

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

ÁQUILA BORBA NOLE

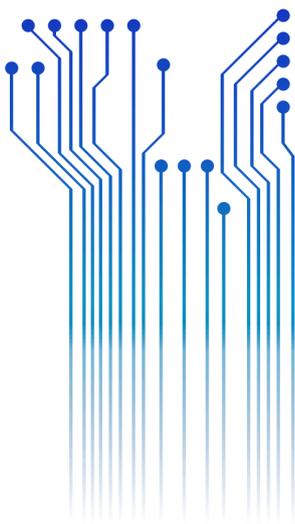


Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE USINAS GERADORAS DE ENERGIA ELÉTRICA A  
PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande  
2017

ÁQUILA BORBA NOLE

VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE USINAS GERADORAS DE ENERGIA ELÉTRICA A  
PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Gerenciamento de Energia

Orientador:  
Ubirajara Rocha Meira, M. Sc.

Campina Grande 2017

ÁQUILA BORBA NOLE

VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE USINAS GERADORAS DE ENERGIA ELÉTRICA A  
PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Gerenciamento de Energia

Aprovado em        /        /

**Leimar de Oliveira, M. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Ubirajara Rocha Meira, M. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha toda minha família, em especial a minha futura esposa Letícia, que me acompanhou e auxiliou durante todo o decorrer dessa jornada.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, por minha saúde e por ter me providenciado com as condições necessárias para realização desta etapa.

Agradeço também aos meus pais, Ana e Félix, por terem se esforçado tanto para me proporcionar uma boa educação, sendo possível que eu pudesse apenas me dedicar aos meus estudos.

Agradeço também a minha irmã e todo o resto de minha família, que sem dúvida foram extremamente importantes para que eu chegasse esta etapa da minha vida.

Agradeço também a todos os meus amigos, alguns deles que carrego comigo desde a mais tênue idade.

Agradeço especialmente a minha futura esposa Letícia, que não mediu esforços para me apoiar e ajudar sempre que foi preciso, estando ao meu lado nos altos e baixos desta jornada, e que sem dúvida contribuiu para a formação de quem eu sou hoje.

*“Somos o que fazemos repetidamente.  
A excelência, portanto, não é um ato,  
mas um hábito.”*

Aristóteles

## RESUMO

O correto gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) mostra-se cada vez mais como uma tarefa que demanda ações diferenciadas e articuladas, visto que sua geração vem crescendo gradativamente no decorrer dos anos. Sendo assim, um dos maiores desafios está em encontrar soluções ambientalmente seguras, socialmente adequadas e economicamente viáveis para equacionar este problema. Todavia, se corretamente aproveitados, estes resíduos podem ser bastante úteis do ponto de vista energético. Este trabalho tem por objetivo mostrar a incineração como alternativa para tratamento de resíduos sólidos urbanos em cidades de médio porte no país, sendo esta tecnologia avaliada para os dados recolhidos na cidade de Campina Grande-PB.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos urbanos, incineração, recuperação de energia, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos.

## ABSTRACT

The correct management of urban solid waste (MSW) is increasingly seen as a task that demands differentiated and articulated actions, since its generation has been growing gradually over the years. Therefore, one of the major challenges is to find environmentally safe, socially adequate and economically viable solutions to address this problem. However, if properly utilized, these wastes can be very useful from an energetic point of view. This work aims to show incineration as an alternative for treatment of urban solid waste in medium-sized cities in the country, and this technology was evaluated for the data collected in the city of Campina Grande-PB.

**Keywords:** Solid urban waste, incineration, energy recovery, solid waste management and management.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Disposição final de RSU na Região Norte(t/dia).....	32
Figura 2 - DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU NA REGIÃO NORDESTE (T/DIA) .....	33
Figura 3 - DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU NA REGIÃO CENTRO-OESTE (T/DIA) 34	
Figura 4 -Disposição final de RSU na região Centro- Oeste (t/dia) .....	35
Figura 5 - Disposição final de RSU na Região Sul (t/dia).....	36
Figura 6 - PROCESSO DE CONTROLE DE RSU.....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Produção de energia a partir da combustão de resíduos sólidos.....	21
Tabela 2- Condição de viabilidade de projetos.....	27
Tabela 3- Resultado da Avaliação .....	29
Tabela 4- Recursos Aplicados na Coleta de RSU.....	31
Tabela 5- Recursos aplicados na coleta de RSU e demais serviços de limpeza urbana na Região Norte .....	32
Tabela 6- Recursos aplicados na coleta de RSU e demais serviços de limpeza urbana na Região Nordeste.....	33
Tabela 7- Recursos aplicados na coleta de RSU e demais serviços de limpeza .....	34
Tabela 8- Recursos aplicados na coleta de RSU e demais serviços de limpeza urbana na Região Sudeste.....	35
Tabela 9 - Recursos aplicados na coleta de RSU e demais serviços de limpeza urbana na Região Sul.....	36
Tabela 10- Características do Projeto .....	41
Tabela 11- Estimativas das Receitas do Projeto .....	42
Tabela 12- Dados de viabilidade para o cenário otimista .....	42
Tabela 13- Dados de viabilidade econômica anos 11-20 (cenário otimista) .....	43
Tabela 14- Dados de viabilidade econômica anos 11-20 (cenário otimista) .....	44
Tabela 15- Dados de viabilidade econômica anos 11-20 (cenário otimista) .....	44
Tabela 16- Dados de viabilidade econômica anos 11-20 (cenário otimista) .....	45
Tabela 17- Dados de viabilidade econômica anos 11-20 (cenário otimista) .....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

VPL	Valor Presente Líquido
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TIR	Taxa Interna Retorno
IRR	<i>Internal Rate Return</i>
FCt	Retorno do fluxo de caixa na data t
RSU	Resíduo Sólidos Urbano
DA	Digestão Anaeróbia
H <sub>2</sub>	Gás Hidrogênio
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CH <sub>4</sub>	Gás Metano
MWh	Megawatt hora
kV	Quilovolt
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABLP	Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública
O&M	Operação e Manutenção
WTERT	<i>Waste-to-Energy Research and Technology</i>
PCI	Poder Calorífico Inferior
TJLP	Taxa de Juros de Longo Prazo
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

# SUMÁRIO

1	Introdução.....	16
1.1	Motivação .....	17
1.2	Objetivos .....	17
1.3	Estrutura do trabalho.....	18
2	Revisão Bibliográfica.....	19
2.1	Estudo das principais tecnologias de geração de energia elétrica a partir RSU 19	
2.1.1	Combustão .....	19
2.1.2	Digestão Anaeróbica.....	21
2.1.3	Gaseificação.....	22
2.1.4	Pirólise .....	23
2.1.5	Incineração.....	24
2.2	Estudo de técnicas para a análise de viabilidade econômica .....	25
2.2.1	Método do Valor Presente Líquido (VPL).....	25
2.2.2	Método da Taxa Interna de Retorno (TIR) .....	27
2.2.3	Análise de sensibilidade.....	30
2.3	Situação atual de resíduos sólidos no país por região.....	30
	Fonte: Abrelpe (2015) .....	31
2.3.1	Região Norte .....	31
	Fonte: Abrelpe (2015).....	32
2.3.2	Região Nordeste.....	32
	Fonte: Abrelpe (2015).....	33
2.3.3	Região Centro-Oeste .....	33
	Fonte: Abrelpe (2015).....	34
	Fonte: Abrelpe (2015).....	34
2.3.4	Região Sudeste.....	34
	Fonte: Abrelpe (2015).....	35
2.3.5	Região Sul .....	35
2.4	Avaliação do potencial de geração de energia elétrica a partir de RSU .....	36

3	Metodologia .....	39
3.1	Características técnico-econômicas .....	39
3.1.1	Capacidade e investimentos iniciais .....	39
3.1.2	Receitas geradas pelo projeto.....	41
4	Resultados .....	47
4.1	Análise econômica.....	47
4.2	Impactos socioeconômicos .....	47
5	Conclusão .....	49
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

# 1 INTRODUÇÃO

O aumento desordenado da população e o crescimento sem planejamento de grandes núcleos urbanos dificultam as ações e o manejo dos resíduos. As atividades humanas nas últimas décadas geraram um acelerado aumento na produção de resíduos, tornando-se um grave problema para as administrações públicas, estes muitas vezes são depositados em locais não preparados para recebê-los, como lixões, podendo provocar graves problemas socioambientais.

Diante disso, torna-se, muito vantajoso um projeto de tratamento de resíduos sólidos urbanos com recuperação de energia. Visto que o Brasil, recentemente enfrentou uma crise energética sem precedentes. A falta de investimentos no setor e o aumento gradativo do consumo de energia elétrica culminaram com o estabelecimento da crise que afetou a população brasileira no início do novo milênio.

No decorrer da última década pôde-se constatar que a grande dependência de fontes hídricas para a geração de energia elétrica pode acarretar sérios problemas, isto ocorre devido ao fato de estas fontes serem sensíveis a variação climática das regiões em que estão situadas. No que diz respeito ao cenário brasileiro, a redução incessante dos níveis dos reservatórios hídricos vem comprometendo a geração de energia a partir de usinas hidrelétricas, revelando a atual necessidade de uma maior diversificação da matriz energética brasileira.

Em paralelo ao problema de suprimento de energia, o desenvolvimento econômico brasileiro vem gerando outra preocupação. O consumo crescente de produtos duráveis e/ou descartáveis, tem provocado sensível aumento do volume e diversificação dos resíduos sólidos gerados pela população. Deste modo, o encargo de gerenciar esses resíduos tornou-se uma tarefa que demanda ações diferenciadas e articuladas. O grande desafio consiste, portanto, em encontrar soluções ambientalmente seguras e eficientes para os problemas de geração de resíduos em grandes quantidades.

Por outro lado, estes resíduos, se adequadamente gerenciados, podem ser aproveitados do ponto de vista energético. Vários países da Europa e da América do Norte utilizam energia a partir de resíduos sólidos urbanos para vários fins, tais como: aquecimento, geração de energia elétrica e como combustível veicular.

Sendo assim, a geração de energia elétrica a partir de RSU (resíduos sólidos urbanos) mostra-se como uma alternativa bastante atrativa no que diz respeito à redução do problema energético brasileiro, bem como ao aproveitamento dos dejetos gerados pelas cidades.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

O consumo crescente e os impactos ambientais e sociais causados pelas fontes de energias tradicionais têm levado o poder público, privado e a comunidade científica a pensarem em novas alternativas para a geração de energia.

Nesse contexto, a geração de energia a partir de resíduos sólidos vem apresentando-se como uma alternativa possível, com vistas ao desenvolvimento sustentável. Deve-se considerar que esta prática pode incentivar o desenvolvimento de práticas sanitárias adequadas (implantação de aterros sanitários, estações de triagem, coleta seletiva, incineradores), em decorrência da atratividade dos projetos para a iniciativa privada. Outras vantagens do aproveitamento energético dos RSU podem ser enumeradas, destacando-se: geração de emprego, transferência de tecnologia, substituição de combustíveis fósseis.

## 1.2 OBJETIVOS

O trabalho proposto – que toma como ponto de partida uma revisão bibliográfica sobre tecnologias disponíveis para aproveitamento de energia a partir de resíduos e efetua a análise de projetos de recuperação energética a partir RSU – visa a propor diretrizes para o aproveitamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) para a geração de energia elétrica, levando em consideração as especificidades da realidade brasileira. Espera-se, desse modo, que os resultados obtidos a partir deste trabalho venham contribuir para a formulação de políticas públicas mais eficazes relacionadas ao gerenciamento integrado de resíduos sólidos e de fontes alternativas de energia.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Inicialmente, no Capítulo 1 pode ser vista uma introdução geral sobre o tema, proporcionando ao leitor uma visão do que será tratado no trabalho.

O Capítulo 2 apresenta o embasamento teórico necessário para a realização do trabalho, mostrando as principais tecnologias de geração de energia a partir de RSU, bem como a explicação dos métodos de análise econômica que foram utilizados para a aquisição de resultados. Não obstante, o leitor também poderá contemplar a situação atual dos RSU no Brasil.

No Capítulo 3, o trabalho começa a tratar da metodologia que foi utilizada para a obtenção dos resultados, mostrando também como foram adquiridos os valores para a análise econômica.

O Capítulo 4 apresenta ao leitor a análise dos resultados obtidos, fazendo um estudo do ponto de vista econômico, social e ambiental.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões extraídas a partir da análise dos resultados, em que pode ser feita a correta interpretação dos valores gerados pelos métodos de análise.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo tem por finalidade apresentar ao leitor os principais tipos de tecnologias utilizadas para geração de energia elétrica a partir de RSU, fazendo um apanhado geral de quais delas vem se destacando no cenário mundial, bem como os principais desafios que tem encontrado. Além disso, neste capítulo são vislumbradas as principais técnicas para estudo de viabilidade econômica de qualquer tipo de projeto, de forma a munir o leitor com as informações necessárias para compreender as aplicações de tais métodos ao estudo do caso específico. Não obstante, também são apresentados os dados que mostram a situação dos RSU no Brasil atualmente, de forma a dar suporte a motivação deste trabalho.

### 2.1 ESTUDO DAS PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR RSU

O aproveitamento do lixo para a geração de energia, que é uma das práticas de gerenciamento do lixo, ocorre através do uso de tecnologias de recuperação de energia. De acordo com Souza, Gaia e Rangel (2010), a biomassa é a energia gerada a partir de material vegetal que pode ser transformada em energia por meio, da combustão à queima direta, a digestão anaeróbica, gaseificação, pirólise, incineração. A conversão de energia química armazenada nos resíduos em calor, vapor e eletricidade é conhecida como tecnologia de recuperação da energia contida em resíduos. Estas tecnologias reduzem o volume do lixo, ao mesmo tempo em que o utilizam para a produção de energia elétrica e de subprodutos.

#### 2.1.1 COMBUSTÃO

No decorrer dos anos, a tecnologia foi sendo desenvolvida, ao se fazer evoluir o conhecimento do processo e da influência de parâmetros operacionais na viabilidade técnica, econômica e ambiental da tecnologia. A combustão convencional é a tecnologia predominante para produção de energia a partir de resíduos sólidos urbanos (Hershfield,

2011) e, segundo Stantec (2011), foi criada há mais de 100 anos para este fim. As primeiras tentativas de se usar fornalhas para reduzir o lixo são consideradas como datadas de 1870 na Inglaterra (Stantec, 2011).

O calor – produzido pela combustão do insumo – aquece uma caldeira, produzindo o vapor que moverá uma turbina e um gerador, para geração de energia elétrica. Além de eletricidade, pode-se obter calor como subproduto, ou vapor. O aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos pela Combustão Convencional é feito através da recuperação da energia gerada na queima do lixo. A abordagem mais comum da combustão convencional é a Combustão à Queima Direta, com cerca de 800 plantas ao redor do mundo (Stantec, 2011), sendo a mais utilizada (Themelis, 2008; Stantec 2011; Hershfield 2011 e CH2MHILL,2009).

Só se é possível produzir eletricidade a partir do biogás que é retirado do lixo por meio da combustão que é realizada da seguinte maneira: o biogás é queimado e essa queima resulta em energia mecânica que por sua vez ativa os pistões dos motores de combustão interna, e após essa movimentação é transformado em energia elétrica. Devido à agressividade dos gases da combustão do lixo, a temperatura do vapor na caldeira deve ser baixa, em geral próxima a 200°C, de modo que o rendimento da geração de energia elétrica se limita, tipicamente, a valores ao redor de 20% (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2008).

A Combustão à Queima Direta é a opção mais simples e menos custosa para geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos (EPRI, 2011; Psomopoulos et al., 2008). Além desta tecnologia, que abrange cerca de 90% das usinas de combustão de resíduos sólidos urbanos na Europa (Stantec, 2011), há aquelas de Leito Fluido e de Duplo Estágio. As usinas modernas geram entre 550 a 600 kWh por tonelada de resíduos sólidos (EPRI, 2011) – esse valor depende, no entanto, de diversos fatores, como composição do lixo, seu poder calorífico, a eficiência da combustão, entre outros.

Nesta tecnologia, só um mínimo de processamento do lixo é necessário: remoção de itens muito grandes, prejudiciais ao processo, e de objetos que possam contaminar o fluxo do lixo. A Combustão à Queima Direta aceita como insumo os resíduos sólidos urbanos (RSU) e biomassas (Stantec, 2011).

É interessante notar que a geração de energia a partir do carvão proporciona maior output por tonelada de insumo, como indicado acima. No entanto, a geração a carvão não é solução para o gerenciamento do lixo. A comparação entre a geração termelétrica convencional e a geração a resíduos sólidos deve levar em conta não somente a

quantidade de energia gerada, mas, também, os benefícios relacionados (e.g., abatimento de emissões de gases do efeito estufa), que precisam ser quantificados (QUARESMA, 2013).

Tabela 1- Produção de energia a partir da combustão de resíduos sólidos

<b>Tecnologia de Combustão Convencional</b>	<b>Produção de Energia (kWh/tonelada de RSU)</b>
Antiga	500 a 600
Moderna	750 a 850

Fonte: QUARESMA, 2013

O aumento da eficiência evidenciado na Tabela I indica o aperfeiçoamento do processo ao longo do tempo, refletindo a busca por melhoras, a busca por conhecimento sobre os parâmetros que influenciam o processo e por seu controle (QUARESMA 2013).

### 2.1.2 DIGESTÃO ANAERÓBICA

Digestão anaeróbia (DA) é o processo biológico que dá origem à formação de biogás a partir da degradação de compostos orgânicos. Esse é um processo de digestão orgânica que ocorre naturalmente em ambientes onde a presença de oxigênio livre é muito reduzida ou inexistente. Consequentemente, a fração de um composto pode ser convertida em biogás sob condições anaeróbias, mediada por um consórcio de microorganismos (GUWY, 2004). Este é um processo biológico que ocorre naturalmente em aterros. A tecnologia de DA, por sua vez, faz o uso de recipientes fechados (digestores), com características específicas, para otimizar e controlar a produção de biogás, através do controle do processo.

A digestão anaeróbica é consequência de uma série de interações metabólicas com a atuação de diversos grupos de microorganismos. A produção de metano ocorre em um espectro amplo de temperaturas, mas aumenta significativamente em duas faixas, ditas mesofílica - entre 25-40°C, e termofílica - entre 50-65° (NASCIMENTO, 2009).

Diferentemente do aproveitamento do biogás de aterro sanitário, o processo de digestão anaeróbica resulta em uma produção constante do combustível ao longo da vida útil das instalações. Além disso, a própria vida útil do aterro é consideravelmente estendida uma vez que, em adição à necessária separação prévia dos recicláveis não digeríveis, a quantidade de resíduos retornados ao aterro não ultrapassa 35% da

quantidade original, o que reduz o volume do material acumulado no aterro (ARSOVA, 2010).

Os insumos utilizados na digestão anaeróbica compreendem materiais orgânicos, como resíduos pastoris, resíduos da agricultura, restos de alimentos, lodo de esgoto, e frações biodegradáveis dos resíduos sólidos urbanos. Para este último, seleção e pré-tratamento devem ser aplicados para separação dos resíduos recicláveis e não combustíveis, e isolamento dos materiais orgânicos que serão introduzidos no digestor (EPRI, 2011). A tecnologia da digestão anaeróbica é mais apropriada do que a combustão, quando são tratados resíduos com alto conteúdo úmido – caso em que a queima do material na fornalha seria dificultada (Rapport et al., 2008).

### 2.1.3 GASEIFICAÇÃO

A gaseificação do lixo produz gás de síntese (synthesis gas ou syngas), que é constituído de uma mistura de gás hidrogênio ( $H_2$ ) e monóxido de carbono (CO), principalmente, e de quantidades menores de metano ( $CH_4$ ), vapor de água, e outros (EPRI, 2011). A gaseificação, para tratamento do lixo, compreende o aquecimento dos resíduos sólidos urbanos a temperaturas acima de  $700^\circ C$ , em um ambiente com quantidade reduzida de oxigênio, que permita a oxidação parcial do insumo, mas que impeça sua combustão (EPRI, 2011). O principal subproduto sólido do processo é a escória vítrea, um produto quimicamente inerte que pode ser reutilizado como material agregado (EPRI, 2011).

Os resíduos sólidos urbanos enviados ao processo passam por pré-processamento (e.g., seleção, trituração, secagem) e também são pré-aquecidos antes de entrarem no gaseificador, objetivando a homogeneização do insumo, a redução de seu conteúdo úmido e sua secagem. A gaseificação funciona de modo a volatilizar e oxidar parcialmente os insumos carbônicos para geração de gás de síntese, que poderá, em seguida, ser utilizado para produção de calor e/ou eletricidade, de combustíveis líquidos (pelo processo Fischer-Tropsch, por exemplo) ou gasosos, ou de produtos químicos (QUARESMA, 2013).

As altas temperaturas obtidas fazem com que o material orgânico dos resíduos sólidos seja dissociado em gás de síntese, que é processado, em seguida, para que se remova vapor de água e contaminantes, de modo a condicioná-lo ao uso em produção de energia e químicos (Stantec, 2011). Dentro do gaseificador, acrescenta-se oxigênio, que, junto ao calor inicial injetado, oxidará parcialmente uma porção do insumo, formando

CO<sub>2</sub> e liberando calor, e fará com que temperaturas de até 2000°C sejam alcançadas (CH2MHILL, 2009; e Stantec, 2011). Ressalta-se que, diferente da combustão, a quantidade de oxigênio é escassa, havendo somente o suficiente para que o processo da gaseificação do insumo ocorra, oxidando-o parcialmente. No caso da tecnologia de combustão, há um excesso de oxigênio (comburente).

#### 2.1.4 PIRÓLISE

É o processo de decomposição química por calor na ausência de oxigênio. Através da pirólise a matéria orgânica pode ser convertida em diversos subprodutos como o óleo combustível, alcatrão, gases combustíveis, sulfato de amônia e char (LIMA, 2004).

O processo necessita de uma fonte externa de calor para aquecer a matéria e pode fazer a temperatura variar entre 300°C a mais de 1000°C, o conceito em si é bem amplo sendo que qualquer processo térmico com temperaturas superiores a 300°C, na ausência de oxigênio, pode ser considerado método de pirólise. Inicialmente, é possível fazer uma distinção quanto aos parâmetros de operação, como tempo de residência dos resíduos e a temperatura a qual ele é submetido (CONTI, 2009), pirólise lenta a 400°C de longa permanência com rendimento de 35% de gases, pirólise rápida 400°C a 600°C de curta permanência com rendimento de 15% de gases, e flash pirólise 800°C de curta permanência com rendimento de 85% de gases.

A tecnologia eleita no projeto Furnas UTR-PLTR é uma evolução da tecnologia de pirólise lenta, propriedade da parceria MAIM/INNOVA, ela pode tratar uma grande variedade de matrizes orgânicas, até as de mais baixa qualidade como os resíduos sólidos urbanos, tem a capacidade de transformar os gases obtidos em um gás de síntese limpo, podendo ser utilizado em grupos geradores a gás. Nesse sentido, considerando os aspectos técnicos de construção, é possível desenvolver sistemas compactos ou em módulos, que assim viabilizam economicamente sistemas de minigeração a partir de resíduos sólidos (RODRIGUES, et al 2014).

A tecnologia de transformação dos resíduos sólidos em gás de síntese da MAIM/INNOVA purifica o gás por meio de um processo de lavagem e transforma o gás de síntese limpo, sem nenhum agente contaminante, diferente das tecnologias tradicionais desse tipo, e fornece um gás de síntese pronto para utilização na geração de energia elétrica e térmica em grupos geradores a gás (RODRIGUES, et al 2014).

Sendo que os sistemas de pirólise, na ausência de ar, permitem alcançar eficiências termodinâmicas superiores e melhores resultados de emissão através da remoção de substâncias nocivas antes da fase de combustão; o gás de síntese produzido é melhor para o aproveitamento energético pois é mais rico que o obtido através de processos de gaseificação, visto que não utilizam nenhuma forma de oxidação; as instalações do sistema podem ter dimensões compactas, podendo ser implantadas em áreas de aproximadamente 2000 m<sup>2</sup>; alta aceitação da comunidade local devido ao baixo impacto no território e no ambiente; ótimo rendimento global de conversão dos resíduos em calor, com significativa produção de energia elétrica; redução da dependência da utilização de aterros sanitários; a tecnologia pode tratar diferentes resíduos como: hospitalares, de reciclagem de automóveis, lodo de ETEs e biomassa, em geral os mais comuns produzidos nos municípios (RODRIGUES, et al 2014).

#### 2.1.5 INCINERAÇÃO

A incineração de lixo é um processo complexo, que inclui as etapas de secagem, ignição, pirólise, gaseificação e combustão de sólidos e gases (Madsen, 2009). Estas etapas ocorrem em zonas específicas da fornalha, e são, em sua maioria, difíceis de controlar, porque se lida com a combustão e gaseificação de combustíveis sólidos heterogêneos, e da combustão de gases, acima das camadas de lixo e dentro delas. É possível se controlar, no entanto, a combustão dos gases através da temperatura na fornalha e da concentração de gases (Madsen, 2009), que ocorre em um ambiente rico em oxigênio, a uma temperatura entre 700°C e 1350°C (CH2MHILL, 2009).

A incineração tem sido utilizada como um método para processar resíduos desde o início do século XVIII. Durante as últimas décadas ela tem sido amplamente utilizada, estabelecendo tecnologia confiáveis com modernas facilidades. Modernas plantas de incineração estão agora quase todas sendo construídas com aproveitamento energético.

A incineração é um processo complementar ao aterramento e aos programas de reciclagem, conhecidos como 3 R's (Reduzir na fonte, Reutilizar e Reciclar) na medida em que estes sejam economicamente viáveis localmente. (CALDERONI, 1999)

O primeiro incinerador municipal no Brasil foi instalado em 1896 em Manaus para processar 60 toneladas por dia de lixo doméstico, tendo sido desativado somente em 1958 por problemas de manutenção. Um equipamento similar foi instalado em Belém e desativo em 1978 pelos mesmos motivos (MENEZES, 2000).

A incineração pode ser ambientalmente correta e aliada da proteção do meio ambiente, desde que estas plantas sejam operadas por equipes qualificadas e treinadas; sejam dotadas de equipamento eficazes quanto ao controle de poluição, bem como, de técnicas adequadas de disposição final dos resíduos gerados; e sejam monitoradas e acompanhadas pela comunidade e pelos agentes ambientais, públicos e privados (MORGADO, et 2006).

## 2.2 ESTUDO DE TÉCNICAS PARA A ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Segundo Moura (2000), a avaliação de investimentos necessitará considerar o valor do dinheiro no tempo. Além disso, existem alguns índices utilizados em engenharia econômica que nos permitirão concluir sobre qual será a melhor escolha.

De acordo com Helfert (2000), investimento é a força motriz básica da atividade empresarial. É a fonte de crescimento que sustenta as estratégias competitivas explícitas da administração. Para análise de investimentos podem-se adotar alguns tipos de métodos de análises, tais como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Análise de Sensibilidade.

### 2.2.1 MÉTODO DO VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

Para Souza (2003) o valor presente líquido corresponde “a diferença entre o valor presente das entradas líquidas de caixa associadas ao projeto e o investimento inicial necessário”. É considerado atraente todo o investimento maior ou igual a zero (KASSAI et al., 2000). Gitman (2001) afirma que o Valor Presente Líquido é uma técnica de orçamento sofisticada. O seu valor é determinado subtraindo-se do valor inicial de um projeto, o valor presente das entradas líquidas de caixa, descontadas a uma taxa igual ao custo do capital da empresa (LEMES JÚNIOR, et al., 2002). O VPL é um dos instrumentos mais utilizados para se avaliar propostas de investimentos de capital (KASSAI et al., 2000).

Conforme Lemes Júnior (2002) utilizar o VPL para a tomada de decisões facilita o alcance do principal objetivo do administrador financeiro, que é de maximizar a riqueza do acionista ou proprietário. De acordo com Laponi (2000) o VPL é o método de

avaliação que mostra a contribuição do projeto de investimento no aumento do valor da empresa.

Quanto maior o VPL, maior a atratividade do projeto, porque as entradas são maiores que as saídas de caixa. Considerando que alternativas de investimento são analisadas com base na mesma TMA, a melhor opção será aquela que apresentar o maior valor presente (LINDEMEYER, 2008).

A análise do VPL é baseada na utilização do custo de capital, que consiste em descontar os fluxos de caixa futuros, aceitando assim o projeto cujo valor de VPL for positivo, e rejeitando os projetos com valor negativo. Para a obtenção do VPL é necessária a aplicação de matemática financeira, consistindo em trazer para o momento presente o fluxo de caixa dos “n” períodos de um projeto, a uma taxa de juros conhecida e descontar o valor do investimento inicial, chegando-se com isto ao VPL (PIRES, 2011).

O cálculo do valor presente líquido (VPL) está apresentado na equação (1), ele consiste em transferir para o instante atual todas as variações de caixa esperadas, descontá-las a uma determinada taxa de juros, e somá-las algebricamente (PIRES, 2011).

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

Em que VPL é o valor presente líquido; “I” é o investimento de capital na data zero, “FC<sub>t</sub>” representa o retorno na data t do fluxo de caixa; “n” é o prazo de análise do projeto; e, “i” é a taxa mínima para realizar o investimento, ou custo de capital do projeto de investimento (PONCIANO et al., 2004).

O Valor Presente Líquido (VPL) é um bom coeficiente para a determinação do mérito do projeto, uma vez que ele representa, em valores atuais, o total de recursos que permanecem em mãos da empresa ao final de toda a sua vida útil, ou seja, o VPL representa o retorno líquido atualizado gerado pelo projeto (BUARQUE, 2004).

Para Fonseca (2003), as principais vantagens do VPL são:

1. Identificar se há aumento ou não do valor da empresa;
2. Analisar todos os fluxos de caixa;
3. Permitir a adição de todos os fluxos de caixa na data zero;
4. Considerar o custo de capital;

5. Embutir o risco no custo de capital. A principal dificuldade deste método seria a definição da taxa de atratividade do mercado, principalmente quando o fluxo é muito longo.

### 2.2.2 MÉTODO DA TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é um índice relativo que mede a rentabilidade do investimento por unidade de tempo, necessitando para isso, que haja receitas envolvidas, assim como investimentos. Assim, quando o VPL é zero, encontra-se o ponto de equilíbrio econômico do projeto. Desta forma, não haverá criação nem destruição de valor (ROSS et al., 2009). Com a TIR, procura-se determinar uma única taxa de retorno para sintetizar os méritos de um projeto. Essa taxa é dita interna, no sentido de que depende somente dos fluxos de caixa de certo investimento, e não de taxas oferecidas em algum outro lugar (LEMES JÚNIOR, et al., 2002).

A Taxa Interna de Retorno (TIR) ou Internal Rate Return (IRR) é uma das formas adequadas para se avaliar propostas de investimentos de capital. Representa segundo Cohen e Franco (2000), a rentabilidade média do dinheiro utilizado no projeto durante toda a sua duração.

A Taxa Interna de Retorno (TIR), na equação (2), de um projeto é a taxa que torna nulo o VPL do fluxo de caixa do investimento. Logo, é a taxa que torna o valor presente dos lucros futuros equivalentes aos dos gastos realizados com o projeto, caracterizando, assim, a taxa de remuneração do capital investido. Pode ainda ser entendida como a taxa de remuneração do capital (PIRES, 2011).

$$0 = -1 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t}$$

É considerado rentável o investimento que apresentar  $TIR > TMA$ . Ela iguala o Valor Presente Líquido a zero, e é uma das formas mais completas de analisar as propostas de investimentos de capital (PEREIRA, 2009). O Quadro 3 apresenta as condições de viabilidade levando-se em conta a Taxa Interna de Retorno e a Taxa Mínima de Atratividade (PIRES, 2011):

Tabela 2- Condição de viabilidade de projetos.

<b>TIR</b>	<b>Condição</b>	<b>TMA</b>	<b>Viabilidade do Projeto</b>
------------	-----------------	------------	-------------------------------

TIR	>	TMA	Economicamente Viável
TIR	<	TMA	Economicamente Inviável
TIR	=	TMA	Indiferente considerando realizar o investimento ou aplicar o dinheiro na poupança

---

Fonte: Motta e Calôba (2002)

O caráter rentável ou não de um projeto depende, no caso em que seja o critério escolhido, da posição relativa da TIR do projeto e da taxa mínima de rentabilidade que o tomador de decisão exige para seus investimentos. Todo o projeto cuja taxa interna de retorno seja superior a TMA é considerado rentável. Entre as diversas variantes comparáveis e rentáveis de um mesmo projeto de investimento que utiliza este critério de rentabilidade escolhe-se aquela cuja taxa interna de retorno seja maior (GALESNE et al., 1999).

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é calculada a partir dos próprios dados do fluxo de caixa do projeto, sem necessidade de arbitrar-se uma taxa de desconto (BUARQUE, 2004).

Segundo Buarque (2004) a TIR é um dos principais instrumentos na determinação do mérito do projeto, devido a semelhança entre o conceito de taxa interna de retorno e o conceito tradicional de rentabilidade de um investimento. Assim, uma taxa interna de 10% de um projeto pode ser facilmente comparada com muitos outros tipos de rentabilidade, tais como a rentabilidade de 10% em títulos, rentabilidade de 6% em depósitos de poupança, etc.

Porém, para Buarque (2004), a TIR apresenta algumas desvantagens que não lhe permitem ser o instrumento absoluto na seleção e classificação de projetos, uma vez que no caso de projetos com grandes diferenças entre os valores de investimentos, podem ocorrer contradições entre os critérios de TIR e VPL. Isso ocorre porque a um pequeno projeto (baixo investimento) pode apresentar uma alta taxa interna de retorno, mas ainda assim ter um reduzido Valor Presente Líquido.

Para análise entre alternativas de um mesmo projeto e entre projetos sem grandes diferenças de investimentos, a TIR, é, segundo Buarque (2004), geralmente aceita como o melhor instrumento na determinação do mérito comparativo de projetos. Bruni et al. (1998) citam como vantagens desse método: o resultado é uma taxa de juros fácil de ser entendida e comparada com outras alternativas de investimento.

De acordo com Brito, et al (2012) em estudo sobre viabilidade econômica da implantação de incineradores de resíduos sólidos urbanos. Foram consideradas três hipóteses para o preço de venda do MWh de energia, também utilizou-se de duas possibilidades de preço para a destruição térmica, considerando constante os preços de mercado. Em todos os cenários o investimento inicial foi de R\$ 232.400.000,00, os resultados apresentaram VPL significativamente positivo em três casos (Tabela 3).

Tabela 3: Resultado da Avaliação

<b>Indicadores</b>	<b>VPL</b>	<b>TIR</b>
Caso A	-67125308	3%
Caso B	-7284482	6%
Caso C	-43127137	4%
Caso D	21260558	7%
Caso E	20722566	7%
Caso F	92623161	9%

Fonte: Brito et al( 2012).

A análise dos possíveis cenários do projeto caracteriza um VPL negativo para o cenário 3, porém a TIR fornece um retorno 5%, é por este fato que um financiamento representa uma opção de risco, o que não descaracteriza o interesse do ponto de vista de um investimento público (Brito et al, 2012).

O retorno melhor é possível quando são simulados os cenário 1 e 2, a rentabilidade do projeto depende fortemente das receitas provenientes da venda de energia, dessa forma em termos de risco, a comparação é interessante ao passo que devem ser considerados outros ganhos com o projeto. Para a construção do modelo de análise econômica do projeto exigiu-se a formulação do fluxo de caixa e a utilização de dados considerados certos e constantes, porém, isso dificilmente ocorre, pois estes dados são valores estimados, que tem como objetivo fornecer uma fotografia da realidade (BRITO et al, 2012).

Todavia, tornar-se necessário minimizar as incertezas do modelo adotado. Pois muitos dados coletados na resolução de um problema representam projeções de conseqüências futuras, e isto pode resultar de incertezas quanto á precisão de tais (NEWNAN, 2000). Assim, para melhor avaliar o impacto de qualquer estimativa, é necessário determinar a variações de certas decisões e para isto é preciso realizar uma análise de sensibilidade.

### 2.2.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade, tem como objetivo utilizar diversos valores possíveis de uma variável (preço, volume de vendas, taxa de atratividade, dentre outros), como as entradas de caixa, para avaliar o seu impacto sobre o retorno de um ativo, que pode ser medido pelo VPL ou outros indicadores (GITMAN, 2007).

Sendo que é um enfoque prático para tratar o problema das incertezas. O Método Tradicional consiste em medir o efeito produzido na rentabilidade do investimento, ao se variar “um” dado de entrada (deve-se analisar cada variável, individualmente), com isso pode se ter uma idéia de quais incertezas podem afetar significativamente o resultado da análise, e a intensidade com que afetam. Uma forma prática de se analisar a sensibilidade de uma determinada variável de entrada é utilizando recursos computacionais, onde se observa, imediatamente, a variação no resultado (VPL), devido a uma dada alteração na variável de entrada. Na análise de sensibilidade, devem ser destacadas as variações proporcionais de cada variável, ou seja, quanto uma variável tem que oscilar para provocar uma determinada alteração na variável de saída (SANCHES et al, 2005).

## 2.3 SITUAÇÃO ATUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO PAÍS POR REGIÃO

As projeções para o Brasil resultam da somatória das projeções de cada uma das regiões do país, apresentadas nos itens a seguir, cujas tabelas e gráficos trazem os dados de 2015 comparando-os às informações do ano anterior. Os números referentes à geração de RSU revelam um total anual de 79,9 milhões de toneladas no país, configurando um crescimento a um índice inferior ao registrado em anos anterior.

A comparação entre a quantidade de RSU gerada e o montante coletado em 2015, que foi de 72,5 milhões de toneladas, resulta em um índice de cobertura de coleta de 90,8% para o país, o que leva a cerca de 7,3 milhões de toneladas de resíduos sem coleta no país e, conseqüentemente, com destino impróprio. No tocante à disposição final, houve aumento em números absolutos e no índice de disposição adequada em 2015: cerca de 42,6 milhões de toneladas de RSU, ou 58,7% do coletado, seguiram para aterros sanitários. Por outro lado, registrou-se aumento também no volume de resíduos enviados para destinação inadequada, com quase 30 milhões de toneladas de resíduos dispostas em lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações.

A prática da disposição final inadequada de RSU ainda ocorre em todas as regiões e estados brasileiros, e 3.326 municípios ainda fazem uso desses locais impróprios. Os recursos aplicados pelos municípios em 2015 para fazer frente a todos os serviços de limpeza urbana no Brasil foram, em média, de cerca de R\$10,15 por habitante por mês, o que representa um aumento de 1,7% em relação a 2014. A geração de empregos diretos no setor de limpeza pública também registrou ligeiro aumento e atingiu 353,4 mil postos formais de trabalho no setor. O mercado de limpeza urbana no país apresentou evolução, que foi registrada em todas as regiões, e movimentou no ano recursos correspondentes a R\$ 27,5 bilhões.

Tabela 4- Recursos Aplicados na Coleta de RSU

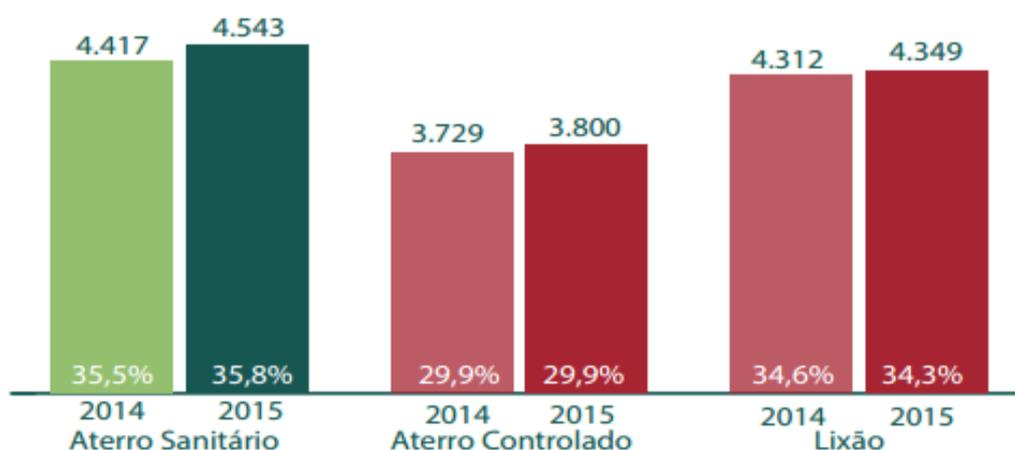
Região	2014	2015
	Recursos aplicados na Coleta de RSU Total (R\$ milhões/ano)/ Per capita (R\$/ mês)	Recursos aplicados na Coleta de RSU Total (R\$ milhões/ano)/ Per capita (R\$/mês)
Norte	681/3,29	685/3,28
Nordeste	2.019/2,99	2.152/3,17
Centro- Oeste	572/3,13	587/3,17
Sudeste	4.917/4,81	5.117/4,97
Sul	1.231/3,54	1.286/3,67
Brasil	9.420/3,87	9.827/4,00

Fonte: Abrelpe (2015)

### 2.3.1 REGIÃO NORTE

Os 450 municípios da região Norte geraram, em 2015, a quantidade de 15.745 toneladas/dia de RSU, das quais 80,6% foram coletadas. Dos resíduos coletados na região, 64,2% ou o equivalente a 8.149 toneladas diárias, ainda são destinados para lixões e aterros controlados. Os municípios da região Norte aplicaram em 2015, uma média mensal de R\$ 8,26 por pessoa na coleta de RSU e demais serviços de limpeza urbana, e o mercado de serviços de limpeza urbana da região movimentou a quantia de R\$2 bilhões no ano, registrando crescimento de 5,2% em relação a 2014.

FIGURE 1 - DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU NA REGIÃO NORTE(T/DIA)



Fonte: Abrelpe (2005)

Tabela 5- Recursos aplicados na coleta de RSU e demais serviços de limpeza urbana na Região Norte

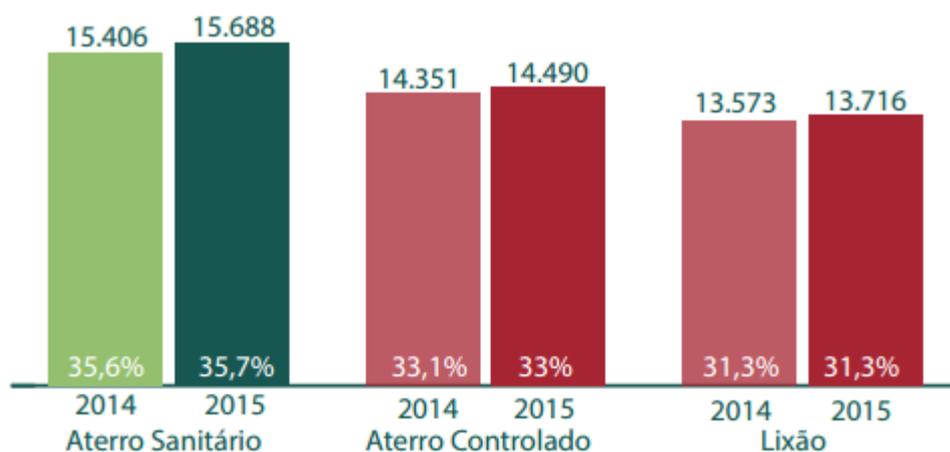
Tipos de Serviços	2014	2015	
	Recursos aplicados (R\$ milhões/ano)/ (R\$/ hab/mês)	População Total	Recursos aplicados (R\$ milhões/ano)/ (R\$/ hab/mês)
Coleta de RSU	6.81/3,29	17.472.636	6.85/3,28
Demais Serviços de Limpeza Urbana	1;041/5,03		1.044/4,98

Fonte: Abrelpe (2015)

### 2.3.2 REGIÃO NORDESTE

Os 1.794 municípios da região Nordeste geraram, em 2015, a quantidade de 55.862 toneladas/dia de RSU, das quais 78,6% foram coletadas. Do montante coletado na região, 64,3% ou 28.206 toneladas diárias ainda são destinadas para lixões e aterros controlados. Os municípios da região Nordeste aplicaram em 2015, uma média mensal de R\$ 8,54 por pessoa na coleta de RSU e demais serviços de limpeza urbana. O mercado de serviços de limpeza urbana da região movimentou cerca de R\$ 6,1 bilhões, registrando crescimento de 3,5% em relação a 2014.

FIGURE 2 - DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU NA REGIÃO NORDESTE (T/DIA)



Fonte: Abrelpe (2015)

Tabela 6- Recursos aplicados na coleta de RSU e demais serviços de limpeza urbana na Região Nordeste

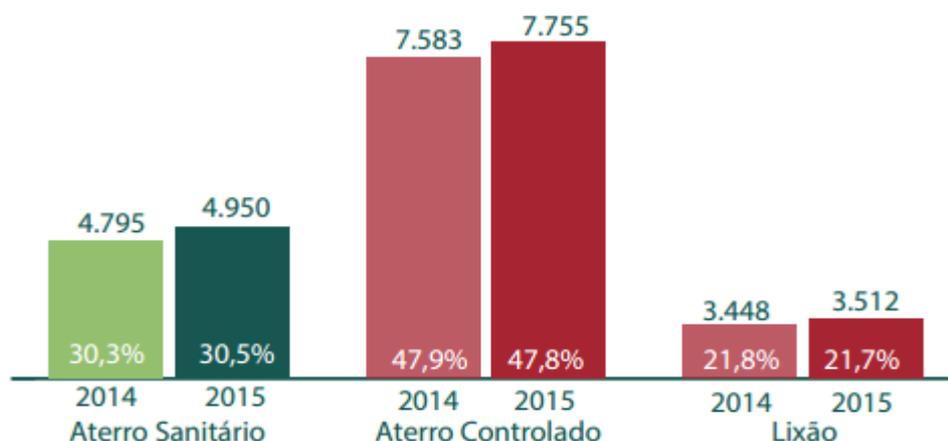
Tipos de Serviços	2014	2015	
	Recursos aplicados (R\$ milhões/ano)/ (R\$/ hab/mês)	População Total	Recursos aplicados (R\$ milhões/ano)/ (R\$/ hab/mês)
Coleta de RSU	2,019/2,99	56.560.081	2.152/3,17
Demais Serviços de Limpeza Urbana	3,630/5,38		3.646/5,37

Fonte: Abrelpe (2015)

### 2.3.3 REGIÃO CENTRO-OESTE

Os 467 municípios da região Centro-Oeste geraram, em 2015, a quantidade de 17.306 toneladas dia de RSU, das quais 93,7% foram coletadas. Dos resíduos coletados na região, 69,5% correspondentes a 11.267 toneladas diárias ainda foram destinados para lixões e aterros controlados. Os municípios da região Centro-Oeste aplicaram em 2015, uma média mensal de R\$ 6,53 por pessoa na coleta de RSU e demais serviços de limpeza urbana. O mercado de serviços de limpeza urbana da região movimentou cerca de R\$ 2 bilhões, registrando crescimento de 4,2% em relação a 2014.

FIGURE 3 - DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU NA REGIÃO CENTRO-OESTE (T/DIA)



Fonte: Abrelpe (2015)

Tabela 7- Recursos aplicados na coleta de RSU e demais serviços de limpeza

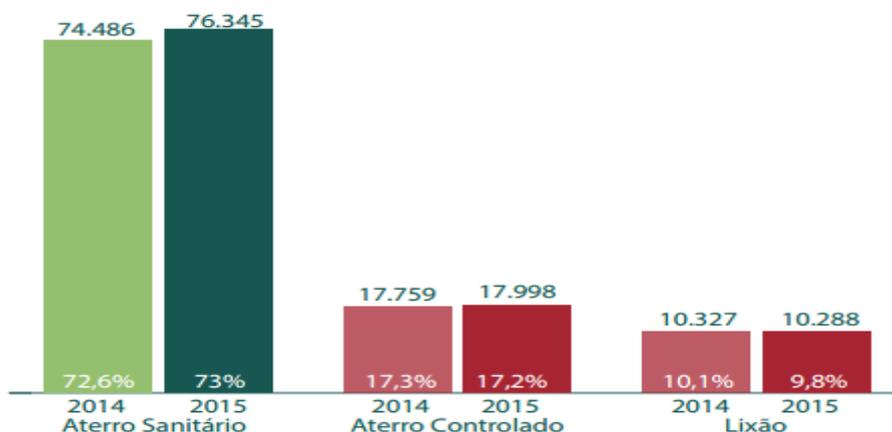
Tipos de Serviços	2014	População Total	2015
	Recursos aplicados (R\$ milhões/ano)/ (R\$/hab/mês)		Recursos aplicados (R\$ milhões/ano)/ (R\$/hab/mês)
Coleta de RSU	571/3,13	15.442.232	587/3,17
Demais Serviços de Limpeza Urbana	607/3,32		623/3,36

Fonte: Abrelpe (2015)

### 2.3.4 REGIÃO SUDESTE

Os 1.668 municípios da região Sudeste geraram, em 2015, a quantidade de 107.375 toneladas/dia de RSU, das quais 97,4% foram coletadas. Dos resíduos coletados na região, 27%, correspondentes a 28.286 toneladas diárias, ainda são destinados para lixões e aterros controlados. Os municípios da região Sudeste aplicaram em 2015, uma média mensal de quase R\$ 13,00 na coleta de RSU e demais serviços de limpeza urbana. O mercado de serviços de limpeza urbana da região movimentou cerca de R\$ 15 bilhões, registrando crescimento de 2,5% em relação a 2014.

FIGURE 4 DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU NA REGIÃO CENTRO- OESTE (T/DIA)



Fonte: Abrelpe (2015)

Tabela 8- Recursos aplicados na coleta de RSU e demais serviços de limpeza urbana na Região Sudeste.

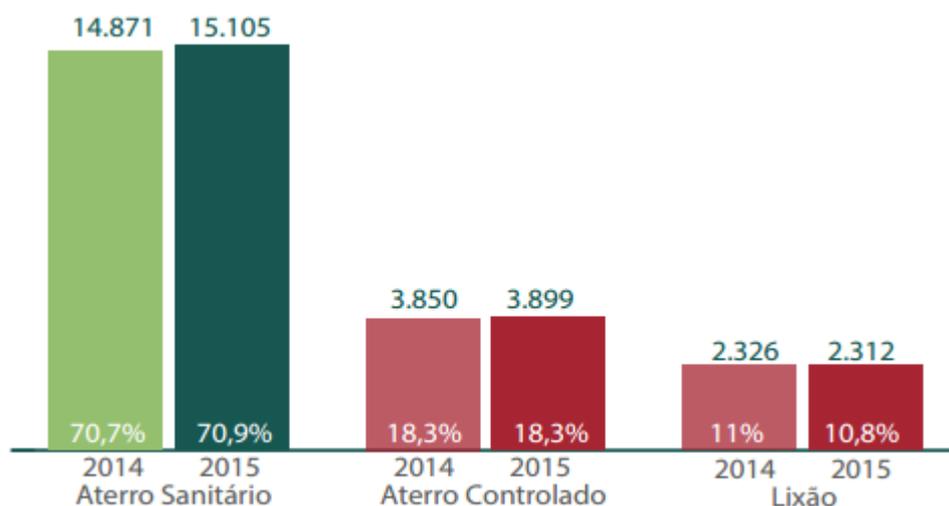
Tipos de Serviços	2014	2015	
	Recursos aplicados (R\$ milhões/ano)/ (R\$/ hab/mês)	População Total	Recursos aplicados (R\$ milhões/ano)/ (R\$/ hab/mês)
Coleta de RSU	4.917/4,81	85.745.520	5.117/4,97
Demais Serviços de Limpeza Urbana	8.104/7,93		8.247/8,01

Fonte: Abrelpe (2015)

### 2.3.5 REGIÃO SUL

Os 1.191 municípios da região Sul geraram, em 2015, a quantidade de 22.586 toneladas/dia de RSU, das quais 94,38% foram coletadas. Dos resíduos coletados na região, 29%, correspondentes a 6.211 toneladas diárias, foram encaminhados para lixões e aterros controlados. Os municípios da região Sul aplicaram em 2015, uma média mensal de R\$ 8,01 por pessoa na coleta de RSU e demais serviços de limpeza urbana. O mercado de serviços de limpeza urbana da região movimentou pouco mais de R\$ 3 bilhões, registrando crescimento de 5,7% em relação a 2014.

FIGURE 5 - DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU NA REGIÃO SUL (T/DIA)



Fonte: Abrelpe (2015)

Tabela 9 - Recursos aplicados na coleta de RSU e demais serviços de limpeza urbana na Região Sul

Tipos de Serviços	2014	2015	
	Recursos aplicados (R\$ milhões/ano)/ (R\$/ hab/mês)	População Total	Recursos aplicados (R\$ milhões/ano)/ (R\$/ hab/mês)
Coleta de RSU	1.231/3,54	29.230.180	1.286/3,67
Demais Serviços de Limpeza Urbana	1.486/4,27		1.524/4,34

Fonte: Abrelpe (2015)

## 2.4 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA

### ELÉTRICA A PARTIR DE RSU

Os recursos energéticos renováveis oferecem muitas vantagens para um mundo carente de energia, pois, além de inúmeras possibilidades de uso, podem ser controlados com tecnologias apropriadas, gerando problemas ambientais menores. Esse potencial é imenso e deve ser aproveitado. De acordo com Hinrichs (2002), as fontes renováveis de

energia fornecem aproximadamente 9% do potencial mundial, que aumenta para 22% se incluirmos todos os usos da biomassa.

Assim, o aproveitamento do biogás para geração de energia elétrica traz várias vantagens socioambientais, econômicas, estratégicas e tecnológicas. Primeiramente, promove a diversificação da matriz energética, com incentivo à geração descentralizada e distribuída de energia elétrica, aumentando a segurança no abastecimento de energia, valorizando as características e potencialidades regionais e locais, e reduzindo investimentos nos sistemas de distribuição e de transmissão (BRASIL, 2007). A geração de energia elétrica em aterros é uma forma inteligente de utilização do biogás tendo em vista a quantidade de emissões de GEE que deixariam de ser lançadas na atmosfera. Ainda, a comercialização de energia gerada em aterros consiste em uma promissora alternativa para produtores independentes de energia. A utilização de gás de aterro sanitário é ainda incipiente no Brasil e o desenvolvimento de tecnologias a nível nacional é de extrema importância, visto o grande potencial existente no país.

De acordo com trabalho realizado por Maranhão (2008), Os resultados permitem inferir que poderiam ser obtidos aproximadamente 355.623 kWh/dia de energia elétrica, sendo 12.848 kWh/dia usados para o transporte de parte dos RSU até Bauru (cidade da pesquisa), ou seja, um potencial energético líquido de 342.775 kWh/dia, quantidade nada desprezível nestes momentos de escassez. Se considerar a separação de plástico, papel/papelão para reciclagem, o potencial energético líquido seria de 228.659 kWh/dia. Como era de esperar, ocorre uma redução substancial do potencial energético quando se implementa a reciclagem de materiais combustíveis. Dessa forma, pode-se afirmar que a análise energética mostra maior vantagem na combustão dos RSU sem a reciclagem dos materiais combustíveis.

Segundo Castilhos (2003), no Brasil são geradas aproximadamente 260.000 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia com uma taxa de coleta de 80%, capaz de produzir até 650.000 toneladas de metano por ano. Neste viés, estima-se uma potência elétrica gerada, somente pelos resíduos sólidos urbanos no Brasil, de aproximadamente 300 MW. O presente estudo faz parte de um amplo projeto multidisciplinar que visa a produzir energia elétrica a partir de biogás de aterro sanitário em escala piloto. A primeira etapa (presente estudo) consiste na avaliação do potencial de geração de biogás. A segunda etapa consiste na purificação do biogás para remover impurezas, umidade e realizar a separação do CH<sub>4</sub> do CO<sub>2</sub>. Uma terceira etapa consiste na instalação piloto de

geração de energia elétrica e térmica por meio de um sistema motor-gerador, e por fim, uma quarta etapa visa a avaliar uma rede piloto de distribuição de energia elétrica.

## 3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os métodos utilizados para a análise de viabilidade econômica de um sistema de geração de energia a partir de RSU em uma cidade de médio porte, no caso Campina Grande. Para tal, serão considerados aspectos socioambientais, tecnológicos e econômicos. Para esta aplicação específica, foi escolhido o processo de geração de energia por incineração, devido a sua relativa simplicidade e por ser um dos mais utilizados atualmente.

### 3.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICO-ECONÔMICAS

#### 3.1.1 CAPACIDADE E INVESTIMENTOS INICIAIS

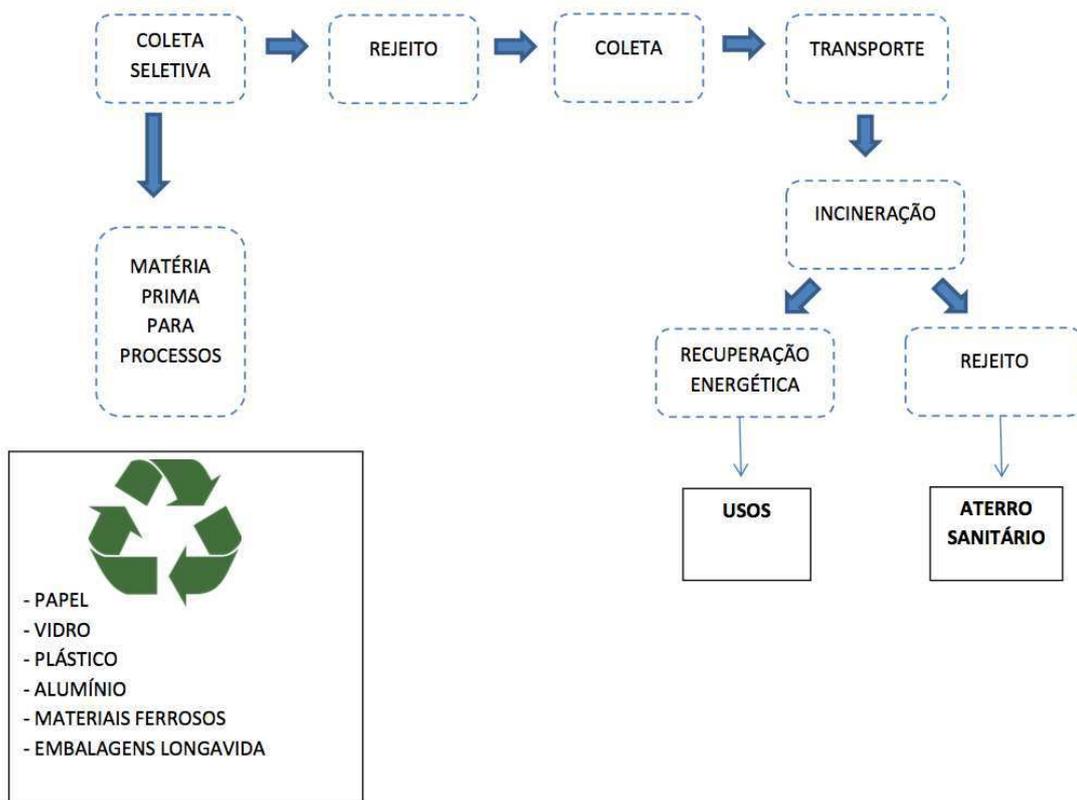
A quantidade e composição dos resíduos, são fatores importantes a serem avaliados no processo de escolha da tecnologia mais adequada à ser utilizada na produção de energia.

De forma a se determinar o volume de investimentos a serem aplicados e os custos operacionais, devem ser levados em conta uma série de outros fatores, sendo estes: o tamanho da planta, custo da mão de obra em sua localização e a distância entre a planta e o centro gerador de resíduos.

No que diz respeito à incineração, utiliza-se de forma mais usual o sistema de turbina a vapor com cogeração. O sistema pode produzir de 0,33 a 2,37 MW/t de RSU, dependendo do poder calorífico dos resíduos incinerados. As tecnologias mais empregadas para esse processo são motores de combustão interna, turbinas a gás e microturbinas (EPA, 2007; BANCO MUNDIAL, 1999; PAVAN, 2010).

Para que ocorra o correto funcionamento deste tipo de tecnologia, faz-se necessário o uso da coleta seletiva, a fim de o poder calorífico dos RSU se mantenha o mais constante possível, bem como para que não sejam colocados componentes indesejáveis dentro do incinerador, tais como: vidro, metais, entre outros. A figura 6 exemplifica um esquema de blocos para este processo.

FIGURE 6 - PROCESSO DE CONTROLE DE RSU



Fonte: FREIRE, 2014

Já os volumes de investimento para uma usina de incineração com recuperação de energia variam de US\$ 100.000 a 140.000/t/dia de RSU incinerado, produzindo de 500 a 600 kWh de energia elétrica/tonelada de RSU incinerado. Em que os custo com operação e manutenção (O&M) encontram-se em cerca de US\$ 12/t de RSU tratado (PAVAN, 2010). Obviamente tais custos sofreram variação, a depender do poder calorífico do RSU e dos equipamentos adotados pela planta de geração, segundo dados do Banco Mundial (1999) e do Waste-to-Energy Research and Technology (WTERT).

A capacidade da usina a ser utilizada é de 200.000 toneladas por ano, este valor foi escolhido baseado na produção de lixo da cidade de Campina Grande. Segundo a Secretária de Obras e Serviços Urbanos do Município, são coletadas 12.605,33 toneladas de resíduos na cidade por mês, o que, corresponderia a mais de 400 toneladas de resíduos diários (PEREIRA, 2008). Tais dados implicariam em uma produção de resíduos próxima a 146.000 t/ano, dado que a produção de lixo da cidade tende a crescer cada vez mais, bem como a eficiência da coleta do lixo, a nossa estimativa de capacidade da usina torna-se bastante realista.

Quanto ao Poder Calorífico Inferior (PCI) dos resíduos, assumiu-se o valor de 9,0 MJ/Kg (2.149,65Kcal/Kg). Pressupôs-se que a usina irá operar 7.008 h/ano, sendo o fator de capacidade igual a 0,8 (PAVAN, 2010).

No que diz respeito aos custos de investimento e O&M foram atribuídos US\$ 100 milhões e US\$ 4,725 milhões respectivamente em conformidade com a capacidade escolhida para a usina (BANCO MUNDIAL, 1999; PAVAN, 2010).

### 3.1.2 RECEITAS GERADAS PELO PROJETO

A maior parte receita arrecadada pelo projeto surge a partir da comercialização da energia gerada pelo mesmo. Conforme explicitado na Lei 10.762/2003, a planta de geração participaria do PROINFA, em que possuiria a garantia de compra de sua energia gerada pela Eletrobrás. Segundo dados do Portal Brasil o financiamento aprovado para o programa é de R\$ 3,3 bilhões ou R\$ 1 bilhão para 2017. Os preços de compra do MWh pela Eletrobrás para uma usina deste tipo variam entre US\$ 72,09/MWh à 113,64/MWh. Não obstante, é também esperada a receita advinda dos serviços de tratamento de resíduos. Sendo assim, a Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública (ABLP) e a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE),<sup>24</sup> os valores de disposição de RSU em aterros sanitários variam de R\$35/t a R\$ 70/t, sendo considerados para um valor mínimo (US\$ 17,05/t); um valor médio US\$ 28,41/t) e um valor máximo (US\$ 42,61/t) para o preço de tratamento/incineração dos RSU (PAVAN, 2010). As características do processo hipotético podem ser vistas na Tabela 1, bem como um resumo das estimativas para a receita do projeto podem ser vistas na Tabela 2.

Tabela 10- Características do Projeto

Capacidade da Usina (t/ano)	200.000
Fator de Capacidade da Usina	0,8
Poder Calorífico dos RSU (MJ/kg)	9,00
Potência Instalada (MW)	11,42
Potência Útil (MW)	9,13
Produtividade de energia elétrica por tonelada de RSU (MWh/t)	0,50

Energia total produzida (MWh/ano) 80.000

Fonte: Pavan 2010 (Adaptado)

Tabela 11- Estimativas das Receitas do Projeto

Variáveis	Suposições	Fonte de receita	
		Tratamento/Incineração dos resíduos	Venda de energia
Preço	Cenário pessimista	US\$ 17,05/t	US\$ 72,09/MWh
	Cenário de referência	US\$ 28,41/t	US\$ 83,73/MWh
	Cenário Otimista	US\$ 42,61/t	US\$ 113,64/MWh
Receita	Cenário pessimista	US\$ 3.410.000,00	US\$ 5.767.200,00
	Cenário de referência	US\$ 5.682.000,00	US\$ 6.698.400,00
	Cenário Otimista	US\$ 8.522.000,00	US\$ 9.091.200,00

Fonte: Pavan 2010 (Adaptado)

A avaliação econômica foi feita para um período de 20 anos (de 2017 a 2037), com base no período da garantia de contratação/aquisição de energia pela Eletrobrás para projetos do PROINFA. Para a análise do valor presente líquido (VPL) usou-se Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP) fornecida pelo Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) cujo valor para o ano de 2017 é de 7%. Na tabela 3 podem ser vistos os dados atribuídos aos 10 primeiros anos do investimento para o cálculo de viabilidade econômica, foram utilizados os valores do cenário de otimista. Em seguida, na tabela 4 são apresentados os dados referentes aos 10 últimos anos do projeto, bem como o valor da Taxa Interna de Retorno (TIR) e do Valor Presente Líquido (VPL). Para realizar o cálculo da TIR e do VPL foi utilizado o software Excel®.

Tabela 12- Dados de viabilidade para o cenário otimista

Anos									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(US\$ 1000,00)									

<b>Receitas do tratamento de RSU</b>	0	8.522	8.522	8.522	8.522	8.522	8.522	8.522	8.522	8.522	8.522
<b>Venda de energia elétrica</b>	0	9.091,2	9.091,2	9.091,2	9.091,2	9.091,2	9.091,2	9.091,2	9.091,2	9.091,2	9.091,2
<b>Receitas totais</b>	0	17.613	17.613	17.613	17.613	17.613	17.613	17.613	17.613	17.613	17.613
<b>Custos totais de O&amp;M</b>	0	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725
<b>Investimento Inicial</b>	100.000										
<b>Fluxo de caixa líquido</b>	-	12.888	12.888	12.888	12.888	12.888	12.888	12.888	12.888	12.888	12.888
	100.000										

Fonte: O próprio autor

Tabela 13- Dados de viabilidade econômica anos 11-20 (cenário otimista)

	Anos									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	(US\$ 1000,00)									
<b>Receitas do tratamento de RSU</b>	8.522	8.522	8.522	8.522	8.522	8.522	8.522	8.522	8.522	8.522
<b>Venda de energia elétrica</b>	9.091,2	9.091,2	9.091,2	9.091,2	9.091,2	9.091,2	9.091,2	9.091,2	9.091,2	9.091,2
<b>Receitas totais</b>	17.613	17.613	17.613	17.613	17.613	17.613	17.613	17.613	17.613	17.613
<b>Custos totais de O&amp;M</b>	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725
<b>Investimento Inicial</b>										
<b>Fluxo de caixa líquido</b>	12.888	12.888	12.888	12.888	12.888	12.888	12.888	12.888	12.888	12.888
<b>Taxa interna de retorno</b>					11,16%					
<b>Valor Presente Líquido (VPL)</b>					31.032,85					

Fonte: o próprio autor

O mesmo procedimento utilizado para o cenário otimista foi aplicado ao cenário de referência cujos resultados podem ser vistos nas tabelas a seguir.

TABELA 14- Dados de viabilidade econômica ano (cenário de referência)

		Anos									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		(US\$ 1000,00)									
<b>Receitas do tratamento de RSU</b>	<b>do</b>	0	5.682	5.682	5.682	5.682	5.682	5.682	5.682	5.682	5.682
<b>Venda de energia elétrica</b>	<b>de</b>	0	6.698,4	6.698,4	6.698,4	6.698,4	6.698,4	6.698,4	6.698,4	6.698,4	6.698,4
<b>Receitas totais</b>		0	12.380	12.380	12.380	12.380	12.380	12.380	12.380	12.380	12.380
<b>Custos totais de O&amp;M</b>		0	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725
<b>Investimento Inicial</b>		100.000									
<b>Fluxo de caixa líquido</b>	<b>de</b>	-	7.655	7.655	7.655	7.655	7.655	7.655	7.655	7.655	7.655
		100.000									

Fonte: o próprio autor

Tabela 15- Dados de viabilidade econômica anos 11-20 (cenário de referência)

		Anos									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		(US\$ 1000,00)									
<b>Receitas do tratamento de RSU</b>	<b>do</b>	5.682	5.682	5.682	5.682	5.682	5.682	5.682	5.682	5.682	5.682
<b>Venda de energia elétrica</b>	<b>de</b>	6.698,4	6.698,4	6.698,4	6.698,4	6.698,4	6.698,4	6.698,4	6.698,4	6.698,4	6.698,4
<b>Receitas totais</b>		12.380	12.380	12.380	12.380	12.380	12.380	12.380	12.380	12.380	12.380
<b>Custos totais de O&amp;M</b>		4.725	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725	4.725
<b>Investimento Inicial</b>											
<b>Fluxo de caixa líquido</b>	<b>de</b>	7.655	7.655	7.655	7.655	7.655	7.655	7.655	7.655	7.655	7.655
<b>Taxa interna de retorno</b>						4,06%					
<b>Valor Presente Líquido (VPL)</b>						-19.514,97					

Fonte: o próprio autor



---

<b>Taxa interna de retorno</b>	-1,62%
<b>Valor Presente Líquido (VPL)</b>	-50.425,61

---

Fonte: o próprio autor

## 4 RESULTADOS

O presente capítulo apresenta a interpretação dos dados adquiridos na seção anterior, sintetizando todas as informações fornecidas pelos métodos utilizados em uma análise econômica para o caso específico. Não obstante, é feita também a avaliação socioeconômica do projeto elencando os principais desafios enfrentados por um projeto deste tipo, bem como suas consequências positivas para a sociedade, caso o mesmo seja implementado.

### 4.1 ANÁLISE ECONÔMICA

A partir dos dados sintetizados nas tabelas 10 a 15, pode ser feita a análise de viabilidade econômica para os casos citados anteriormente. Como explicado na seção anterior, foi adotada a taxa de juros para investimentos de longo prazo fornecida pelo BNDS, igual a 7% para o ano de 2017, como sendo a nossa taxa mínima de atratividade. Ou seja, para que o projeto seja economicamente viável é necessário que sua respectiva taxa interna de retorno seja maior que 7%, caso seja igual o projeto não agregará nem destruirá valor. Outro dado importante é o valor presente líquido, para que haja viabilidade econômica no projeto, é necessário que o VPL seja maior que zero, o naturalmente ocorrerá para um projeto com a TIR maior que a TMA, todavia, o VPL nos fornece a informação de quanto valor foi gerado pelo projeto.

Tendo em vista estes aspectos, conclui-se que o projeto é favorável quando atribuídos a ele os valores do cenário otimista, visto que uma TIR aproximada de 11% e VPL de US\$ 31.032,85 milhões, suprimindo todas as especificações exigidas pelo estudo de viabilidade econômica.

### 4.2 IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS

Em primeira instância pode-se citar que o manejo de RSU que envolva a implantação de aterros tem por necessidade uma área bem maior do que aquela necessária para a instalação de um incinerador. Ressaltando-se que os incineradores se mostram

como uma possível solução para municípios que necessitam de um melhor aproveitamento de sua área, já que os aterros exigem uma área de instalação muito maior.

Além disso, a implantação de sistemas desta categoria traz consigo o exercício de uma atividade econômica relacionada ao correto manejo dos resíduos sólidos e incentivado por meio da implantação de um sistema de coleta seletiva efetivo, que envolva a agregação de valor aos materiais, sendo uma necessidade para a implantação do sistema.

Além disso, a implantação de um sistema como esse gera quantidades importantes de emprego tornando-os mais susceptíveis à aceitação por parte da população local. Como consequência, o treinamento de profissionais para a operação e manutenção dos equipamentos possibilita a abertura de um mercado de capacitação de mão de obra qualificada, trazendo geração de riqueza à comunidade.

A estratégia de regionalização da gestão dos resíduos, com a implantação de usinas de incineração de RSU visando o atendimento de vários municípios de uma determinada região, pode viabilizar a implantação deste sistema através de economia de escala e da alavancagem de recursos.

## 5 CONCLUSÃO

O objetivo principal deste trabalho foi a abordagem e exemplificação de tecnologias para a geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos (RSU), tendo em vista um estudo aplicado à cidade de Campina Grande que possa combinar aspectos ambientais, tecnológicos e socioeconômicos adaptáveis à realidade local.

A princípio realizou-se uma contextualização sobre resíduos sólidos urbanos e geração de energia a partir de biomassa, também foram apresentados os objetivos do trabalho e as justificativas e motivações que levaram ao desenvolvimento do tema proposto. Em seguida foram exemplificadas as principais tecnologias utilizadas para tal fim, bem como a atual situação dos RSU nas regiões do Brasil, bem como a metodologia utilizada.

Pôde-se em sequência fazer uma análise considerando aspectos técnico-econômicos e socioambientais, para tal foi feita a devida interpretação dos dados gerados pelos métodos após sua aplicação à tecnologia escolhida para análise, no caso, a geração de energia a partir de incineração de RSU. Foi então concluído que o projeto se mostrou atraente para o caso em que as estimativas foram otimistas, possuindo uma TIR de 11,16%. Esta por sua vez, sendo maior que a TMA atribuída ao projeto, ou seja, maior que a TJILP fornecida pelo BNDES. Não obstante, possuiu também seu VPL maior que zero para o final do período de análise.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARSOVA, L., 2010, Anaerobic digestion of food waste: Current status, problems and an alternative product, Tese de M.Sc., Columbia University, 2010.

BUARQUE, C. Avaliação econômica de projetos. Ed. Elsevier, São Paulo, 28° reimpressão, 2004.

BRITO, A. P; PADILHA, A; SILVA, C. L. Estudo da Viabilidade Econômica da Implantação de Incineradores de Resíduos Sólidos Urbanos na Região de Bauru. VI Seminário da Pós-graduação em Engenharia Mecânica. São Paulo, 2012.

BRUNI, A. L.FAMÁ, R. As decisões de investimentos. São Paulo: Atlas, 2003.

CALDERONI S. Os bilhões perdidos no lixo. 3ª ed. São Paulo: Humanitárias Livraria/FFLCH/USP; 1999.

CH2MHILL, 2009, Waste-to-Energy Review of Alternatives. CH2M HILL Canada Limited, May 2009.

COHEN, E.; FRANCO, R. Avaliação de projetos sociais. Petrópolis, RJ: Vozes, 4º ed, 2000.

CONTI, LEONETTO. La pirolisi: il processo, I punti di forza, le opportunità. Università degli Studi di Sassari, Itália 2009.

EPRI [Electric Power Research Institute], 2011, “Waste-to-Energy Technology: Opportunities for Expanding Renewable Generation & Reducing Carbon Emissions”.

FONSECA, Y. D. Técnicas de avaliação de investimentos: uma breve revisão da literatura. Caderno de Análise Regional – Desenbahia/UNIFACS. Artigo 27, maio 2017. Disponível em: . Acesso em 27 mai 2017.

HELFERT, E. A. Técnicas de análise financeira. 9a ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.

HERSHFIELD, M., 2011, Waste to Energy Business Case Analysis (FINAL) – Technical Report, 6 de Setembro de 2011. Disponível em <[http://yukonenergy.ca/downloads/db/1073\\_WTE%20Technical%20Report%20%20Final%20Sept%206\\_11.pdf](http://yukonenergy.ca/downloads/db/1073_WTE%20Technical%20Report%20%20Final%20Sept%206_11.pdf)>. Acesso em 29 de maio de 2017, 00:07.

GALESNE, A.; FENSTERSEIFER, J. E.; LAMB, R. Decisões de investimentos da empresa. São Paulo: Atlas, 1999.

GITMAN, Lawrence J. Princípios de Administração Financeira. 7º Ed, São Paulo: Editora Harbra, 2002.

GITMAN, L. J. Princípios de Administração Financeira. 10ª edição, São Paulo: Harbra. 2007.

GUWY, A. J. Equipment used for testing anaerobic biodegradability and activity, Reviews. In: Environmental Science and Bio/Technology, v.3. n.2. 2004. 131–139p.

KASSAI, J. R.; KASSAI, S. A.; NETO, A. A. Retorno de Investimento: Abordagem matemática e contábil do lucro empresarial. São Paulo: Atlas, 2000.

LAPPONI, J. C. Projetos de investimento: contribuição e avaliação de fluxo de caixa em modelos em Excel. São Paulo: Lapponi, treinamento e editora, 2000.

LEMES JUNIOR, A. B., CHEROBIM, A. P., RIGO, C. M., Administração Financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

LIMA, L. M. Q. Lixo: tratamento e biorremediação. 3. ed. HEMUS. 2004. 265 p.

LINDEMEYER, R. M. Análise da viabilidade econômico-financeira do uso do biogás como fonte de energia elétrica. Trabalho de Conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008

MADSEN, O. H., 2009, "New Furnace Concept Improving the Electrical Efficiency in Waste Fired Power Plants". PowerGen Europe 2009. Disponível em <[http://www.volund.dk/Waste\\_to\\_Energy/Self\\_study](http://www.volund.dk/Waste_to_Energy/Self_study)>. Acessado em 29 de maio de 2017.

MENEZES, R. A., "Projetos e Tratamento por Destruição Térmica (Incineração) de Resíduos Sólidos Urbanos e Especiais - Indicadores Operacionais" - Capítulo do Curso (apostila) "Gestão Integrada de Resíduos Sólidos" - Menezes, Ricardo A e Menezes, Marco António A. - "Considerações sobre o Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (GRS)", Revista Limpeza Pública - ABLP - Associação Brasileira de Limpeza Pública, Ed., 53, Outubro, 1999.

MENEZES, Ricardo A. Amaral, Eng., M.S., Ph.D., José Luiz Gerlach, Eng.Mec. e Marco António Menezes, Eng. Mec. ABLP Associação Brasileira de Limpeza Pública "Estágio Atual da Incineração no Brasil". VII Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública 3 a 7 de Abril de 2000, Parque Barigui – Curitiba.

Ministério de Minas e Energia. NOTA TÉCNICA DEN 06/08. Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. Rio de Janeiro, Novembro de 2008.

MOURA, L. A. A. Economia ambiental: gestão de custos e investimentos. São Paulo: Ed. Juarez de Oliveira Ltda., 2000.

MORGADO, T.C; FERREIRA, O.M. Incineração de resíduos sólidos urbanos, aproveitamento na co-geração de energia, estudo para a região metropolitana de Goiânia. Universidade Católica de Goiás – Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental AV. Universitária; Setor Universitário Goiânia - GO, 2006.

NASCIMENTO, S. B. Biogás: transformação do lixo em energia. 2009. Monografia (Tecnologia em Manutenção Industrial) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos. Campos dos Goytacazes, RJ, 2009.

NEWNAN, DOLNARD G., Fundamentos de Engenharia Econômica. Rio de Janeiro; LTC, 2000.

PEREIRA, S. M. Estudo dos custos operacionais e da viabilidade de implantação de um sistema de coleta de dejetos de suínos para a geração de bioenergia no município de Toledo-SC. Dissertação. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Toledo, 2009.

PIRES, A.B. Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema de Compostagem Acelerada para Resíduos Sólidos Urbanos. Passo Fundo, 2011.

PONCIANO, N. J. et al. Análise de Viabilidade Econômica e de Risco da Fruticultura na Região Norte Fluminense. 2004. Disponível em: . Acesso em: 02 set 2011.

QUARESMA, B.B. Tecnologias de Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos/ Bruno Quaresma Bastos. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

RAPPORT, J., ZHANG, R., JENKINGS, B. M, et al, 2008, “Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste”, California Integrated Waste Management Board, March 2008.

RODRIGUES, V; COSENZA, C.A.N; BARROS, C.F; KRYKHTINE, F; NETTO, L.E; FORTES, S; Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos e Produção de Energia: Análise de Legislação para Viabilidade Econômica de Soluções Conjuntas. XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Rio de Janeiro, 2014.

ROSS, S.A., WESTERFIELD, R. W., JORDAN, B.D., Fundamentals of Corporate Finance, 9th Edition, McGraw Hill/Irwin Hardcover, 2009.

STANTEC, 2011, Waste to Energy: A Technical Review of Municipal Solid Waste Thermal Treatment Practices – Final Report, Março de 2011.

THEMELIS, N. J., RESHADI, S., 2009, “Potential for Reducing the Capital Costs of WTE Facilities”. Proceedings of the 17th Annual North American Waste-to-Energy Conference, Chantilly, Virginia, USA, May 18-20, 2009.