração e atendimento da demanda por energia elétrica.

No Brasil, desde 2004, com o advento do Mecanismo do Desenvolvimento Limpo - MDL, mecanismo este, criado pelo Protocolo de Kyoto, para auxiliar no processo de redução das emissões de gases de efeito estufa, foram implantados uma série de projetos para aproveitamento do gás de aterro. (FILHO, 2013).

No Aterro Bandeirantes, localizado na rodovia Bandeirantes (Km 26), na cidade de São Paulo, foi instalada em 2004 uma usina para utilização do gás de aterro. O aterro sanitário que entrou em operação em 1979, recebia diariamente 8.000 toneladas de resíduos, totalizando ao final de sua vida útil 30 milhões de toneladas, em março de 2007. (JUCÁ et al., 2002). Segundo Delbin (2012) a Usina Termelétrica Bandeirantes possui uma potência instalada de 22,2 MW com 24 grupos geradores de 925 kW cada, e o investimento necessário para realização da planta foi de R\$ 48 milhões.

Instalada em 2012, no Aterro Metropolitano Centro de Salvador (BA), a Termoverde Salvador foi a primeira usina termelétrica movida a biogás do nordeste brasileiro. Através de um investimento de R\$ 50 milhões do grupo Solvi, possui capacidade auditada para gerar cerca de 20 MW. (SOLVI, 2012). O Grupo Solvi também é responsável por outros empreendimentos em território nacional, como a usina Biotérmica Energia, instalada em 2015, no Aterro Municipal da cidade de Minas do Leão (RS), com capacidade instalada de 7 MW, segundo a empresa SOLVI (2015) o empreendimento teria capacidade de produzir 60 mil MW/h ao ano, o que implicaria em abastecer 25 mil moradias com energia elétrica sustentável.

Além destas usinas, em julho de 2016, foi autorizada pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL para entrar em operação a Termoverde Caieiras, com aporte de R\$ 150

milhões, possui capacidade instalada inicial de 29,5 MW. É a maior termelétrica movida a biogás de aterro do Brasil e uma das maiores do mundo. (SOLVI, 2015).

2.3 MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA: PERSPECTIVAS SOBRE O USO DO BIOGÁS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Como visto na seção 2.1.2, o consumo de energia elétrica cresceu severamente no decorrer dos anos, aliado as crises que o país enfrentou em décadas passadas, isto forçou os governos a investir em infraestrutura para o desenvolvimento do parque energético nacional.

Atualmente, a matriz elétrica brasileira é majoritariamente hidroelétrica, considerando a importação, a energia elétrica ofertada pelas hidrelétricas, que é uma energia renovável, representa 64% de toda energia ofertada no Brasil. Em relação ao emprego das energias renováveis, o que se nota, é o avanço da sua participação na matriz elétrica, apesar da redução da oferta hidroelétrica, algumas fontes como biomassa e eólica cooperaram para este aumento, em 2015, as fontes renováveis totalizaram 75% da energia elétrica gerada, contra 74,6% de participação em 2014. (EPE, 2016).

Em relação ao biogás, segundo dados da ANEEL (2017b), a produção de biogás para geração de energia elétrica atingiu a marca de 118,6 MW de capacidade instalada, saltando 30%, desta maneira passando de 0,0572% no início de 2016 para os atuais 0,0741% da matriz elétrica brasileira.

Assim, quando comparada a oferta de energia hidroelétrica, em relação a das termelétricas a biogás nota-se uma diferença enorme, devido a diversos fatores já citados neste trabalho, tal como o histórico da matriz elétrica nacional. Entretanto o setor elétrico que sempre pode contar com uma energia barata e consistente, oriunda das hidrelétricas, além da recente crise hídrica na região sudeste, sabe-se que o potencial hidroelétrico nacional, em operação no ano de 2002, não representava mais do que 24% do potencial hidroelétrico total, no entanto, suas possibilidades de expansão encontram uma série de barreiras. Praticamente dois terços deste potencial encontra-se na Amazônia, onde as consequências sociais e ambientais, que envolvem questões como, reservatórios em terras indígenas e a manutenção da biodiversidade, devem ser estudadas com atenção, muito além das questões legais. (BERMANN, 2002).

Através das projeções feitas pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE, é possível notar uma elevação no consumo total eletricidade no decorrer dos anos. Tratando da PNE 2050, observada na figura 6, estima-se que em 2050 o consumo total de eletricidade seja aproximadamente igual ao triplo do que é hoje, chegando a 1.624 TWh. (EPE, 2014).

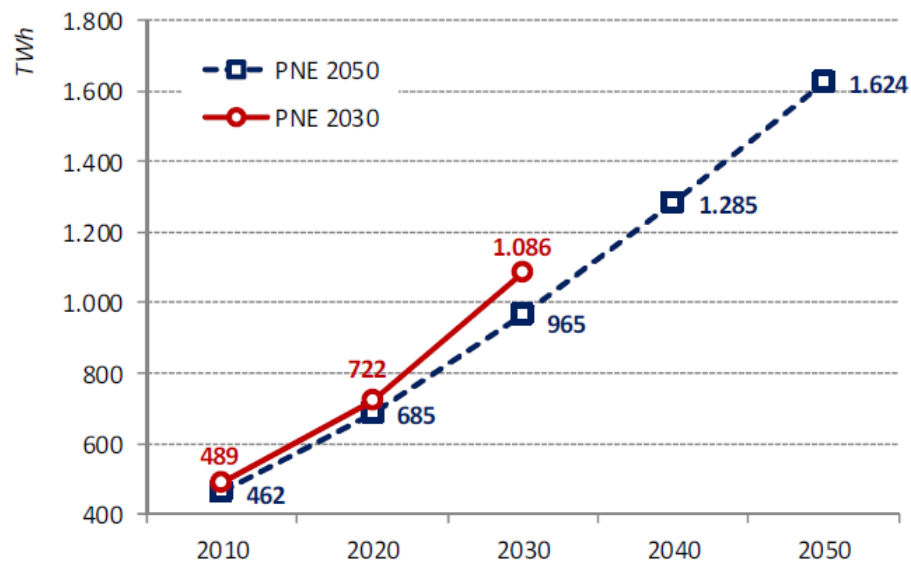


Figura 6: Brasil. Consumo Total de Eletricidade: PNE 2050 vs PNE 2030. Fonte: EPE (2014).

Uma vez que se conhece as dificuldades de expansão, sustentabilidade e perpetuação do modelo principal de geração de energia elétrica brasileiro, aliado a estimativa de crescimento da demanda de energia elétrica, deve-se buscar através das fontes renováveis de energia, meios de suprir essa necessidade.

De acordo com Hirano e Silva (2014, p.32):

Em curto prazo, o país dispõe de termelétricas, que são soluções imediatas para a falta de energia elétrica, entretanto o uso de combustíveis fósseis encarece a energia produzida, além de provocar diversos problemas, como: o aumento das emissões de gases poluentes, o aumento do efeito estufa, e a diminuição e o esgotamento das reservas de petróleo e gás. Nesse âmbito, o desenvolvimento tecnológico e o uso de fontes alternativas de energia se tornam promissoras, pois além de poderem suprir a demanda de energia do país, podem diversificar a matriz energética, e com isso diminuir a dependência de uma ou outra fonte de energia.

Neste sentido, a sensibilização por parte dos órgãos governamentais, agentes do setor elétrico e instituições financeiras é crucial para o fomento e expansão desta tecnologia. Para Bermann (2002, p.13) “A população brasileira ainda espera para o nosso país uma política energética onde o bom senso prevaleça”.

Assim, conforme os dados atuais e projeções de demanda de energia elétrica, de utilização do biogás e emissões de CO_2 , é de fundamental importância para os governos se atentarem para o rumo em que os países mais desenvolvidos estão caminhando, bem como, compreender importância em integrar conhecimentos e tecnologias distintas para um bem comum.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

De acordo com Yin (2005), um estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos.

Uma das vantagens do estudo de caso é que este, quando comparado com outras metodologias de pesquisa, proporciona uma visão mais focada sobre um fenômeno não tão conhecido e também demonstra uma maior possibilidade de se estudar tal fenômeno em profundidade. Segundo Gil (2009) os estudos de caso, por se referirem a um ou poucos objetos, possibilitam a utilização de instrumentos que conferem maior profundidade aos dados. Esta ênfase na profundidade favorece a aproximação entre a abstração dos resultados da pesquisa e a concretude da prática social.

Tendo em vista que a proposta deste trabalho é aliar três itens essenciais à sociedade, transporte, energia e os resíduos sólidos, sob um ponto de vista não tão evidente nos estudos atuais, o estudo de caso se torna o mais adequado método de pesquisa uma vez que nos permite manter uma unidade no caso, já que, de acordo com Gil (2009) os estudos de caso apresentam evidente natureza holística, pois tem como proposta considerar o caso como um todo, considerando o inter-relacionamento entre as partes que o compõe.

O estudo de caso será conduzido em Curitiba uma vez que a cidade tem sido uma referência nacional nos âmbitos de transporte público, devido ao seu modelo inovador que é referência internacional e é usado em outras cidades, e de tratamento de resíduos sólidos que também se destaca nacionalmente devido a inúmeros programas de redução e reutilização destes. A cidade também foi escolhida por ser onde está localizado o aterro do Caximba, que será analisado no trabalho, além disso Curitiba já possui um histórico de testes com combustíveis alternativos no transporte coletivo.

3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica é um estudo sistematizado de extrema importância que serve para a realização da fundamentação teórica do trabalho através de um apanhado dos principais materiais científicos realizados na área, via publicações avulsas, livros, jornais, revistas, internet, etc. Seja ele de fonte primária ou secundária. Por exemplo: o livro Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica, de Felix A. Farret, publicado pela Editora Ufsm, é fonte

primária para trabalhos científicos, no entanto uma vez que cita-se um trabalho científico no qual o livro é citado, esta passa a ser uma fonte secundária. (LUNA, 1999; MORESI et al., 2003).

3.2 QUESTIONÁRIO CIENTÍFICO

Segundo Moresi et al. (2003), questionário científico é uma série ordenada de perguntas, de modo objetivo, limitado em extensão e acompanhado de instruções. Estas perguntas têm de ser respondidas pelo informante segundo as instruções, que devem ser esclarecedoras quanto ao método de preenchimento, propósito de aplicação e importância da colaboração do informante. O questionário pode ser enviado por e-mail, pelos correios ou através de um portador.

O questionário ainda deve ser dividido em seções de acordo com o tema, obedecendo uma ordem lógica e deverá conter apenas perguntas relacionadas aos objetivos pretendidos. A linguagem deve ser compreensível de modo a facilitar o entendimento das questões. (BONI; QUARESMA, 2005).

Uma vez que se pretende através do questionário obter informações específicas sobre o Aterro do Caximba, onde não se conhece muito bem as respostas e existem muitas alternativas possíveis, será utilizado o questionário com perguntas abertas, que se justifica por proporcionar liberdade de expressão ao informante. Por exemplo: se o pesquisador deseja saber através do questionário, no qual as perguntas são abertas, “ O Senhor (a) que responde pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente, qual seria a posição dela, a respeito da utilização do potencial energético do Aterro Caximba, para geração de energia elétrica? ”, desta forma, propositalmente, espera-se uma resposta elaborada e que indique a opinião da Secretaria Municipal do Meio Ambiente sobre a questão.

3.3 MÉTODO DE ANÁLISE DE DADOS

Para Yin (2001), a análise de dados consiste no exame, categorização, classificação ou mesmo na recombinação das evidências conforme proposições iniciais do estudo.

Dentro do escopo de estudo de caso, a análise e a interpretação de dados são itens fundamentais, porém complexos, uma vez que não há consenso acerca dos procedimentos a serem adotados. A análise e a interpretação iniciam-se simultaneamente à coleta dos dados, se inicia com a primeira entrevista, observação, leitura de um documento. Ao longo do processo interativo é que o pesquisador constrói a análise e a interpretação dos resultados. (GIL, 2009).

3.3.1 Análise Comparativa

O método de análise por comparação é reconhecido por muitos pesquisadores como um dos modelos mais adequados para promover a análise qualitativa de dados. Foi desenvolvido por Glaser e Strauss (1967) como meio para desenvolver a *grounded theory* (teoria fundamentada nos dados). Consiste em um processo que envolve diversos procedimentos executados pelo pesquisador para reunião de dados referentes à um determinado fenômeno. A comparação, codificação e extração de regularidades, conclui-se uma teoria fundamentada (*grounded*) nos dados. (GIL, 2009).

Gil (2009) menciona que a análise por comparações constantes é, a rigor, uma reconstrução da experiência. Neste método, o pesquisador tem como propósito não testar uma teoria, mas sim entender uma determinada situação, a maneira e os motivos que os participantes agem desta maneira e o motivo pelo qual essa situação se desenvolve da maneira proposta. A teoria em si, não pode ser encarada como verdade absoluta, mas sim como uma explicação de uma realidade tornada real pelos sujeitos da pesquisa.

4 ESTUDO DE CASO

Capital do estado do Paraná, Curitiba é a cidade mais populosa do estado e a oitava mais populosa do Brasil contando com, aproximadamente, 1.900.000 habitantes. (IBGE, 2016). Situado ao sul do município de Curitiba, o Aterro Sanitário da Caximba, atualmente desativado, dispõe de um potencial energético que já fora estudado, ainda assim permanece inutilizado. Em paralelo o sistema de transporte coletivo, efetivo em todo município, conta com um histórico de testes com tecnologias alternativas no transporte.

Assim estes fatores tornam a cidade de Curitiba ambiente ideal para aplicação do estudo de caso proposto, que consiste na apresentação de um estudo de viabilidade técnica e econômica entre potencial para geração de energia e abastecimento de frota pública de ônibus elétricos.

4.1 CAPACIDADE ENERGÉTICA DO ATERRO SANITÁRIO DA CAXIMBA



Figura 7: Vista Aérea do Aterro Sanitário da Caximba. Fonte: SMMA (2016).

De acordo com a Secretaria Municipal do Meio Ambiente - SMMA (2016) o Aterro Sanitário da Caximba, antigo Aterro Municipal de Curitiba, teve sua operação iniciada em 1989 e recebeu mais de 12 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos ao longo de seu período de funcionamento. No entanto, a geração de chorume e biogás por parte da matéria orgânica ainda persiste, segundo o Ministério do Meio Ambiente - MMA (2010) a emissão do biogás proveniente de aterro pode perdurar por 20, 30 ou até mais anos. No Aterro Sanitário da Caximba o biogás produzido é destinado a queima em *flares*, para evitar a liberação do gás metano.

Em uma análise sobre a purificação do biogás gerado no Aterro, a autora Okamura (2013) obteve os seguintes valores para geração de energia elétrica através do biogás, visto na tabela 4.

Tabela 4: Valores Utilizados para Determinar a Produção de Energia Elétrica Através do Biogás Bruto e do Purificado

Parâmetros	Cenário I - Biogás bruto	Cenário II - Biogás purificado
Vazão de biogás	565,6 m ³ .h ⁻¹	565,6 m ³ .h ⁻¹
Teor de metano	34,7 %	63,5 %
PCI	4129 kcal.kg ⁻¹	7556 kcal.kg ⁻¹
Capacidade de captação do biogás*	70 %	70 %
Energia	1.171.864 kcal.h ⁻¹	2.144.194 kcal.h ⁻¹
Eficiência microturbina	35%	35%
Energia gerada	477 kWh	873 kWh

*A capacidade de captação do gás é de 50% para lixão, 60% para aterro controlado e 70% para aterro sanitário. – (CEPEA, 2004)

Fonte: Okamura (2013).

A autora Okamura (2013) ainda estimou os gastos com purificação no primeiro e segundo ano, exibidos na tabela 5 e afirma que a purificação, se considerado um preço de venda médio de R\$ 250,00 por MWh, é perfeitamente viável.

Tabela 5: Custos da Purificação (1 ano) de 395,92 m³/h de Biogás Captado

Materiais	Quantidade	Custo - 1º ano (R\$)	Custo - demais anos (R\$)
NaOH	32,5 t	500.000,00	500.000,00
Pb(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	2,4 t	70.000,00	70.000,00
Carvão Ativo	500 kg	11.600,00	11.600,00
Sílica Gel	500 kg	8.500,00	8.500,00
Equipamento (Colunas e compressor)	1	100.000,00	-
Operários	4	96.000,00	96.000,00
Total de custos por ano		786.100,00	686.100,00

Fonte: Okamura (2013).

Desta forma, para cálculos posteriores, adotou-se o cenário II, em que o biogás purificado apresenta um potencial energético superior ao do não purificado, uma vez que em função do investimento, tem-se um retorno significativo em energia gerada.

4.2 COMPARATIVO TÉCNICO E ECONÔMICO ENTRE MODELOS DE ÔNIBUS

Conforme apresentado na seção 2.1.1 do presente trabalho a utilização de tecnologias alternativas ao combustível fóssil é vantajosa tanto no aspecto ambiental quanto no aspecto econômico. Assim, para efeito comparativo, foram considerados três modelos de ônibus puramente elétricos e um modelo híbrido.

a) K9 - (BYD)

Desenvolvido pela marca chinesa Build Your Dreams - BYD, o K9 é um veículo puramente elétrico, que recebeu a numeração XY030, pela a Auto Aviação Marechal, quando passou por um período de testes, em Curitiba, no ano de 2014, apresentado na figura 8.

O modelo conta com uma tecnologia exclusiva da BYD de baterias de íons de lítio e fosfato de ferro, técnica ambientalmente correta (reciclável) e com vida útil extensa, superior a do próprio ônibus. (CURITIBA, 2014).



Figura 8: Ônibus Elétrico K9. Fonte: Curitiba (2014).

b) K11 - (BYD)

Também desenvolvido pela empresa BYD, o K11 foi o primeiro veículo 100% elétrico articulado à baterias do mundo. Assim como o K9, o modelo articulado da BYD conta com a mesma tecnologia de baterias, que podem proporcionar uma autonomia de até 300 km.

Em outubro de 2015, o veículo permaneceu em Curitiba por uma semana para realização de testes e apresentação ao sistema local, como visto na figura 9. (ÔNIBUS DE CURITIBA, 2015).



Figura 9: Ônibus Elétrico K11. Fonte: Ônibus de Curitiba (2015).

c) E-Bus (Eletra)

Fruto da parceria entre a empresa brasileira Eletra e as empresas japonesas Mitsubishi Heavy Industries e Mitsubishi Corporation, o E-bus, que pode ser visto na figura 10, é o primeiro ônibus elétrico articulado brasileiro movido 100% a baterias.

O veículo é tracionado por um motor elétrico WEG e conta com um banco de 14 baterias da marca Mitsubishi Heavy Industries, que exige cerca de três horas para efetuar a carga completa e garante ao veículo uma autonomia de 200 km.



Figura 10: Ônibus Elétrico E-Bus. Fonte: Eletra (2013).

d) AC319 (EURO V)

O modelo híbrido AC319, desenvolvido pela Volvo, mostrado na figura 11, conta com tecnologia híbrida paralela, Volvo I-SAM, o que significa que o veículo conta com um motor diesel e outro elétrico.

Para arrancar, o motor elétrico é acionado e ao atingir aproximadamente 20 km/h, o motor diesel entra em operação. (VOLVO, 2014)



Figura 11: Ônibus Híbrido AC319. Fonte: G1 (2014).

Reunindo as informações cedidas pelos fabricantes, e pelos relatórios realizados pela URBS e pela organização não governamental Greenpeace, foi possível comparar os modelos de ônibus quanto as suas características mecânicas e ao custo global de vida útil, tais comparações são demonstradas nas tabelas 6 e 7.

Tabela 6: Características Mecânicas				
	AC319	E-Bus	K9	K11
Potência do Motor	Diesel: 215 cv Elétrico: 118 kW	200 kW	75 kW x 2	180 kW x 2
Torque Máximo	800 N.m (82 kgf.m)	1628 N.m (166 kgf.m)	350 N.m x 2	1500 N.m x 2
Autonomia	1,43 km/L	211 km *	250 km	300 km
Bateria	Íon Lítio / Óleo Diesel	...	Íon-Lítio e Fosfato de Ferro	Íon-Lítio e Fosfato de Ferro
Capacidade de Carga	-	200 kW**	80 kW	200 kW
Tempo de Carregamento	-	3h	4h	3h

* 200 km de autonomia da carga nominal e mais 11 km através da carga rápida

** Valor estimado de modo comparativo

Fonte: Elaborada a partir de dados do Greenpeace (2016) e Eletra (2013).

Tabela 7: Custo Global de Vida Útil

	AC319	E-Bus	K9	K11
Investimento inicial (R\$)	800.000,00	850.000,00	1.000.000,00	...
Custo de manutenção (R\$/km)	0,31	0,92	0,20	...
Custo de combustível (R\$/km)	1,52	0,48	0,48	0,48
Custo operacional (R\$/km)	1,91	1,47	R\$ 0,68	...
Quilômetros rodados por dia (km)	200	200	200	200
Dias operantes no ano	365	365	365	365
Custo operacional - 1 ano (R\$)	139.430,00	107.310,00	49.640,00	...
Custo global - 1º ano (R\$)	939.430,00	957.310,00	1.049.640,00	...
Custo global - 2º ano (R\$)	139.430,00	107.310,00	49.640,00	...

Fonte: Elaborada a partir de dados do Greenpeace (2016).

É importante salientar que para realização da tabela 7 foi utilizado o preço de R\$ 0,48 por kWh para consumidores do subgrupo B3. Desta forma, levando em conta o valor de rendimento energético para veículos elétricos estabelecido pela URBS (2013) de 0,90 km/kWh, tem-se o custo em R\$/km. Além disso, o menor valor de autonomia dos ônibus foi adotado para obtenção de uma melhor relação de comparação.

A respeito do aporte financeiro para compra dos ônibus elétricos da fabricante BYD, salienta-se que os pontos de recarga nas garagens não exigem grande investimento, uma vez que o inversor, que faz a conversão de corrente alternada para corrente contínua, fica dentro dos ônibus e o adaptador de carregamento é implantado pela própria BYD e por este motivo não foram inclusos nas despesas. Outro fator, segundo o Greenpeace (2016) é que pode-se utilizar do *leasing* de baterias, que reduziria significativamente o investimento. O *leasing* permite ao comprador alugar as baterias por meio de um financiamento junto à fabricante e, ao final da vida útil do veículo, elas seriam devolvidas ao fornecedor abatendo então 60% do valor do investimento.

4.3 ESTUDO DE UMA LINHA PILOTO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA FROTA DE ÔNIBUS ELÉTRICOS

De acordo com a Urbanização Curitiba S.A. - URBS (2017) cerca de um milhão e meio de passageiros são transportados diariamente na Rede Integrada de Transporte - RIT. A Rede integrada possui 250 linhas disponíveis na cidade, o que representa em média 14 mil viagens e 300 mil quilômetros percorridos, em dias úteis, por uma frota que conta com 1280 ônibus.

A composição das frotas está dividida em categorias que possuem diferentes características modelos de ônibus para melhor atender os passageiros, estes modelos e a

respectiva capacidade de transporte estão presentes na figura 12.









COMPOSIÇÃO DA FROTA 2017						
RIT - REDE INTEGRADA DE TRANSPORTE						
CATEGORIA DE LINHA	TIPOS DE VEÍCULO	CAPACIDADE / VEÍCULO	FROTA OPERANTE		QTDE LINHAS	
			Subtotal	Total		
LINHA DIRETA	ARTICULADO 	150	39	} 241	15	
	PADRON 	110	202			
INTERBAIRROS	ARTICULADO 	140	98	} 110	08	
	PADRON 	100	2			
	HÍBRIDO 	79	10			
ALIMENTADOR	ARTICULADO 	140	74	} 439	129	
	COMUM 	85	335			
	MICRO ESPECIAL 	70	30			

Figura 12: Composição da Frota na Rede Integrada de Transporte. Fonte: URBS (2013).

Com base nas características de cada ônibus apresentadas na seção 4.2 e os modelos apresentados na figura 12, foi determinado que o ônibus proposto K9 se assemelha aos ônibus "Padron LE", "Híbrido" e o "Comum" utilizados nas categorias "Linha Direta", "Interbairros" e "Alimentador" enquanto os ônibus K11 e E-Bus assemelham-se aos ônibus "Articulado" presente nas categorias "Alimentador", "Linha Direta" e "Interbairros".

Para fins de estudo, foram analisadas algumas linhas da RIT, nesta análise foram considerados fatores como o tamanho e o ponto de partida da linha, a categoria e os tipos de ônibus utilizados nela além do número de viagens programadas pela URBS em adequação ao modelos propostos no estudo demonstrada na tabela 8 que segue abaixo.

Tabela 8: Análise das Linhas da RIT

Nome da linha	Categoria	Tamanho da linha (km)	Composição da frota	Viagens programadas
Interbairros II (Horário)	Interbairros	41,277	14 Articulados	109
Rio Bonito / CIC	Alimentador	30,275	4 Articulados	77
C. Raso / C. Do Siqueira	Interbairros	15,707	4 Articulados	16
Interbairros I (Horário)	Interbairros	17,617	5 Híbridos	62
S. Cercado/Boqueirão	Linha Direta	9,508	4 Padron	47
Sta. Felicidade	Linha Direta	15,954	4 Padron	62

Fonte: Elaborada a partir de dados disponibilizados pela URBS (2017).

Os dados da análise demonstram uma estimativa de quantas vezes cada ônibus proposto poderia realizar a rota com sua autonomia, apresentam-se abaixo as tabelas 9, 10 e 11 que relacionam as linhas com cada modelo de onibus proposto no estudo.

Tabela 9: Análise das Linhas da RIT para o Ônibus K9

Nome da linha	Categoria	Tamanho da linha (km)	Nº de Viagens*
Interbairros II (Horário)	Interbairros	41,277	6
Rio Bonito / CIC	Alimentador	30,275	8
C. Raso / C. Do Siqueira	Interbairros	15,707	15
Interbairros I (Horário)	Interbairros	17,617	14
S. Cercado/Boqueirão	Linha Direta	9,508	26
Sta. Felicidade	Linha Direta	15,954	15

* O número de viagens está baseado na autonomia para uma carga completa.

Fonte: Elaborada a partir de dados disponibilizados pela URBS (2017).

Tabela 10: Análise das Linhas da RIT para o Ônibus K11

Nome da linha	Categoria	Tamanho da linha (km)	Nº de Viagens*
Interbairros II (Horário)	Interbairros	41,277	7
Rio Bonito / CIC	Alimentador	30,275	9
C. Raso / C. Do Siqueira	Interbairros	15,707	19
Interbairros I (Horário)	Interbairros	17,617	17
S. Cercado/Boqueirão	Linha Direta	9,508	31
Sta. Felicidade	Linha Direta	15,954	18

* O número de viagens está baseado na autonomia para uma carga completa.

Fonte: Elaborada a partir de dados disponibilizados pela URBS (2017).

Tabela 11: Análise das Linhas da RIT para o Ônibus E-bus

Nome da linha	Categoria	Tamanho da linha (km)	Nº de Viagens*
Interbairros II (Horário)	Interbairros	41,277	4
Rio Bonito / CIC	Alimentador	30,275	6
C. Raso / C. Do Siqueira	Interbairros	15,707	12
Interbairros I (Horário)	Interbairros	17,617	11
S. Cercado/Boqueirão	Linha Direta	9,508	21
Sta. Felicidade	Linha Direta	15,954	12

* O número de viagens está baseado na autonomia para uma carga completa.

Fonte: Elaborada a partir de dados disponibilizados pela URBS (2017).

4.4 ESTIMATIVA DE CUSTO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE USINA TERMOELÉTRICA NO ATERRO SANITÁRIO DO CAXIMBA

Para determinação efetiva da viabilidade do estudo de caso, apresenta-se nesta seção uma estimativa em relação ao aporte financeiro para implementação de uma Usina termoeletrica -

UTE, no Aterro Sanitário da Caximba, considerando também seus gastos com manutenção e operação da usina.

Como visto na seção 4.1, para uma vazão de $565,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, o potencial energético instantâneo do biogás é de 2.494 kW e, considerando a eficiência média das microturbinas de 35%, a capacidade de geração energia é de 873 kWh. Assim, determinou-se o modelo ideal de microturbina a ser instalado, conforme figura 13 e a tabela 12 que seguem abaixo.



Figura 13: Microturbina C1000S. Fonte: Capstone (2017).

Tabela 12: Especificações Técnicas - Microturbina CAPSTONE C1000S

Características	Valores
Avaliação	1.000 kW
Eficiência elétrica PCI	33%
Combinado de calor e Eficiência de energia	Até 90%
Tensão	400 - 480 VAC
Frequência	50/60 Hz
Rede de Conexão	10 até 60 Hz ou Não Conectado
Serviço Elétrico	3 Fases - 4 Fios
Dimensões	3m x 9,1m x 2,9m
Peso	Conectado à rede: 17.100 kg ou não conectado: 20.650 kg
Taxa de calor líquida PCI	10.9 MJ/kWh (10,300 BTU/kWh)
Temperatura de exaustão	280 °C
Fluxo de gases de escape	6,7 kg/s
Combustíveis compatíveis	Gás Natural, Combustíveis Líquidos, Biogás, Gás Associado, Gás Azedo, GLP

Fonte: Capstone (2017)

Nota-se que, o modelo em questão apresenta uma eficiência de 33%, o que implica numa capacidade de geração de energia efetiva de 823 kWh.

Desta forma, em conformidade com o estudo realizado por Silva et al. (2008) tem-se a tabela 13, que mostra detalhadamente, o investimento em máquinas e equipamentos e o investimento total para instalação da usina, que seria de aproximadamente 12 meses.

Tabela 13: Investimentos Totais para Instalação da Usina no Aterro Sanitário do Caximba

Equipamento	Valor (R\$)
100 x Drenos verticais	3.000,00
Rede de coleta	2.000,00
1 x Secador	500,00
2 x Compressores	2000,00
1 x Motogerador	588.000,00
3 Painéis de controle	455.000,00
Investimento na planta da Usina	2.200.000,00
Total	3.260.500,00

Fonte: Silva et al. (2008)

Além dos investimentos, Silva et al. (2008) ainda estimou o custo para operação e manutenção da usina em R\$ 500.000,00 por ano.

4.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE

Através dos dados apresentados nas seções anteriores foi possível constatar alguns níveis de viabilidade técnica e econômica. No entanto, para caracterização destes níveis, algumas condições foram consideradas.

4.5.1 Viabilidade Técnica

Primeiramente para determinação do(s) modelo(s) e da(s) linha(s) mais adequada(s) considerou-se fundamentalmente, a representatividade do número de ônibus a se substituir na(s) linha(s) definida(s), buscando, idealmente, a substituição completa da(s) linha(s), afim de poder gerar um padrão, tanto para este estudo quanto para estudos futuros que possam ser realizados.

Desta forma, tem-se a tabela 14, que mostra a capacidade de abastecimento simultâneo conforme a demanda energética de cada ônibus.

Assim, conforme a tabela acima, pode-se dizer que o modelo K9 é o que mais se

Tabela 14: Comparação Técnica Entre Geração de Energia e Capacidade de Abastecimento

Modelo	Capacidade de carga do modelo (kW)	Capacidade de geração de energia do aterro (kWh)	Capacidade de abastecimento simultânea
E-Bus	200	823	4
K11	200	823	4
K9	80	823	10

Fonte: Elaboração Própria

assemelha as condições propostas pelo estudo, pois do ponto de vista técnico, seria possível abastecer 10 ônibus simultaneamente. Desta forma, os cálculos e considerações a seguir, foram feitas a partir da escolha do ônibus K9.

Definido o modelo de ônibus a ser implantado, pode-se avaliar as linhas propostas na seção 4.3, levando em consideração apenas as linhas que poderiam operar com o modelo K9.

Tabela 15: Comparação Técnica Entre Linhas Propostas e as Características do Ônibus K9

	Interbairros I (Horário)	S. Cercado/ Boqueirão	Santa Felicidade
Tamanho da linha (km)	17,617	9,508	15,954
Composição da frota	5 Híbridos	4 Padron	4 Padron
Viagens programadas por ônibus	12,4	11,75	15,5
Distância percorrida por ônibus (km)	218,451	111,719	247,287
Fator de aproveitamento (K)*	0,886	0,452	1,03

*Relação entre o número de viagens programadas para a linha e o número de viagens possíveis em função da autonomia.

Fonte: Elaboração Própria

Aplicando o mesmo critério de representatividade, a linha que mais adequada ao estudo é a linha Interbairros I, tornando possível as 62 viagens diárias programadas da linha, com 218,45 km rodados por ônibus. Para o fator de aproveitamento "K" definiu-se um valor ótimo maior ou igual a 0,8 e menor do que 1,0. De modo que um valor acima de 1,0 significaria a inviabilidade da linha, uma vez que a distância a ser percorrida é maior do que a autonomia do ônibus, analogamente, valores abaixo de 0,8 evidenciarium um baixo aproveitamento dado que a autonomia do ônibus é muito maior do que a distância a ser percorrida.

Após determinar o modelo de ônibus e linha, para concretização do estudo de viabilidade técnica, mostra-se na tabela a seguir uma comparação entre as potências gerada e consumida, diária, e anualmente, considerando a implementação de cinco ônibus, em função de sua autonomia e distância total percorrida na linha diariamente.

Tabela 16: Energia Gerada e Consumida

	1 Dia	1 Ano
Energia gerada no Aterro (MWh)	19,75	7.209,48
Energia Consumida por 05 ônibus (MWh)	1,2	438
Diferença entre energia gerada e energia consumida (MWh)	18,55	6.771,48

Fonte: Elaboração Própria

Para realizar a tabela 15 considerou-se, para a usina, 24h de operação em 365 dias e para os cinco ônibus suas 3h necessárias de abastecimento, operante em 365 dias. Aqui é importante ressaltar, que se estabeleceu apenas um abastecimento por dia, em função da logística necessária para mais abastecimentos e pela logística atual praticada pela empresa Gloria, responsável pela linha Interbairros I.

Para energia consumida diariamente pelos ônibus tem-se a fórmula1:

$$E_c = 5 \times 0,08 \times 3 = 1,2 MWh \quad (1)$$

Onde:

P_c : Energia Consumida.

4.5.2 Viabilidade Econômica

Para definir a Viabilidade Econômica do estudo, agrupou-se em tabelas os gastos totais em relação a usina, purificação do biogás e aos ônibus. No entanto, dois cenários de viabilidade foram levantados.

Cenário I - Cenário menos otimista, onde se decidiu não utilizar dos créditos de carbono proporcionados pela usina e também não utilizar do *leasing* de baterias junto a empresa BYD.

Cenário II - Cenário mais otimista, onde se decidiu utilizar dos créditos de carbono proporcionados pela usina e também do *leasing* de baterias junto a empresa BYD, que reduz os custos de investimento nos ônibus em 60%.

Por conseguinte, apresentam-se as tabelas 17 e 18 que demonstram os gastos no primeiro, segundo e terceiro ano de aplicação do estudo, para ambos os cenários.

Tabela 17: Composição de Despesas Totais Para o Cenário I

Característica		1º ano (R\$)	2º ano (R\$)	3º ano (R\$)
Usina	Operação e Manutenção	-	- 500.000,00	- 500.000,00
	Investimentos	- 3.260.500,00	-	-
Purificação do Biogás	Operação e Manutenção	-	- 686.000,00	- 686.000,00
	Investimentos	- 100.000,00	-	-
5 Ônibus	Manutenção	-	- 79,752,50*	- 79,752,50*
Modelo K9	Investimentos	-	- 5.000.000,00	-
Total		- 3.360.500,00	- 6.265.752,50	- 1.265.752,50

* Considera-se apenas os custos com manutenção pois a energia utilizada como combustível é fornecida pela usina.

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 18: Composição de Despesas Totais Para o Cenário II

Característica		1º ano (R\$)	2º ano (R\$)	3º ano (R\$)
Usina	Operação e Manutenção	-	- 500.000,00	- 500.000,00
	Investimentos	- 3.260.500,00	-	-
Purificação do Biogás	Operação e Manutenção	-	- 686.000,00	- 686.000,00
	Investimentos	- 100.000,00	-	-
5 Ônibus	Manutenção	-	- 79,752,50*	- 79,752,50*
Modelo K9	Investimentos	-	- 2.000.000,00	-
Créditos de Carbono	Investimentos	-	- 653.400,00	-
Total		- 3.360.500,00	- 3.919.152,50	- 1.265.752,50

* Considera-se apenas os custos com manutenção pois a energia utilizada como combustível é fornecida pela usina.

Fonte: Elaboração Própria

Após apresentação das despesas totais para ambos os cenários, realizou-se uma analogia entre o modelo AC319 "Híbrido" atualmente operante na linha Interbairros I, e o modelo K9 que o substituirá. Esta analogia leva em conta o custo operativo em R\$/km, em relação a quantidade de km rodado para a linha adotada.

Conforme apresentado na seção 4.2, tem-se o custo com combustível e manutenção em R\$/km para os modelos AC319 e K9. No entanto na tabela 19, apresenta-se o custo operacional em um dia e um ano, para ambos modelos operando na linha Interbairros I, onde são rodados 218,5 km diários por ônibus em 365 dias.

Tabela 19: Comparativo Operativo Entre o Modelo AC319 e K9 Para Um Ônibus

	AC319	K9
Custo de manutenção (R\$ / km)	0,31	0,20
Custo de combustível (R\$ / km)	1,52	-
Custo operacional (R\$ / km)	1,83	0,20
Custo operacional 1 dia (R\$)	399,85	43,70
Custo operacional 1º ano (R\$)	145.947,07	15.950,50

Fonte: Elaboração Própria

Desta forma o custo operacional para 1 dia de operação (C_{OP1}) e para um ano (C_{OP2}) estão explícitos nas formulas 2 e 3, respectivamente.

$$C_{OP1} = Ce * 218,5 \quad (2)$$

$$C_{OP2} = Ce * 218,5 * 365 \quad (3)$$

Onde:

Ce: Custo operacional específico de cada modelo de ônibus.

Deve-se ainda, considerar o montante de cinco ônibus, ideais para substituição da linha completa, implicando num custo operacional anual de R\$ 729.735,35 para o AC319 e R\$ 79.752,50 para o K9.

A respeito do abastecimento dos ônibus, afim de viabilizar tanto a parte econômica quanto a parte técnica, a melhor maneira de se abastecer os ônibus seria em sua garagem, em função do gasto energético para o deslocamento até a usina, ou ainda que se fosse feita a escolha de uma linha no qual o trajeto ficasse em seu caminho, poderia ser inviável de vários aspectos já citados na seção 4.3. Desta maneira o enquadramento da usina do Aterro Sanitário da Caximba em Geração Distribuída apresenta-se como a melhor saída ao problema. Sugere-se assim por meio da Resolução Normativa da ANEEL nº 482/2012 atualizada pela nº 687/2015, através de um consórcio entre a empresa dos ônibus e a usina, realizar o abastecimento dos veículos com geração e consumo remoto.

Como visto na seção 4.5.1, o excedente de energia anual é significativo em relação ao consumo e poderia ser utilizado em ambos os CNPJs do consórcio em até 60 meses, referente ao mês em que a energia foi gerada. Assim considerou-se um fator de utilização anual de 40% do montante excedente gerado (créditos), o que representa um consumo médio total de

200kWh/mês para os CNPJs do consórcio, haja vista o preço da tarifa de R\$ 0,44056/kWh para o subgrupo B3, pode-se obter uma redução significativa no consumo, expressa nas tabelas que seguem abaixo.

É válido ressaltar que os créditos de energia não podem ser comercializados e a conversão de MWh para R\$ foi realizada apenas para se estimar o quanto a utilização destes 40% da energia excedente significaria para o estudo.

Além da utilização dos créditos de energia, conforme estabelecido no cenário II, calculou-se a receita proveniente da venda dos créditos de carbono. Segundo o autor Silva et al. (2008), com a instalação da usina, seria possível deixar de emitir 779.080 ton de carbono equivalente anualmente. Desta forma, este montante foi multiplicado por seu preço de U\$ 5,00/ton e pela cotação atual do Dólar.

Finalmente tem-se as tabelas 20 e 21, que expressam as despesas e receitas totais para os cenários I e II, no primeiro, segundo e terceiro ano de aplicação do estudo.

Tabela 20: Fluxo de Caixa para o Cenário I

	1º ano (R\$)	2º ano (R\$)	3º e demais anos (R\$)
Despesas Totais	- 3.360.500,00	- 6.265.752,50	- 1.265.752,50
Receita 1 *	-	649.982,85	649.982,85
Receita 2 **	-	1.057.344,00	1.057.344,00
Lucro Total	- 3.360.500,00	- 4.558.425,65	441.574,35

* Receita proveniente da diferença entre o custo operacional anual de 5 modelos K9 por 5 AC319

** Economia estimada em função da utilização dos créditos de energia elétrica

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 21: Fluxo de Caixa para o Cenário II

	1º ano (R\$)	2º ano (R\$)	3º e demais anos (R\$)
Despesas Totais	- 3.360.500,00	- 3.919.152,50	- 1.265.752,50
Receita 1 *	-	649.982,85	649.982,85
Receita 2 **	-	1.057.344,00	1.057.344,00
Receita 3 ***	-	12.879.954,91	12.879.954,91
Lucro Total	- 3.360.500,00	10.667.924,91	13.321.324,91

* Receita proveniente da diferença entre o custo operacional anual de 5 modelos K9 por 5 AC319

** Economia estimada em função da utilização dos créditos de energia elétrica

*** Receita proveniente dos créditos de carbono em um ano

Fonte: Elaboração Própria

Conforme apresentado na tabela 20 os dois primeiros anos seriam de investimentos e o terceiro e os demais anos de lucros positivos. Assim para determinação da viabilidade deste cenário calculou-se a TIR - Taxa Interna de Retorno.

O resultado obtido foi que seriam necessários 18 anos para que a TIR zerasse o VPL - Valor Presente Líquido, ou seja, para que o investimento fosse totalmente amortizado.

Já para o cenário II, aplicando os mesmos critérios, no terceiro ano o valor encontrado para a TIR foi de 68,89%. Tomando como base a taxa SELIC de 7,5%, o investimento se demonstra muito atrativo.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho limitou-se a definir níveis de viabilidade técnica e econômica a partir de potencial energético para geração de energia elétrica de Aterro, características técnicas de ônibus elétricos e das linhas de ônibus da RIT, afim de tornar possível a implementação de ônibus elétricos à frota pública, com energia renovável proveniente de Aterro Sanitário.

Do ponto de vista técnico, considerando o maior número de veículos à serem abastecidos em função da quantidade de energia disponível, adotou-se o modelo K9. Conforme apresentado no estudo, a capacidade de geração de energia elétrica do aterro é de 823 kWh, considerando a capacidade de carga do ônibus K9, seria possível abastecer simultaneamente até 10 unidades do modelo, o que representa um número duas vezes maior do que o encontrado para os demais ônibus. A linha por sua vez, foi determinada em consonância com o modelo de ônibus elétrico escolhido, de modo que este ônibus atendesse as características da linha e dos ônibus que nela operam. Desta maneira, a linha Interbairros I foi a que melhor se adequou às necessidades do estudo, em virtude do número médio de viagens programadas e da autonomia do veículo, tornando possível a implementação de até 5 unidades de ônibus e por consequência a substituição completa da linha.

Em relação à viabilidade econômica, para ambos os cenários estabelecidos na seção 4.5.2 o primeiro ano seria de déficit. Para o cenário I apenas no terceiro ano de aplicação do estudo o lucro seria positivo, enquanto que para o cenário II, o segundo e terceiro ano já seriam de superávit, mostrando além disso, que a recuperação através dos créditos de carbono é extremamente significativa.

Determinou-se então que o cenário I não é viável economicamente, visto que seriam necessários cerca de 18 anos para obter-se o retorno do investimento. Já o cenário II é perfeitamente viável, apresentando uma taxa de retorno ao investimento inferior à seis meses após o término do período estipulado para construção da usina.

Portanto, diz-se que o estudo é viável tecnicamente e economicamente para o cenário II, no entanto para conjunção das viabilidades deve-se enquadrar a usina do aterro em Geração Distribuída, para que se possa fazer a geração e consumo remotos, sanando a necessidade energética dos ônibus na própria garagem, sem a necessidade de maiores investimentos.

Cabe ressaltar que a produção de biogás no aterro sanitário da Caximba tende a diminuir nos próximos 20 anos, implicando diretamente na geração de energia elétrica. Sendo assim, sugere-se para estudos futuros, a análise de instalação de uma usina termoeletrica no atual aterro

sanitário de Curitiba, até mesmo para que se possa abastecer um número maior de veículos elétricos, dentre outras possibilidades.

É possível ainda que se faça um estudo na logística de abastecimento dos ônibus, afim de realizar um maior aproveitamento da energia elétrica proveniente no aterro, sem que a energia excedente seja tão significativa, o que também sugere-se para futuros estudos analisar esta possibilidade.

Por fim este estudo comprova que a cidade de Curitiba tem potencial para aplicação de um projeto viável e autossuficiente que relaciona o uso de tecnologias diversas para um bem comum.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Informações Técnicas - Geração Distribuída**. 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/n8tYoT>>. Acesso em: 22 jun. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Matriz de Energia Elétrica 2017**. 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 22 jun. 2017.

ALIER, J. M. **O ecologismo dos pobres**. Editora Contexto, 2007.

ANDRADE, R. M. de; FERREIRA, J. A. A gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil frente às questões da globalização. **Rede-Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 6, n. 1, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. Abrelpe São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS - ANTP. **Sistema de Informações da Mobilidade Urbana - Relatório Geral 2011**. 2010.

BARDELIN, C. E. A. **Os efeitos do racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no consumo de energia elétrica**. 2004. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2004.

BERMANN, C. A perspectiva da sociedade brasileira sobre a definição e implementação de uma política energética sustentável—uma avaliação da política oficial. **Brasília, Brazil: Câmara dos Deputados**, 2002.

BETHA, R.; BALASUBRAMANIAN, R. Emissions of particulate-bound elements from stationary diesel engine: Characterization and risk assessment. **Atmospheric environment**, Elsevier, v. 45, n. 30, p. 5273–5281, 2011.

BOARETO, R. Anteprojeto de lei da política nacional de mobilidade urbana. **Ministério das Cidades**, 2005.

BOARETO, R. A política de mobilidade urbana e a construção de cidades sustentáveis. **Revista dos Transportes Públicos-ANTP-Ano**, v. 30, p. 31–2008, 2008.

BONI, V.; QUARESMA, S. J. Aprendendo a entrevistar: como fazer entrevistas em ciências sociais. **Em Tese**, v. 2, n. 1, p. 68–80, 2005.

BRUNN, S. D.; WILLIAMS, J.; ZEIGLER, D. J. **Cities of the world: world regional urban development**. Rowman & Littlefield, 2003.

C40 CITIES; INTER-AMERICAN DEVELOPMENT BANK - IDB. **Low carbon technologies can transform Latin America's bus fleet**. 2013. 50 p. Disponível em: <<https://goo.gl/G9NBsw>>. Acesso em: 24 abr. 2017.

CAMARGO, A.; CAPOBIANCO, J. P.; OLIVEIRA, J. A. P. Os desafios da sustentabilidade no período pós-rio-92. **Meio Ambiente Brasil: Avanços e Obstáculos Pós-Rio-92**, v. 27, p. 31, 2002.

CAPSTONE. **Produtos - C1000S**. 2017. Disponível em: <<https://www.capstoneturbine.com/products/c1000s>>. Acesso em: 21 out. 2017.

COELHO, S. T. Geração de energia a partir do biogás gerado por resíduos urbanos e rurais. **Florianópolis: CENBIO—Centro Nacional de Referência em Biomassas**. 12f.(Nota Técnica 7), 2001.

COELHO, S. T.; VELAZQUEZ, S. M. S. G.; SILVA, O. C. d. et al. Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto. **Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural**, SciELO Brasil, 2006.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. **Oficina Nacional: Transporte e Mudança Climática**. Brasília, 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/p5YSAB>>. Acesso em: 22 nov. 2016.

COSTA, E. A. V. G. Estudo dos constrangimentos físicos e mentais sofridos pelos motoristas de ônibus urbano da cidade do rio de janeiro. **Rio de Janeiro: Departamento de Artes e Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro**, 2006.

COSTA, R. C. d.; PIEROBON, E. C. Leilão de energia nova: análise da sistemática e dos resultados. **BNDES Setorial, Rio de Janeiro**, n. 27, p. 39–57, 2008.

CURITIBA. **Ônibus 100 % elétrico começa a ser testado na linha Barreirinha**. 2014. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/onibus-100-eletrico-comeca-a-ser-testado-na-linha-barreirinha/34720>>. Acesso em: 27 set. 2017.

DAVIS, M. **Planeta favela (tradução: Beatriz Medina)**. 2006.

DELBIN, A. **Bandeirantes Landfill Gas to Energy Project (BLFGE)**. 2012.

DEPUTADOS, C. dos; OLIVEIRA, A. M. d. F. et al. O desafio da mobilidade urbana. **Brasília: Edições Câmara**, 2015.

DOLLE, C. R. **A Matriz Elétrica Brasileira: Evolução Histórica e Perspectivas**. 2013. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, 2013.

DRAKAKIS-SMITH, D. **Third world cities**. 2. ed. London, Routledge, 2000.

ECOWOOD ASSESSORIA AMBIENTAL. **Inventário e Balanço de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Município de Curitiba**. 2015. Disponível em: <<http://www.solvi.com/wp-content/uploads/2016/08/RA-Solvi-2015-2016.pdf>>. Acesso em: 06 set. 2016.

ELETRA. **E-Bus: elétrico puro 100 % a bateria**. 2013. Disponível em: <<http://www.eletrabus.com.br/eletrico-puro/>>. Acesso em: 29 set. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Demanda de energia 2050. Estudos de Demanda de Energia**. 2014. Disponível em: <<https://goo.gl/sXXUZs>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanço Energético Nacional. Estudos de Demanda de Energia**. 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/UsdrfT>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

FARRET, F. A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. UFSM, 2010.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - FIESP. **Portal FIESP: Na FIESP Holanda mostra sua experiência sobre gerenciamento de resíduos sólidos**. 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/ngn4t1>>. Acesso em: 13 abr. 2017.

FILHO, F. d. E. S. **Estimativa do aproveitamento energético do biogás gerado por resíduos sólidos urbanos no Brasil**. 2013. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2013.

FILHO, J. A. **Matriz energética brasileira: da crise à grande esperança**. Mauad Editora Ltda, 2003.

G1. **Paraná RPC - Ônibus que poluem 90 % menos começam a circular em Curitiba**. 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2012/09/onibus-que-poluem-90-menos-comecam-circular-em-curitiba.html>>. Acesso em: 03 out. 2017.

GEHRING, C. G. et al. **Análise da geração de energia elétrica a partir do biogás produzido na fermentação anaeróbica de vinhaça**. 2014.

GIL, A. C. **Estudo de caso**. Editora Atlas, 2009.

GOMES, P. P.; VIEIRA, M. M. F. O campo da energia elétrica no Brasil de 1880 a 2002. **rap—rio de Janeiro**, SciELO Brasil, v. 43, n. 2, p. 295–321, 2009.

GREENPEACE. **Dossiê Ônibus Limpo: Benefícios de uma transição para combustíveis renováveis na frota de São Paulo**. São Paulo, 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/wTye9g>>. Acesso em: 02 abr. 2017.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente**. Cengage Learning Editores, 2003.

HIRANO, M. Y. Geração de energia por microturbina alimentada à biogás em uma propriedade rural: estudo de caso. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2015.

HIRANO, M. Y.; SILVA, C. L. da. Análise da viabilidade do uso de biogás gerado a partir de dejetos bovinos em microturbinas para fins de geração, cogeração e trigeração de energia. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 1, 2014.

HIRATA, K. **Schmidt theory for Stirling Engines**. Stirling Engine home page, 1995. Disponível em: <<http://www.bekkoame.ne.jp/khirata/>>. Acesso em: 06 jun. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo 2010**. 2010. Disponível em: <<https://goo.gl/TT7NAq>>. Acesso em: 22 ago. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Panorama de Curitiba**. 2016. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/panorama>>. Acesso em: 22 out. 2017.

INTERNATION FINANCE CORPORATION - IFC. **Gestão de Resíduos Sólidos de Curitiba**. 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/kAkuno>>. Acesso em: 18 set. 2016.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR LOCAL ENVIRONMENTAL INITIATIVES - ICLEI. **Manual para Aproveitamento de Biogás**. São Paulo, 2009. 80 p.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Transport Energy and CO2: Moving Towards Sustainability**. OECD Publishing, 2009.

JUCÁ, T.; FERNANDO, J. et al. Destinação final dos resíduos sólidos no brasil: situação atual e perspectivas. In: AIDIS. **Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 10. 2002. p. sp.

LANDIM, A. L. P. F.; AZEVEDO, L. P. d. O aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários: unindo o inútil ao sustentável. **BNDES Setorial, Rio de Janeiro**, n. 27, p. 59–99, 2008.

LUCION, A. P. S. **O Processo de urbanização do Brasil e as políticas urbanas: O Estatuto da Cidade Como instrumento de desenvolvimento sustentável do local**. 2006. Dissertação (Mestrado) — Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2006.

LUNA, S. V. d. Planejamento de pesquisa: uma introdução. In: **Trilhas**. Educ, 1999.

MACHADO, L. L. N. **Aspectos técnicos relacionados à geração de energia elétrica a partir do lodo de esgoto**. 2011.

MARCHI, C. M. D. F. Cenário mundial dos resíduos sólidos e o comportamento corporativo brasileiro frente à logística reversa. **Perspectivas em Gestão & Conhecimento**, v. 1, n. 2, p. 118–135, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário**. 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario>>. Acesso em: 20 set. 2017.

MORESI, E. et al. Metodologia da pesquisa. **Universidade Católica de Brasília**, p. 21, 2003.

NATAL, J. L. A. Transporte, ocupação do espaço e desenvolvimento capitalista no brasil: história e perspectivas. **Ensaio FEE**, v. 12, n. 2, p. 293–307, 1991.

NBR, A. 10.004 resíduos sólidos: Classificação. **Rio de Janeiro**, 2004.

NETO, J. Q. F.; BLOEMHOF-RUWAARD, J. M.; NUNEN, J. A. van; HECK, E. van. Designing and evaluating sustainable logistics networks. **International Journal of Production Economics**, Elsevier, v. 111, n. 2, p. 195–208, 2008.

NETO, P. N.; MOREIRA, T. A. Gestão de resíduos sólidos urbanos na região metropolitana de curitiba: política regional de compostagem. **Revista Geografar**, v. 4, n. 2, 2009.

OKAMURA, L. A. **Avaliação e melhoria do poder calorífico de biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos**. 2013. Dissertação (Mestrado) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

OLIVEIRA, M. de. A trajetória do discurso ambiental em Curitiba (1960-2000). **Revista de Sociologia e Política**, Universidade Federal do Paraná, n. 16, p. 97, 2001.

OLIVEIRA, R. D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono**. 2009.

OLIVER, A. d. P. M.; NETO, A. d. A. S.; QUADROS, D. G. d.; VALLADARES, R. E. Manual de treinamento em biodigestão. **Salvador: Winrock Internacional, 22p**, 2008.

ÔNIBUS DE CURITIBA. **SAIBA TUDO SOBRE O ÔNIBUS ELÉTRICO DA BYD QUE ESTÁ EM CURITIBA**. 2015. Disponível em: <<http://onibusdecuritiba.com/onibus-eletrico-byd-curitiba/>>. Acesso em: 03 out. 2017.

PAUTZ, E. R. **Estudo e projeto de um motor stirling**. 2013.

PEREIRA, S. S.; MELO, J. A. B. de. Gestão dos resíduos sólidos urbanos em Campina Grande/PB e seus reflexos socioeconômicos. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 4, n. 4, 2009.

RIBEIRO, S. K.; COSTA, C. d. V.; DAVID, E. G.; REAL, M. V.; D'AGOSTO, M. d. A. Transporte e mudanças climáticas. **Rio de Janeiro: Mauá**, 2000.

ROHSTOFFE, F. N. Guia prático do biogás: Geração e utilização. **Ministério da Nutrição, Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha**, 2010.

SCHMIDT, C. A. J.; LIMA, M. A. A demanda por energia elétrica no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, SciELO Brasil, v. 58, n. 1, p. 68–98, 2004.

SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE - SMMA. **Portal da Prefeitura de Curitiba - Limpeza Pública**. 2016. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/aterro-sanitario-smma/454>>. Acesso em: 18 set. 2017.

SENADO FEDERAL. **Revista Em Discussão: Lixões persistem**. 2014. Disponível em: <<https://goo.gl/Saf73v>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS - SEBRAE. **INICIATIVA SUSTENTÁVEL - O que é crédito de carbono**. 2016. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-e-credito-de-carbono,106d438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

SILVA, C. L. da; RABELO, J. M. de O.; BOLLMANN, H. A. Energia no lixo - uma avaliação da viabilidade do uso do biogás a partir de resíduos sólidos urbanos. **IV Encontro Nacional da Anppas 4,5 e 6 de junho de 2008 Brasília - DF – Brasil**, 2008.

SILVA, E. F. **Meio ambiente & mobilidade urbana**. Senac, 2014.

SOLVI. **Relatório Anual 2013**. 2012. Disponível em: <<http://www.solvi.com/wp-content/uploads/2015/03/relatorio-solvi-por-2012.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2017.

SOLVI. **Relatório Anual 2016**. 2015. Disponível em: <<http://www.solvi.com/wp-content/uploads/2016/08/RA-Solvi-2015-2016.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2017.

THRÄN, A.; WITT, J.; HENNIG, C.; DANIEL-GROMKE, J.; RENSBERG, N.; SCHWENKER, A.; SCHEFTELOWITZ, M.; WIRKNER, R.; VETTER, A.; GRAF, T. et al. Monitoring zur wirkung des erneuerbare-energien-gesetzes (eeg) auf die entwicklung der stromerzeugung aus biomasse. zwischenbericht,entwicklung der stromerzeugung aus biomasse 2008—on behalf of the german federal ministry for the environment. **Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU)**, 2009. Disponível em: <http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/zwischenber_mon_bio.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2017.

TOLMASQUIM, M. T. **Fontes renováveis de energia no Brasil**. CENERGIA, COPPE-Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação em Engenharia, UFRJ-Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma perspectiva. **Novos estudos-CEBRAP**, SciELO Brasil, n. 79, p. 47–69, 2007.

UNITED KINGDOM. **National Renewable Energy Action Plan for the United Kingdom**. Article 4 of the Renewable Energy Directive, 2009.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP. **Solid Waste Management, United Nations Environment Programme**. 2005.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP. **Global Waste Management Outlook, United Nations Environment Programme**. 2015. Disponível em: <<https://www.unep.org/ietc/what-we-do/global-waste-management-outlook-gwmo>>. Acesso em: 07 set. 2017.

URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S. A. - URBS. **Sustentabilidade. Transporte**. 2013. Disponível em: <<https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/transporte/sustentabilidade>>. Acesso em: 24 nov. 2016.

URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S. A. - URBS. **Dados da frota de ônibus de Curitiba - Fornecido via e-mail pela URBS**. 2017.

VASCONCELLOS, E. A. de. **Transporte e meio ambiente: conceitos e informações para análise de impactos**. Annablume Editora, 2006.

VOLVO. **Ônibus Híbrido**. 2014. Disponível em: <<https://goo.gl/7GMwhk>>. Acesso em: 03 out. 2017.

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

WILLUMSEN, H. C. **Landfill Gas Plants - Number and Types Worldwide**. Simpósio Internacional de Aterros Sanitários. Sardenha, Itália, 2003.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos. Tradução Daniel Grassi**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

ZANETTE, A. L. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil**. 2009. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

ANEXO A – FLUXO DE CAIXA

Cenário I			
n	pgto	TIR Cenário I	-0,56%
0	-R\$ 3.360.500,00	VPL	-R\$ 0,00
1	-R\$ 4.558.425,65		
2	R\$ 441.574,35		
3	R\$ 441.574,35		
4	R\$ 441.574,35		
5	R\$ 441.574,35		
6	R\$ 441.574,35		
7	R\$ 441.574,35		
8	R\$ 441.574,35		
9	R\$ 441.574,35		
10	R\$ 441.574,35		
11	R\$ 441.574,35		
12	R\$ 441.574,35		
13	R\$ 441.574,35		
14	R\$ 441.574,35		
15	R\$ 441.574,35		
16	R\$ 441.574,35		
17	R\$ 441.574,35		
18	R\$ 441.574,35		

Cenário II			
n	pgto	TIR Cenário II	68,89%
0	-R\$ 3.360.500,00	VPL	-R\$ 0,00
1	-R\$ 2.211.825,65		
2	R\$ 13.321.324,91		