

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Faculdade de Engenharia  
Campus de Bauru



# **ANÁLISE ECONÔMICA PRELIMINAR DA IMPLANTAÇÃO DE INCINERADOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA REGIÃO DE BAURU**

**Aluno: Adailton Pereira de Brito**

**Orientador: Celso Luiz da Silva**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Bauru, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Bauru  
2013



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Faculdade de Engenharia  
Campus de Bauru



# **ANÁLISE ECONÔMICA PRELIMINAR DA IMPLANTAÇÃO DE INCINERADOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA REGIÃO DE BAURU**

**Aluno: Adailton Pereira de Brito**

**Orientador: Celso Luiz da Silva**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Bauru, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Bauru  
2013

Brito, Adailton Pereira.

Análise econômica preliminar da implantação de incinerador de resíduos sólidos urbanos na região de Bauru / Adailton Pereira de Brito, 2013  
85 f.

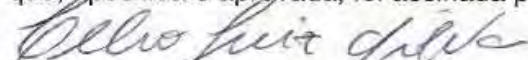
Orientador: Celso Luiz da Silva

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2013

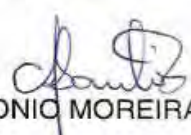
1. Viabilidade econômica. 2. Incineração de RSU.  
3. Aproveitamento energético. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE ADAILTON PEREIRA DE BRITO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.**

Aos 04 dias do mês de dezembro do ano de 2013, às 14:00 horas, no(a) Anfiteatro da Seção Técnica de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia de Bauru, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. CELSO LUIZ DA SILVA do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Dr. SANTIAGO DEL RIO OLIVEIRA do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Dr. ANTONIO MOREIRA DOS SANTOS do(a) Engenharia Mecânica / Universidade de São Paulo, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de ADAILTON PEREIRA DE BRITO, intitulado "ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE INCINERADORES DE RSU NA REGIÃO DE BAURU". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

  
Prof. Dr. CELSO LUIZ DA SILVA

  
Prof. Dr. SANTIAGO DEL RIO OLIVEIRA

  
Prof. Dr. ANTONIO MOREIRA DOS SANTOS

PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO

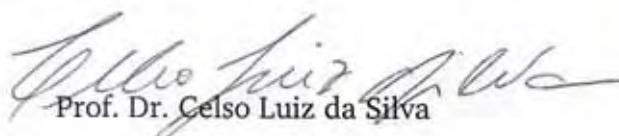
A BANCA EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DO  
ALUNO: **ADAILTON PEREIRA DE BRITO**

DE: "ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE INCINERADORES DE  
RSU NA REGIÃO DE BAURU"

PARA:

ANÁLISE ECONÔMICA PRELIMINAR DA IMPLAN  
TACÃO DE INCINERADOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
URBANOS NA REGIÃO DE BAURU.

Bauru, 04 de dezembro de 2013.



Prof. Dr. Celso Luiz da Silva

Orientador

### ***DEDICATÓRIA***

Ao meu filho e esposa pelo incentivo. E em especial a minha mãe, Erotildes Pereira de Brito, exemplo na minha vida e a quem dedico todo o meu amor e admiração.

## **A G R A D E C I M E N T O S**

Ao orientador, Professor Doutor Celso Luiz da Silva, pela paciência em acrescentar a este trabalho preciosos conselhos e também incentivos para realização do trabalho.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica.

Aos funcionários e amigos da secretaria do Curso de Pós-Graduação, pelo profissionalismo e atenção sempre presentes.

Aos funcionários da biblioteca da UNESP pela atenção, amizade e profissionalismo.

A CAPES pelo auxílio financeiro que viabilizou a realização deste trabalho.

## ÍNDICE GERAL

Lista de Figuras	VII
Lista de Tabelas	IV
Simbologia	X
Abreviaturas	XII
Resumo	XIV
Abstract	XV
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>01</b>
1.1 Objetivos	03
1.1.1 Objetivos Gerais	03
1.1.2 Objetivos Específicos	03
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>05</b>
2.1 Definição e Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)	05
2.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos	07
2.3 Panorama dos Resíduos Sólidos	09
2.3.1 Panorama dos Resíduos Sólidos na Região de Bauru	11
2.4 Disposição dos Resíduos Sólidos	12



2.4.1 Lixão	12
2.4.2 Aterros Controlados	13
2.4.3 Aterros Sanitários	13
2.5 Formas de Tratamento	15
2.5.1 Reciclagem e Compostagem	15
2.5.2 Tratamento Térmico	17
2.5.2.1 Tipos de Incineradores	26
2.5.2.2 Incineradores de Resíduos do Tipo Rotativo (sólido-líquido)	27
2.5.2.3 Incineradores do tipo leito fluidizado	28
2.5.2.4 Incineradores de Câmara Fixas Múltiplo	29
2.5.2.5 Incineradores a Plasma	30
2.5.2.6 Tratamento dos Gases de Combustão	30
2.5.2.6.1 Lavadores de Gases	31
2.5.2.6.2 Ciclones	31
2.5.2.6.3 Precipitadores Eletrostáticos	32
2.5.2.6.4 Filtro de Mangas	34
2.6 Benefícios Sócio econômico e Ambientais	35
2.7 Composição e Caracterização	36
2.7.1. Poder Calorífico	37
2.8 Energia da Biomassa	41
2.9 Viabilidade Econômica	43

2.10 Fluxo de Caixa	46
2.11 Indicadores Econômicos	46
2.11.1 Ponto de Equilíbrio e Tempo de Retorno	47
2.11.2 Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR)	48
2.11.3 Relação Custo Benefício	50
2.12 Considerações Sobre as Tarifas, os Custos e Suas variações	51
2.13 Análise de Sensibilidade	51
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>53</b>
3.1 Modelo de Avaliação Econômica	54
3.2 Dados da Modelagem	55
3.3 Cenário Econômico	56
<b>4. RESULTADOS E ANÁLISES</b>	<b>60</b>
4.1 Aspectos Gerais	60
4.2 Análise Financeira	63
4.3 Parâmetros Financeiros	64
4.4 Análise Ambiental	70

<b>5. CONCLUSÕES</b>	<b>73</b>
<b>6. REFERÊNCIAS</b>	<b>75</b>
<b>ANEXO A (Resultados da Aplicação do Modelo Proposto)</b>	<b>80</b>

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 2.1 Esquema Representativo de um Lixão	12
Figura 2.2 Esquema Representativo de um Aterro controlado	13
Figura 2.3 Esquema Representativo de um Aterro Sanitário	14
Figura 2.4 Planta de incineração de RSU com aproveitamento energético	24
Figura 2.5 Fluxograma Típico de uma Planta de Incineração Com Geração de Energia	26
Figura 2.6 Esquema Representativo de Dupla-Câmara de Combustão	26
Figura 2.7 Incinerador do Tipo Rotativo	27
Figura 2.8 Incinerador de Leito Fluidizado	29
Figura 2.9 Lavador de Gás Venturi com Separador Ciclônico	32
Figura 2.10 Esquema de Funcionamento de um Precipitador Eletrostático	33
Figura 2.11 Precipitador Eletrostático Modelo Tubular	33
Figura 2.12 Filtro de Mangas	34
Figura 2.13 Matriz de Consumo nos anos de 1973 e 2006	42
Figura 2.14 Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte	42
Figura 3.1 Região Administrativa de Bauru	53
Figura 4.1 Resultados do VPL para os Cenários	64
Figura 4.2 Resultados da TIR para os Cenários	65
Figura 4.3 Valores Referentes ao Payback	66
Figura 4.4 Índice Benefício Custo	67

Figura 4.5 TIR em Função do Preço da Eletricidade	68
Figura 4.6 TIR em função da Taxa de Incineração	69

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.1 Destino dos RSU em alguns Países no Mundo	09
Tabela 2.2 Quantidade de Municípios por Destino Adotado	10
Tabela 2.3 Coleta e Geração de RSU no Estado de São Paulo	11
Tabela 2.4 Destinação Final de RSU no Estado de São Paulo	11
Tabela 2.5 Índice de Produção “per - capita” de RSU em Função da População	39
Tabela 2.6 PCI de Diferentes combustíveis e dos Principais Componentes	40
Tabela 2.7 Valor Médio do PCI de Alguns Componentes do RSU	41
Tabela 3.1 Condições do Financiamento	56
Tabela 3.2 Valores Referentes ao Investimento	57
Tabela 3.3 Cenário Proposto para Simulações	58
Tabela 4.1 Valores das Projeções Anuais das Receitas para o Projeto	62
Tabela 4.2 Indicadores Econômicos	63
Tabela 4.3 Índice Benefício Custo	67
Tabela 4.4 TIR em Função do Preço de Comercialização da Energia	68
Tabela 4.5 TIR em Função da Taxa de Incineração	69
Tabela 4.6 Matriz de ordenamento de resultados	71

**SIMBOLOGIA**

PCS	Poder Calorífico Superior (kcal/kg)
PCI	Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)
C	Carbono
H	Hidrogênio
O	Oxigênio
N	Nitrogênio
NO <sub>x</sub>	Óxido de Nitrogênio
SO <sub>x</sub>	Óxido de Enxofre
MP	Material Particulado
S	Enxofre
$C_i$	Custos relativos ao processo de incineração (R\$)
Q	Quantidade de dias operacionais (d)
TIR	Taxa Interna de Retorno (%)
$V_L$	Valor Líquido (R\$)
VPL	Valor Presente Líquido (R\$)
n	Número de Período (anos)
$C_c$	Ganho com a venda dos Créditos de carbono (R\$)
$C_d$	Capacidade de Produção Diária (t/d)
FM	Fator de mitigação ( $1/CO_{2e}$ )

E	Ganho com a venda de energia (R\$)
V	Valor Normativo (MWh/t)
Q	Quantidade de dias operacionais (d)
$D_T$	Ganhos com a destruição térmica (R\$)
T	valor padrão cobrado pela destruição térmica (R\$)
$C_E$	Capacidade de produção de energia elétrica (MWh/d)
K	Constante ( $t / CO_{2e}$ )
B	Benefício (R\$)
C	Custos (R\$)
Hab	Habitantes
PE	Ponto de Equilíbrio
i	Taxa de Juros Comparativa (%)
TMA	Taxa Mínima de Atratividade (%)
$C_F$	Custos Fixos
$C_V$	Custos Variáveis
$R_b$	Receitas Totais Brutas



**ABREVIATURAS**

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CDR	Combustível Derivado de Resíduos
CI	Consórcio Intermunicipal
CEMPRE	Compromisso Empresarial para a Reciclagem
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DOE	Diário Oficial do Estado
DOU	Diário Oficial da União
EPA	Environmental Protection Agency
EPE	Empresa de Pesquisas Elétricas
FM	Fator de Mitigação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	International Energy Agency
IPCC	International Panel on Climate Change
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora

ONU	Organização das Nações Unidas
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RSS	Resíduos Sólidos de Saúde
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SUASA	Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária
SMA	Secretaria do Meio Ambiente
WTE	Waste to Energy
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

## RESUMO

O presente trabalho tratou da incineração dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) para fins de geração de energia e como meio de dispor adequadamente dos resíduos sólidos gerados na região de Bauru. Nesse contexto propõe-se a formação de um consórcio intermunicipal como mecanismo para a criação de uma usina de incineração com sistema de cogeração de energia.

Para o estudo de viabilidade econômica da implantação e instalação de Usina incineradora com sistema de aproveitamento energético, faz-se uma análise financeira baseada no Fluxo de Caixa. Para tal estudo, consideram-se as receitas provenientes do tratamento do lixo, da venda de energia elétrica e dos créditos de carbono gerados.

Foram realizadas simulações sobre os custos de capital para a construção e manutenção do incinerador regional, adotaram-se os seguintes métodos de análise: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Payback e o Benefício /Custo.

Os resultados demonstraram que a rentabilidade do projeto depende fortemente dos preços da energia elétrica praticados pelo mercado e dos preços para a disposição do lixo em aterros. Observa-se que o projeto será uma opção atraente considerando a necessidade de espaços cada vez maiores para deposição dos RSU, e que existe uma significativa tendência de que os preços para deposição em aterros sanitários tornem-se elevado. Este fato justifica o investimento no tratamento térmico, visto que o projeto contempla a disposição dos resíduos de forma sustentável tratando a gestão e manejo como uma solução aceitável ao meio ambiente.

**Palavra chave:** Viabilidade Econômica, Incineração de RSU, Aproveitamento Energético

## ABSTRACT

This work deals with the incineration of municipal solid waste (MSW) of energy generation purposes and as a means to dispose properly of solid waste generated in the region of Bauru. In this context was proposing the formation of an inter-municipal consortium as a mechanism for the creation of an incineration plant with a system of co-generation of energy.

For economic feasibility study of the implementation and installation of plant incinerator with energy recovery system, it is a financial analysis based on Cash Flow. For this study, was considering the revenue from waste treatment, the sale of electricity and carbon credits generated.

Simulations were performed on the capital costs for the construction and maintenance of regional incinerator adopted the following methods of analysis: Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Payback and Benefit/Cost.

The results showed that the profitability of the project depends heavily on the price of electricity charged by the market and price for waste disposal in landfills. It is observed that the projects will be an attractive option considering the need forever larger spaces for disposal of MSW, and that there is a significant trend that prices for disposal in landfills become high. This justifies the investment in heat treatment, since the design involves the disposal of waste in a sustainable manner by treating the management and handlings an acceptable solution to the environment.

**Keywords:** Economic Viability, MSW Incineration, Energy Utilization.

# 1. INTRODUÇÃO

---

Historicamente, o desenvolvimento e o avanço das sociedades têm estado intimamente ligados a maior produção de resíduos. O aumento na produção, e a facilidade de manufaturar, aliada a melhoria no poder aquisitivo da população geram, cada vez mais, o consumo, conseqüentemente cada vez mais são exigidos recursos naturais para satisfazer tais necessidades.

Os primeiros seres humanos produziam resíduos em pequenas quantidades, o que significava naturalmente que o meio era capaz de absorver esses resíduos. Além disso, os resíduos descartados não traziam nocividade ao meio ambiente por que esses eram resíduos na maioria sem toxicidade e era absorvido pelo meio ambiente com o passar do tempo (TCHOBANOGLIOUS, 1996).

Não foi senão em tempos relativamente recentes que a sociedade compreendeu a partir das observações e experimentação que não é possível manter as relações entre a produção e consumo nos patamares atuais, senão resolver o problema da gestão dos resíduos gerados.

De acordo com Brito (2012), a principal preocupação relacionada à produção de resíduos tem sido o manejo e a gestão integrada, procedimentos que passaram a fazer parte das políticas de gerenciamento, com o objetivo de evitar problemas irreversíveis ao meio ambiente e aos seres humanos.

Uma das soluções encontrada tem sido dispor desses resíduos em aterros controlados, o que frequentemente está longe de acontecer na maioria dos municípios brasileiros. Destaque-se que os dados brasileiros relativos à região sudeste, evidenciam que houve um aumento de 2,6% na destinação final ambientalmente adequada em aterros sanitários. No obstante 27,8% dos resíduos coletados na região (26 mil toneladas diárias), ainda assim são destinados para lixões e aterros controlados que do ponto de vista ambiental pouco se diferenciam dos próprios lixões, pois não possuem o conjunto de sistemas necessários para proteção do meio ambiente e da saúde pública (ABRELPE, 2011).

Por outro lado, se a implantação desses aterros tem sido uma solução, esta não garante a resolução para os problemas ambientais, uma vez que, quando implantados de forma inadequada causam poluição do solo, do ar e dos recursos hídricos.

Para Poletto Filho (2008), a sustentabilidade deve compatibilizar as intervenções humanas com as características do meio ambiente minimizando os impactos ambientais. Por sua vez, a geração de energia por fontes renováveis com baixo impacto ambiental, e a criação de mecanismos para um melhor aproveitamento das áreas de destino final dos resíduos sólidos urbanos (RSU), tem sido incentivada pelos órgãos governamentais. A pesquisa neste campo tem acompanhado tal estímulo, resultando em uma série de artigos e trabalhos voltados ao assunto.

Neste sentido, é necessária especial atenção por parte dos formuladores das políticas públicas, pois elas guardam estreita associação com a demanda por energia, além disso, o aumento na capacidade de produção da economia significa uma maior produção de resíduos.

Do mesmo modo são merecedoras de especial atenção as ações no campo da saúde pública, com vistas a proporcionar um amplo acesso às diversas modalidades de serviços voltadas a questão do saneamento básico e ao desenvolvimento sustentável.

As plantas com aproveitamento energético de RSU não só diminuem a dependência de combustíveis fósseis, mas também previnem a emissão de centenas de milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano para a atmosfera. Essa tecnologia tem impacto positivo, para ilustrar nos Estados Unidos para cada tonelada de resíduos processado em uma planta de conversão de resíduos em energia, é evitada a importação de um barril de petróleo, ou é evitada a extração de um quarto de tonelada de carvão mineral (SILVA, 1998).

De acordo com Hauser (2007), a incineração é um dos métodos mais eficazes no reaproveitamento dos resíduos, tanto na redução de sua potencialidade nociva ao meio ambiente, como na possibilidade de utilização para a geração de energia elétrica.

O gerenciamento integrado dos resíduos deve vir articulado com ações que promovam um melhor aproveitamento dos recursos naturais Poletto Filho (2008), isto significa que a gestão dos resíduos sólidos não se restringe ao sistema de coleta, tratamento e disposição final, mais envolve outros fatores, tais como; o financiamento dos serviços, a participação da comunidade e as políticas públicas em relação aos resíduos após uso.

Conforme CREMPRE (2010), não se trata de definir qual é a melhor técnica de gerenciamento a utilizar, mas sim, determinar em que proporção e mais apropriado conjugar estas técnicas e qual é melhor forma de articulá-las.

Diante de tal análise constata-se a importância e a necessidade de investimento no gerenciamento do RSU, propõe-se examinar a relação de viabilidade da implantação de consorcio intermunicipal para construção de uma planta de incineração de resíduos sólidos com aproveitamento energético na cidade de Bauru.

Na execução do trabalho definiu-se a seguinte estruturação, o “**Capítulo 2**” apresenta uma revisão bibliográfica sobre “o estado da arte” da incineração, além dos principais métodos para a avaliação econômica.

O “**Capítulo 3**” expõe a Metodologia cujo estudo norteou a elaboração desta dissertação. Nesse capítulo são mostradas indicações sobre como foram executados os cálculos e análises efetuados, além de explicar os parâmetros que compõem o estudo.

No “**Capítulo 4**” são anunciados os resultados e a análise da viabilidade. Por fim, no “**Capítulo 5**” são expostas as considerações finais obtidas nesta dissertação, adjunto as “Referências” utilizadas, bem como, a seguir o “Anexo A” que permite uma melhor compressão de como foram feitas as simulações aqui apresentadas.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

- Apresentar avaliação econômica da viabilidade da implantação de incinerador para o manejo e tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos por incineração com recuperação de energia envolvendo Consórcio de Municípios.
- Realizar análise financeira através dos indicadores TIR, VPL, Payback e Custo/Benefício.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Coletar informações sobre quantidades e composição de RSU gerados no conjunto de municípios que compõem o consórcio.

- Estimar a quantidade de Energia Co-gerada na planta incineradora regional.
- Identificar possíveis e apropriadas soluções técnicas para o gerenciamento integrado de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) focalizando o desenvolvimento de um projeto de uma planta de Geração de Energia a partir de Resíduos (Waste to Energy - WTE), incluindo energia elétrica e energia térmica.
- Avaliação financeira e opções de investimento para uma planta regional de WTE em Bauru – SP.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

---

### 2.1 Definição e Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos

Resíduos sólidos urbanos são definidos segundo norma ABNT (2004), como aqueles que se encontram nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

De acordo com o manual de gerenciamento integrado CEMPRE (2010), denomina-se lixo os restos das atividades humanas, consideradas pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis. Normalmente, apresentam-se sob o estado sólido, semi-sólido ou semi-líquido.

Ainda segundo ABNT (2004), a classificação de resíduos sólidos é o processo que envolve a identificação das atividades que deram origem aos constituintes característicos dos mesmos. De acordo com a NBR 10.004 da ABNT, os resíduos sólidos podem ser classificados em:

a) Classe I ou perigosos;

São aqueles que, em função de suas características tóxicas, apresentam riscos à saúde pública através do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

b) Classe II ou não-inertes

São os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos Classe I ou Perigosos.

c) Classe III ou inertes:

São aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente.

No processo de classificação deve-se considerar primeiramente a origem dos resíduos, que podem ser assim elencados.

I) Resíduo doméstico ou residencial:

São os resíduos gerados nas atividades diárias em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais.

II) Resíduo comercial:

São os resíduos gerados em estabelecimentos comerciais, na qual as características dependem da atividade ali desenvolvida. Nas atividades de limpeza urbana, os tipos "domésticos" e "comerciais" constituem o chamado "lixo domiciliar", que, junto com o lixo público, representa a maior parcela dos resíduos sólidos produzidos nas cidades. O grupo de lixo comercial, assim como o entulho de obras, pode ser dividido em subgrupos chamados de "pequenos e grandes geradores".

#### III) Resíduo Público;

São os resíduos presentes nos logradouros públicos, em geral resultantes da natureza, tais como folhas, galhadas, poeira, terra e areia, e também aqueles descartados irregular e indevidamente pela população, como entulho, bens considerados inservíveis, papéis, restos de embalagens e alimentos.

#### IV) Entulhos de Obra:

A indústria da construção civil é a que mais explora recursos naturais. Além disso, a construção civil também é a indústria que mais gera resíduo. No Brasil, a tecnologia construtiva normalmente aplicada favorece o desperdício na execução das novas edificações. Enquanto em países desenvolvidos a média de resíduos proveniente de novas edificações encontra-se abaixo de 100 kg/m<sup>2</sup> edificado, no Brasil este índice gira em torno de 300kg/m<sup>2</sup> edificado.

#### V) Resíduo Industrial:

São os resíduos gerados pelas atividades industriais. São resíduos muito variados que apresentam características diversificadas, pois estas dependem do tipo de produto manufaturado. Devem, portanto, ser estudados caso a caso. Adota-se a NBR 10.004 da ABNT para se classificar os resíduos industriais: Classe I (Perigosos), Classe II (Não-Inertes) e Classe III (Inertes).

#### VI) Resíduo Radioativo

Assim considerados os resíduos que emitem radiações acima dos limites permitidos pelas normas ambientais. No Brasil, o manuseio, acondicionamento e disposição final do lixo radioativo estão a cargo da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

#### VII) Resíduo Agrícola

Formado basicamente pelos restos de embalagens impregnadas com agrotóxicos e fertilizantes químicos, utilizados na agricultura, que são perigosos. Portanto o manuseio destes resíduos segue as mesmas rotinas e se utiliza os mesmos recipientes e processos empregados para os resíduos industriais Classe I. A falta de fiscalização e de penalidades mais rigorosas para o manuseio inadequado destes resíduos faz com que sejam misturados aos

resíduos comuns e dispostos nos vazadouros das municipalidades, ou o que é pior sejam queimados nas fazendas e sítios mais afastados, gerando gases tóxicos.

#### VIII) Resíduos de Serviços de Saúde:

É aquela porção que pode estar contaminada com vírus ou bactérias patogênicas das salas de cirurgia e curativos, das clínicas dentárias, dos laboratórios de análises, dos ambulatórios e até de clínicas e laboratórios não localizados em hospitais, além de biotérios e veterinárias.

## **2.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos**

Atualmente existe uma preocupação universal com os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), preocupação esta que vem sendo discutida, por muitas décadas, na esfera Internacional bem como na esfera nacional.

Neste contexto a legislação ambiental sofreu consideráveis avanços nas últimas décadas. Atualmente existe, no cenário nacional, uma série de políticas e leis que normatizam a questão do ponto de vista jurídico.

Para melhor gerenciar os problemas a lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 publicada no DOU 03.08.2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos: dentre outros tópicos a lei trata da coleta de resíduos sólidos, destinação final ambientalmente adequada, destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

A lei define a gestão integrada de resíduos sólidos como um conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

O Brasil passou a ter um marco regulatório na área de Resíduos Sólidos. A lei faz a distinção entre resíduos (lixo que pode ser reaproveitado ou reciclado) e rejeito (o que não é passível de reaproveitamento).

A lei tem como objetivo a não-geração, redução, reutilização e tratamento de resíduos sólidos, bem como a destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos. Redução do uso dos recursos naturais (água e energia, por exemplo) no processo de produção de novos

produtos, trata da intensificação das ações de educação ambiental, e do aumento da reciclagem no país, promove a inclusão social, a geração de emprego e renda de catadores de materiais recicláveis.

A Resolução SMA nº 79, de 04 de novembro de 2009, republicada no DOE de 07 de novembro de 2009 “Estabelece diretrizes e condições para a operação e o licenciamento da atividade de tratamento térmico de resíduos sólidos em Usinas de Recuperação de Energia (URE).

O Secretário de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, no uso de suas atribuições legais e considerando que a recuperação de energia a partir do tratamento térmico de resíduos sólidos foi listada como uma tecnologia mitigadora no enfrentamento do aquecimento global, e também um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo pelo Comitê Executivo da Convenção Quadro da ONU - Organização das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC);

Considerando os princípios e diretrizes da Lei Estadual nº 12.300, de 16 de março de 2006, que instituiu a Política Estadual de Resíduos Sólidos bem como o disposto na Resolução CONAMA nº 316, de 29 de outubro de 2002, sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos;

Considerando que a utilização dos resíduos sólidos urbanos como fonte de energia renovável elimina os efeitos adversos de sua disposição direta no solo, agregando valor a estes, e a necessidade da adoção de alternativas sustentáveis principalmente em regiões metropolitanas do Estado de São Paulo, onde o volume de resíduos gerado é muito elevado e a disponibilidade de áreas é quase inexistente;

Considerando que as tecnologias de controle de emissão adotadas pela Comunidade Européia especialmente sobre Poluentes Orgânicos Persistentes para o processo de recuperação de energia de resíduos sólidos urbanos são internacionalmente reconhecidas e representam a melhor tecnologia prática disponível, principalmente em áreas saturadas;

#### **RESOLVE:**

**Artigo 1º** - Estabelecer condições operacionais, limites de emissão, critérios de controle e monitoramento para disciplinar o processo de licenciamento do aproveitamento energético dos processos de tratamento térmico de resíduos sólidos, em Usina de Recuperação de Energia, visando a atender o critério de melhor tecnologia prática disponível, de modo a minimizar os impactos deletérios à saúde pública e ao meio ambiente.

A resolução foi publicada em 28 artigos que abordam todas as vertentes tecnológicas e ambientais desse tipo de tratamento para RSU.

### 2.3 Panorama dos Resíduos Sólidos

O primeiro incinerador de resíduos sólidos que se tem notícia entrou em operação no ano de 1874 na Inglaterra. No Brasil, a primeira unidade foi instalada na cidade de Manaus, em 1896, vinte e dois anos depois da implantação da primeira unidade inglesa.

Os primeiros equipamentos foram empregados a princípio como incineradores de RSS, sem a utilização de um sistema de aproveitamento energético. Os sistemas de limpeza de gases existentes nestas instalações eram muito elementares, utilizando-se apenas de sistema de coleta de material particulado.

Estes equipamentos passaram por melhorias tecnológicas ao longo dos anos, o que permitiu a minimização dos riscos da emissão de poluentes e uma melhor eficiência na destruição e manejo dos resíduos incinerados, tal fato pode ser constatado através do panorama mundial do destino dos RSU em alguns países conforme pode ser observado na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1-** Destino dos resíduos sólidos urbanos em alguns países no mundo

<b>Pais</b>	<b>Aterros e/ ou Lixões</b>	<b>Incineração com Recuperação de Energia</b>	<b>Compostagem + Reciclagem</b>
Brasil	89%	-	11%
República Tcheca	76%	14%	10%
Espanha	62%	6%	32%
França	41%	32%	27%
Itália	58%	8%	34%
Portugal	73%	20%	7%
Reino Unido	79%	7%	14%
Hungria	92%	6%	2%
Suécia	9,7%	46,7%	43,6%
Estados Unidos	54,4%	13,6%	32%
Argentina	95%	-	5%
Colômbia	95%	-	5%
Tailândia	30%(só aterro)	54%(inclui lixões)	16%

**Fonte:** CEMPRE (2010).

A partir da evolução tecnológica do processo da incineração, passou-se a considerar a incineração como uma opção ambientalmente adequada para o manejo dos resíduos sólidos. Considerando a Tabela 2.1 constata-se que a tecnologia da incineração está presente em vários países. Essa opção ocupa papel de destaque notório na gestão e gerenciamento integrado dos resíduos principalmente na França, Suécia e Tailândia.

Evidenciado o panorama mundial, sendo assim analisam-se alguns pontos referentes ao cenário brasileiro e ao processo de gerenciamento RSU no Brasil.

O Brasil é o maior país da América Latina e ocupa cerca de 50% do território do continente com uma população aproximada de 194 milhões de habitantes segundo dados do censo 2010 (IBGE, 2010).

No Brasil, existem 5.564 municípios, a maioria deles, para não dizer a totalidade, encontram diversas dificuldades no manejo dos seus resíduos sólidos urbanos, tanto na coleta, como no tratamento e destinação, e até mesmo com a fiscalização de órgãos competentes.

A geração de RSU no Brasil registrou crescimento de 1,8%, de 2010 para 2011, índice percentual que é superior à taxa de crescimento populacional urbano do país, que foi de 0,9% no mesmo período, (ABRELPE, 2011).

A quantidade de RSU coletados em 2011 cresceu em todas as regiões, em comparação ao dado de 2010. A região sudeste continua respondendo por mais de 50% dos RSU coletados e apresenta o maior percentual de cobertura dos serviços de coleta no país (ABRELPE, 2011). A Tabela 2.2 ilustra a quantidade de municípios e a destinação adotada para os resíduos.

**Tabela 2.2-** Quantidade de municípios por destinação adotada

Destinação final	2011- Regiões e Brasil					
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
<b>Aterro Sanitário</b>	88	446	154	808	698	2194
<b>Aterro Controlado</b>	169	502	148	640	365	1764
<b>Lixão</b>	252	846	164	220	125	1607
<b>Brasil</b>	449	1794	446	1668	1188	5565

**Fonte:** ABRELPE (2011).

Dos 1.668 municípios dos quatro Estados da região sudeste estima-se que tenham gerado em 2011 aproximadamente de 97.293 t/d de RSU das quais 96,52% foram coletadas.

Diante da tendência constatada em 2010, o índice de coleta per capita cresceu 1,1% em 2011 comparativamente ao ano anterior, sendo que a quantidade de resíduos coletados cresceu 1,9%, indicando um aumento real na abrangência destes serviços. No tocante à geração de RSU, os dados indicam um crescimento de 0,4% no índice per capita de geração para a região, ressalta-se, a marca de 1,293 kg/habitante/dia.

Os dados indicam que os municípios da região sudeste investiram, em média, cerca de R\$ 12,00 por habitante/mês para realização dos serviços e para prestação dos demais serviços de limpeza urbana (incluem despesas com a destinação final dos RSU e com serviços de varrição, capina, limpeza e manutenção de parques e jardins, limpeza de córregos, etc). Deve se citar ainda que, quando se comparam os dados referentes aos anos de 2011 e 2010 verifica-se um aumento de cerca de 4% no volume de recursos aplicados no setor (ABRELPE, 2011).

As Tabelas 2.3 e 2.4 ilustram a evolução da quantidade coletada e gerada dos RSU nos anos de 2010 e 2011, sendo apresentados ainda, os dados referentes à forma de destinação dos resíduos sólidos do Estado de São Paulo.

**Tabela 2.3-** Coleta e geração de RSU no Estado de São Paulo.

<b>Anos</b>	<b>População urbana</b>	<b>RSU coletado (kg/hab/dia)</b>	<b>RSU Gerado ( t/dia)</b>
2010	39.552.234	1,382	55.742
2011	39.874.768	1,385	56.007

**Fonte:** ABRELPE (2011).

**Tabela 2.4-** Destinação final de RSU no Estado de São Paulo.

<b>Destinação final</b>	<b>2010(t/dia).</b>	<b>2011(t/dia).</b>
Aterros Sanitários	41.642	42.259
Aterros Controlados	8.232	8.228
Lixos	4.776	4.727

**Fonte:** ABRELPE (2011).

### **2.3.1 Panorama dos Resíduos na Região de Bauru**

A região de Bauru começa a apresentar problemas quanto à destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos, conseqüentemente apresenta-se perspectiva de esgotamento das áreas de destino de lixo, dada a expansão e o aumento na geração dos resíduos sólidos produzidos na zona urbana.

Segundo dados da CETESB (2010), estima-se que a região de Bauru produza diariamente algo em torno de 550 toneladas dia de resíduos sólidos, tendo como fator agravante o fato de que, a cidade de Bauru vem apresentando nos últimos anos uma taxa de crescimento populacional bem superior a média nacional.

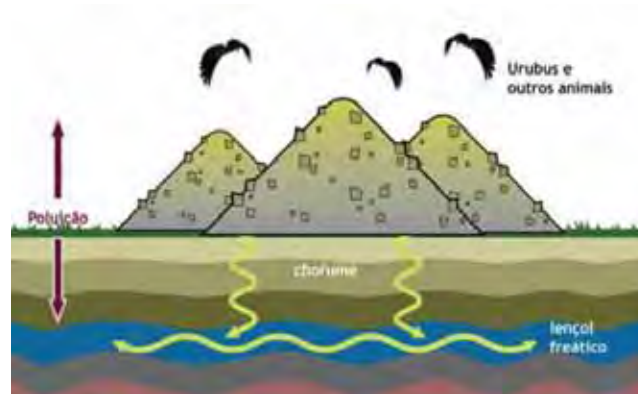
Dados do IBGE (2010) mostram que a taxa de crescimento para a região era da ordem de 2,3 % na década de noventa, depois de ter permanecido superior a 3,0 % na década anterior.

## 2.4 Disposição dos Resíduos Sólidos

### 2.4.1 Lixão

De acordo com CEMPRE (2010), o lixão é definido como forma inadequada de disposição de resíduos municipais, caracterizado pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente.

Os resíduos dispostos dessa forma acarretam inúmeros problemas à saúde humana e ao meio ambiente, dentre os quais, podemos citar poluição do solo e das águas subterrâneas pela infiltração do chorume, além do descontrole dos tipos de resíduos recebidos nestes locais, ocorre à facilitação a proliferação de vetores de doenças. A Figura 2.1 ilustra o esquema de um lixão.



**Figura 2.1:** Lixão

**Fonte:** GONÇALVES (2003).



### 2.4.2 Aterros Controlados

O aterro Controlado por outro lado, utiliza-se de técnicas para a disposição dos resíduos municipais no solo, eliminando-se os danos e os riscos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais. Nessa forma de deposição segundo critérios técnicos é realizado o recobrimento com terra a intervalos regulares CEMPRE (2010). Porém, nenhuma forma de controle ambiental é realizada, não existe o recolhimento do chorume e os gases gerados não são recolhidos.

Essa forma de disposição não elimina totalmente os riscos ambientais, visto que este método produz poluição, mesmo que de forma localizada e minimizada geralmente não dispõem de impermeabilização do solo, o que compromete a qualidade das águas subterrâneas. A Figura 2.2 mostra o esquema de um aterro controlado.



**Figura 2.2:** Aterro Controlado

**Fonte:** GONÇALVES (2003).

### 2.4.3 Aterros Sanitários

Segundo Manual CEMPRE (2010), os aterros sanitários são utilizados para a disposição dos resíduos sólidos no solo, geralmente dos resíduos municipais, os aterros sanitários devem ser construídos fundamentados em critérios de engenharia e normas específicas, o que permite um acondicionamento e controle da poluição ao meio ambiente e a proteção a saúde pública.

O aterro sanitário é uma das formas para a disposição final de resíduos sólidos gerados pela atividade humana. Nele são dispostos resíduos domiciliares, comerciais, de serviços de saúde, da indústria de construção.

No que se refere à aterragem, ao contrário da deposição comum, é uma forma de disposição final de RSU mais adequada, e que minimiza os impactos ambientais (quando devidamente controlada), por não gerar danos ou riscos à saúde pública, Castro (2002). A aterragem pode ocorrer de duas maneiras: o aterro controlado e o aterro sanitário.

Os aterros controlados são locais onde o RSU é confinado, sendo coberto por uma camada de material inerte ao final de cada coleta; já os aterros sanitários são locais em que há a acomodação do lixo em solo compactado em camadas sucessivas e depois cobertas por material inerte. Neste último tipo de aterro é realizada a drenagem de gases e percolados, que se não for feita gera mal cheiro, contaminação dos lençóis freáticos e atrai vetores (pássaros, roedores, animais peçonhentos, etc). A Figura 2.3 ilustra o esquema de um aterro Sanitário.



**Figura 2.3:** Aterro Sanitário

**Fonte:** GONÇALVES (2003).

Pelos relatos de Bizzo (1994), alguns fatores têm dificultado a continuidade da aplicação desse procedimento tradicional (aterragem). Pois com o crescimento dos grandes centros urbanos, os locais que normalmente poderiam torna-se aterros vêm sendo ocupadas por moradores.

Ressalte-se a necessidade de adequação ao uso das futuras áreas, assim quando da execução de novos projetos, faz-se necessário projetar e executar de maneira a atender aos requisitos de isolar o lixo do meio ambiente, impedir a infiltração de chuvas, bem como impedir a saída não controlada do biogás.

## 2.5 Formas de Tratamento

### 2.5.1 Reciclagem e Compostagem

A reciclagem pode ser definida como a reintrodução dos resíduos no processo produtivo para serem reelaborados, gerando um novo produto. Mas, para que isto ocorra, deve-se tomar o devido cuidado para que esses resíduos sejam realmente encaminhados à sua reutilização, e não aos lixões.

Segundo CEMPRE (2010), o tratamento biológico do lixo como forma de aceleração do processo de decomposição da matéria orgânica tem sido objeto de estudos teóricos e acadêmicos. Ressalte-se ainda que alternativa da digestão aeróbica tem sido apontada como a que traz maiores vantagens para a decomposição do lixo. Essa opção demanda tecnologia de processo relativamente complexo e controle em todas as suas fases. Como outra possibilidade às dificuldades apresentadas pelo processo aeróbico, existe uma corrente tecnológica que apresenta a concepção de digestão **semi-aeróbica**. Essa concepção procura eliminar as desvantagens de implantação e de operação de sistemas forçados de insufladores de ar no lixo, adotando diretrizes preventivas de biogás e percolados, e a aeração natural por convecção.

Destaque-se que o mencionado anteriormente é vantajoso ao passo que se elimina a principal inviabilidade do processo aeróbico, que é o custo. Essa concepção procura eliminar as desvantagens de implementação e de operação da digestão aeróbica, tem sido usada no Japão, podendo também ser implementada por meio de técnicas de abertura das células e segregação dos materiais em compostos orgânicos e inertes como no tratamento biológico.

Tal técnica, na visão de Castro (2002), é a opção mais importante para a qualidade de vida ambiental e humana, já que a sua adoção gera direta e indiretamente empregos e evita os problemas ambientais, sociais e de saúde pública (pela diminuição da quantidade de lixo a ser aterrado e incinerado), além do baixo custo quando comparada aos outros métodos.

Ainda segundo o mesmo autor, os processos de **compostagem aeróbia** de RSU incorporam três passos básicos: processamento do RSU, decomposição aeróbia da fração orgânica dos resíduos e preparação e comercialização do produto gerado.

Define-se a **compostagem** como sendo um processo de transformação bioquímica da matéria orgânica facilmente degradável (em condições controladas de temperatura, umidade e aeração) num produto biologicamente estável denominado *composto orgânico*, com

propriedades físicas, químicas e biológicas tais que pode ser aplicado no solo para melhoria de sua qualidade sob o ponto de vista agrônômico.

A atividade metabólica dos microorganismos altera a composição química da matéria orgânica, reduz o volume e o peso dos resíduos, e aumenta a temperatura do material que é fermentado. Normalmente a matéria orgânica é depositada em leiras, que devem ser revolvidas proporcionando oxigênio para o processo de decomposição e controle da temperatura dos resíduos em processo de fermentação.

Esse resíduo orgânico, precedido da unidade de triagem e tratado pelo processo de compostagem, pode ser considerado isento de contaminantes, portanto, o lixiviado terá altas concentrações de macro e micronutrientes, podendo ser tratado por recirculação ou diluindo-o com parte da água de irrigação para as leiras que apresentam baixos teores de umidade. O excedente do lixiviado deverá ser direcionado para um tanque coletor e, em seguida, para o sistema de tratamento.

Durante o processo de compostagem aeróbia, estão ativos diversos microorganismos. Nas primeiras fases do processo as predominantes são as bactérias mesofílicas. Depois que a temperatura do composto aumenta, predominam as bactérias termofílicas. Caso não estejam presentes tais microorganismos em alguns tipos de resíduos biodegradáveis (por exemplo, jornais), poderá ser necessário realizar o processo de fermentação usando um produto aditivo ou inoculante, Tchobanoglous et al. (1996).

A microbiologia de todos os processos de compostagem aeróbia é similar. Os parâmetros cruciais para o controle do processo incluem: conteúdo de umidade, relação C/N e temperatura. Para a maioria dos resíduos orgânicos biodegradáveis, uma vez que o conteúdo de umidade está entre 50 e 60% e a massa esteja aerada, então o metabolismo microbiano se acelera. Os microorganismos aeróbicos que utilizam oxigênio se alimentam de matéria orgânica e desenvolvem tecido celular a partir de nitrogênio, fósforo, algo de carbono e outros nutrientes necessários. Grande parte do carbono serve como fonte de energia para os microorganismos, queimando-se e sendo expelido como dióxido de carbono.

A preparação e comercialização do composto, terceiro passo no processo de compostagem, acontece quando o mesmo estiver curado e estabilizado. Atualmente não há nenhuma definição aceita sobre o que constitui um composto totalmente estabilizado.

A elaboração de um projeto de tratamento de matéria orgânica pelo processo de compostagem não é tarefa simples, principalmente quando se procura a obtenção de bons resultados. As principais considerações de projeto e controle associadas com a decomposição biológica aeróbica de resíduos sólidos são:

- tamanho da partícula
- relação carbono-nitrogênio (C/N)
- mistura e homogeneização
- temperatura
- controle de patógenos
- quantidade necessária de ar
- controle de PH
- grau de decomposição
- necessidade do terreno

A compostagem é uma das mais antigas técnicas de reciclagem até por ser um processo natural, que consiste em processar materiais orgânicos, ricos em nutrientes, que ao serem decompostos por microorganismos aeróbios e anaeróbios são utilizados como adubo (Castro, 2002).

Uma das vantagens da compostagem é o fato do adubo produzido prevenir o solo contra erosões, além de aumentar sua umidade, controlar seu PH (impedindo a alcalinização ou acidificação do solo) e fornecer importantes nutrientes ao mesmo. Mas esse tipo de descarte de resíduos só serve para materiais orgânicos, pois outros tipos de materiais podem ser prejudiciais ao solo (tornando-o poluído).

### **2.5.2 Tratamento Térmico**

No tratamento térmico a alta temperatura pode ocorrer à combustão da fração orgânica dos resíduos, gerando principalmente gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), água e cinzas, ou a decomposição térmica da fração orgânica, gerando gases, líquidos e sólidos combustíveis, CEMPRE (2010).

Para Poletto Filho (2008), a combustão do lixo é caracteriza-se como o método mais eficiente para eliminar as emissões de metano que são produzidas quando os RSU são despejados em aterros, além de substituir a produção de energia a partir de combustíveis fósseis.

A incineração é uma das alternativas para tratamento de resíduos sólidos urbanos, definida de acordo com Tchobanoglous et al. (1996), como o processamento térmico no qual os resíduos sólidos são oxidados com quantidades de oxigênio em excesso.

Saliente-se que o problema do gerenciamento do lixo tem se transformado em um dos maiores desafios da gestão pública no país, tendo em vista os graves impactos ambientais gerados pelos “lixões” (aterros sanitários fora de especificações e sem controle sanitário) ou mesmo pelo esgotamento da capacidade dos aterros sanitários regulares. Além dos problemas ambientais, ademais os altos custos para operação, há uma grande rejeição da sociedade à deposição de qualquer resíduo próximo à sua residência, tanto pelos odores desagradáveis como pela desvalorização econômica que produzem ao patrimônio imobiliário (SILVA, 1998).

Diante dos problemas citados anteriormente, a conversão desses resíduos em energia é considerada em todo mundo desenvolvido uma opção ambientalmente favorável, tratando-se de uma fonte “limpa, confiável e renovável” gerando energia elétrica de forma eficiente com menor impacto ambiental do que a maioria das outras fontes energéticas.

De modo consequente o processo de incineração não elimina a reciclagem de materiais, mas se torna a primeira e mais importante etapa do sistema. Trata-se de uma solução adequada para o restante dos resíduos que por alguma razão não foram separados previamente, assim, há duas possibilidades para disposição dos resíduos após a remoção dos recicláveis: depósito em aterros sanitários ou usá-los no procedimento de conversão em energia “limpa” e renovável.

Recapitulando, o processo de conversão de lixo em energia é empregado nos países desenvolvidos da Europa e América do Norte há mais de 25 anos, e o atual “estado da arte” garante uma das formas mais “limpas” de geração de energia elétrica.

O maior avanço tecnológico obtido foi no controle da qualidade do ar a partir da queima dos resíduos, de modo que atualmente atingem ou mesmo superam os mais exigentes padrões de qualidade estabelecidos pelas Agências de Proteção Ambiental. Empregam-se processos de múltiplos estágios de tratamento das emissões gasosas da combustão com obtenção de alto rendimento de controle ambiental (trata mais de 99% das emissões gasosas). A Europa e o Japão fizeram uma clara opção pela incineração, (PORTEOUS, 2005).

A União Européia considera o aterro sanitário a última alternativa, pelo grande impacto negativo sobre o meio ambiente e por não empregar o lixo como um recurso.

Ressalte-se que, nas regiões nas quais estão instaladas as plantas de conversão de resíduos em energia, o índice de reciclagem é superior à média nacional, principalmente devido ao fato

dessas indústrias serem parte de um processo integrado de gestão regional de resíduos sólidos, no qual toda comunidade participa efetivamente. Inclusive, as empresas operadoras das usinas, mantêm programas permanentes de educação ambiental que orientam a comunidade envolvida no processo para a melhor forma de aproveitamento dos resíduos. Além disso, a maior parte dos metais contidos nos resíduos (não separados no processo de coleta seletiva) é recuperada após separação das cinzas (PENA, 2007).

No Brasil existe certa desconfiança em relação ao uso do processo de incineração do lixo, isto se deve a utilização, no passado, de equipamentos obsoletos e sem manutenção adequada (BRITO, 2012).

A incineração, segundo Kreith (1994), fornece muitas vantagens, podendo-se citar: redução do volume e peso dos resíduos, redução imediata de resíduos, não exigindo longa permanência em aterro sanitário. Os resíduos podem ser incinerados em locais próximos ou estratégicos e as emissões gasosas podem ser efetivamente controladas não implicando em risco ambiental à atmosfera. Os produtos gerados na queima, ou seja, as cinzas são inertes. As tecnologias existentes permitem completa destruição de materiais perigosos e pode-se recuperar energia no processo.

Para o autor o processo de incineração também apresenta algumas desvantagens que incluem: o elevado custo de investimento, a necessidade de mão de obra especializada e que nem todos os materiais encontrados nos RSU podem ser incinerados.

A recuperação de energia durante o tratamento térmico do lixo pode ter como objetivo: geração de eletricidade e/ou vapor, resfriamento de água em ciclos de refrigeração por absorção e co-geração de energia (SILVA, 1998).

Diferentes tecnologias de incineração foram desenvolvidas para tratar os vários tipos e as várias formas de resíduos. Em geral as unidades servem para incineração de resíduos sólidos, líquidos e lamas, Poletto Filho (2008). A classificação dos sistemas utilizados para incineração é feita segundo o formato da câmara e processo de combustão realizado, dentre as diferentes opções empregadas para combustão de resíduos sólidos urbanos, destacam-se: sistemas com dupla-câmara fixa, cilindro rotativos, leito fluidizado e sistemas com plasma.

A quantidade de resíduos a ser incinerado, o poder calorífico do material combustível e demais parâmetros de combustão, determinam o tipo de tecnologia a ser adotada (SAFFER, 2011).

A tecnologia da incineração consolida-se no mundo como uma forma permanente no processo de gestão dos resíduos sólidos, sendo que o aproveitamento energético é obtido ao mesmo tempo em que se atende à demanda quanto à resolução dos problemas referentes à destinação RSU (HAUSER, 2006).

Assim sendo, ressalte-se a opção pela incineração desses resíduos em instalações adequadas, que dispõem de sistemas eficientes de tratamento de efluentes vem sendo uma das soluções adotadas por muitos países, a exemplo dos países da comunidade européia.

Segundo Hauser (2006), em alguns países desenvolvidos a técnica WTE está bem estabelecida, ao passo que no Brasil ela ainda não tem relevância, para o autor a incineração de RSM é uma maneira eficiente de reduzir o volume de lixo e, portanto, a demanda de espaço para aterramento.

O impacto mais importante da incineração de RSU são as emissões do processo de combustão, Henriques (2004). As emissões individuais dos poluentes vindos de uma planta de incineração irão variar de acordo com a tecnologia. Muitos dos poluentes da incineração podem ser minimizados pelo processo de combustão com a composição exata dos resíduos, dependendo muito da região escolhida e das políticas de gestão de resíduos como as iniciativas de reciclagem.

Deve-se avaliar também a questão de formação de dioxinas e furanos devido ao processo de incineração. As altas temperaturas da incineração quebram as ligações químicas, atomizando macromoléculas e praticamente zerando a possibilidade de formação de dioxinas e furanos. Utiliza-se adicionalmente, carvão ativado em leitos de pós-combustão que adsorvem eficientemente qualquer resquício de dioxinas e furanos, bem como de metais voláteis. Com a utilização de duas câmaras de combustão, funcionando adequadamente e com o rápido resfriamento dos gases de combustão, atingem-se níveis de dioxinas menores do que  $0,14 \text{ mg/m}^3$ .

Este processo pode aceitar resíduos com pouco pré-processamento ou tratamento, embora esteja havendo um esforço considerável de alguns países para o desenvolvimento de resíduos destinados a aquecedores industriais. Geralmente isso é requerido para que haja remoção de componentes grandes antes do abastecimento da câmara de combustão. Atualmente o processo de incineração mais popular é o de duplo estágio, onde o resíduo é queimado na câmara primária, que é a receptora direta do lixo, em uma temperatura suficientemente alta para que algumas substâncias presentes se tornem gases e outras assumam a forma de



pequenas partículas. Nesse dispositivo, a temperatura de operação varia tipicamente entre 500°C e 900°C. Em todas as configurações, a alimentação de oxigênio nessa câmara é subestequiométrica, evitando-se assim gradientes elevados de temperatura. Nessas condições controladas, evita-se a volatilização de grandes quantidades de metais presentes no lixo, como chumbo, cádmio, cromo, mercúrio, entre outros. Além disso, minimiza-se a formação de óxidos nitrosos, que surgem apenas sob temperaturas mais elevadas. A fase gasosa gerada na câmara primária é encaminhada para a câmara secundária. Essa mistura de gases e partículas é, então, queimada a uma temperatura mais alta por um intervalo de tempo suficiente para que haja a combustão completa. Tempo de residência representativo para resíduos sólidos é de 30 minutos para o primeiro estágio e de 2 a 3 segundos para a combustão dos gases no segundo estágio. Nesse caso, a atmosfera é altamente oxidante (excesso de oxigênio) e a temperatura de projeto varia normalmente entre 750°C a 1250°C. Os diversos gases gerados na câmara anterior são oxidados a CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O. Nessa temperatura, a probabilidade de existência de moléculas com grande número de átomos como dioxinas e furanos, compostos altamente nocivos aos seres humanos, é baixíssima, (ARANDA, 2001).

Dependendo da composição dos resíduos a serem incinerados, nem sempre é possível manter este patamar de temperatura, daí a necessidade e obrigatoriedade da queima de combustível auxiliar. Também, por força de lei, este combustível deve ser gasoso, o que leva a utilização de GLP ou gás natural na maioria dos incineradores, inclusive aqueles de lixo hospitalar operando no Brasil (SILVA, 1998).

Os gases provenientes desta segunda etapa passam por um sistema de redução de poluição, que consiste em vários estágios (por exemplo: scrubber para a remoção de gases ácidos, precipitador eletrostático para a remoção de poeira e/ou filtros para a remoção de partículas finas), antes de serem expelidos para a atmosfera via uma chaminé. As restritas regulamentações de emissões algumas vezes requerem o uso de carvão ativo no sistema de filtração, para que haja redução da emissão de mercúrio e dioxinas.

O processo de combustão em incineradores produz como produtos finais: gás carbônico (CO<sub>2</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), oxigênio (O<sub>2</sub>), vapor d'água, cinzas e escórias. O gás carbônico, os óxidos de enxofre (principalmente SO<sub>2</sub>) e nitrogênio (NO<sub>2</sub>), tem origem na própria natureza dos resíduos. O SO<sub>2</sub> tem baixa concentração e é precipitado juntamente com as cinzas. O nitrogênio, que por vezes é emitido, é proveniente,

em parte, do ar injetado para a combustão e parte do próprio resíduo (TCHOBANOGLOUS, 1996).

As cinzas representam a fração não volatilizada e a escória, os restos de metais ferrosos e inertes (vidro, por exemplo).

Quando a operação de um incinerador não é bem conduzida, resultando em combustão incompleta, ocorre o aparecimento de monóxido de carbono (CO) e material particulado (fuligem). No caso de ocorrer queima a altas temperaturas, o nitrogênio pode ser dissociado, levando à formação de óxidos de nitrogênio como NO e N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Alterações de temperatura e pressão durante o processo podem levar a um estado de equilíbrio químico de tal forma que a reação de combustão é inibida completamente (SILVA, 1998).

A eficiência do processo de incineração reside em dois pontos fundamentais:

1. manutenção da mistura ar-combustível nos níveis exigidos pelo projeto, o que é obtido regulando-se a quantidade de ar injetado.
2. transferência da maior quantidade de calor gerado durante a combustão, para a massa de resíduos a ser incinerada.

Henriques (2004), trabalhando na UFRJ, obteve o valor de 2,66 MWh/t, do RSU do campus para o material seco. Caso o material fosse incinerado sem a prévia secagem, seu poder calorífico seria de apenas 0,7 MWh/t de RSU. Este fato denota a relevância da secagem do material, rico em matéria orgânica, antes de ser levado para a incineração.

Maranho (2008), realizou trabalho semelhante nessa área, analisou a viabilidade de geração de energia elétrica a partir da combustão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) do município de Bauru e sua região administrativa. O objetivo principal foi levantar dados da quantidade e composição do material coletado e estimar o potencial de energia a ser gerado. Para tanto, foi analisado o total diário coletado na região citada obtido do Relatório Anual da CETESB. Adotou-se a hipótese da constituição de um consórcio intermunicipal, onde Bauru seria a melhor opção para sediar a planta regional para incineração dos RSU, por ser a maior geradora e estar localizada na região central elegida.

Para obter os resultados de combustão completa, utilizou-se o software Combust, importante ferramenta para simular o processo e calcular as composições dos gases gerados.

Os resultados permitiram inferir que poderiam ser obtidos aproximadamente 355 MWh/dia de energia elétrica, sendo 12,8 MWh/dia usados para o transporte de parte dos RSU até

Bauru, ou seja, um potencial energético líquido de 342,2 MWh/dia. Quando se considerou a separação de plástico, papel/papelão para reciclagem, o potencial energético líquido caiu para 228 MWh/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.

Atualmente, existem incineradores no mercado que apresentam grande eficiência de queima com baixo consumo de combustível e baixo teor de emissões. De forma conservadora, os gases que saem da segunda câmara de combustão, apesar da eficiência da queima, carecem ainda de um tratamento adicional, que em muitos casos funciona como uma precaução adicional de segurança, CEMPRE (2010).

Segundo Silva (1998), uma instalação moderna de incineração de RSU é constituída por:

- Fossa de deposição de resíduos;
- Balde de garras para alimentação da câmara de combustão;
- Alimentador da câmara de combustão por grelhas;
- Câmara de combustão (onde os resíduos são queimados);
- Câmara de pós-combustão;
- Caldeira de recuperação de energia (local onde passam os gases resultantes da queima com a finalidade de produzir vapor que pode ser utilizado diretamente em indústrias, para aquecimento da central ou para geração de energia elétrica);
- Tratamento de Gases (separador de particulados, filtro de mangas, lavador de gases, filtro eletrostático);
- Sistema de exaustão de dispersão de gases (chaminé);
- Tratamento de Líquidos, efluentes líquidos gerados no processo de lavagem de gases;
- Coleta e pré-tratamento dos efluentes sólidos (cinzas e escórias geradas nas câmaras de combustão);
- Corpo receptor para material sólido (aterro sanitário);
- Instalações de controle e automação e instalações auxiliares.

A Figura 2.4 mostra uma moderna Planta de incineração de RSU com sistema de aproveitamento energético.



**Figura 2.4:** Planta de incineração de RSU com aproveitamento energético.

**Fonte:** THEMELIS (2006).

A recuperação de energia durante o tratamento térmico do lixo pode ter como objetivo:

- A geração de eletricidade;
- A geração de vapor para aquecimento doméstico ou para processos industriais;
- O resfriamento de água em máquinas de absorção para fins de condicionamento de ar;
- A co-geração ou tri-geração com a “produção” simultânea de eletricidade, vapor, e água fria para condicionamento de ar.

Segundo Hauser (2006), a incineração de RSU é uma maneira eficiente de reduzir o volume de lixo e, portanto, a demanda de espaço para aterramento, especialmente, se cinzas e resíduos sólidos residuais provenientes da incineração e lavagem de gases, forem adequadas para o uso como matéria-prima na construção. Como as usinas WTE (Waste to Energy) podem ser instaladas próximo aos centros de produção de lixo, elas reduzem os custos sociais e financeiros do transporte.

Para autor ainda a combustão do lixo representa o método mais eficiente para eliminar as emissões de metano que ocorreriam se os RSU fossem despejados em aterros. Além disso, a recuperação de energia do lixo pode substituir a produção de energia a partir de combustíveis fósseis. Estas são duas maneiras de reduzir as emissões de GEE com a técnica WTE.

Para Hauser (2006), o primeiro passo é o recebimento dos RSU e a seleção de materiais recicláveis: os RSU recebidos são armazenados em um silo que alimenta uma esteira. Antes da incineração, o lixo é secado com o uso de calor excedente do processo. O lixo selecionado e secado é denominado combustível derivado de resíduos (CDR).

O segundo passo do processo é a incineração e recuperação de energia: o CDR é dirigido à câmara de combustão, que opera em uma temperatura mínima de 850°C.

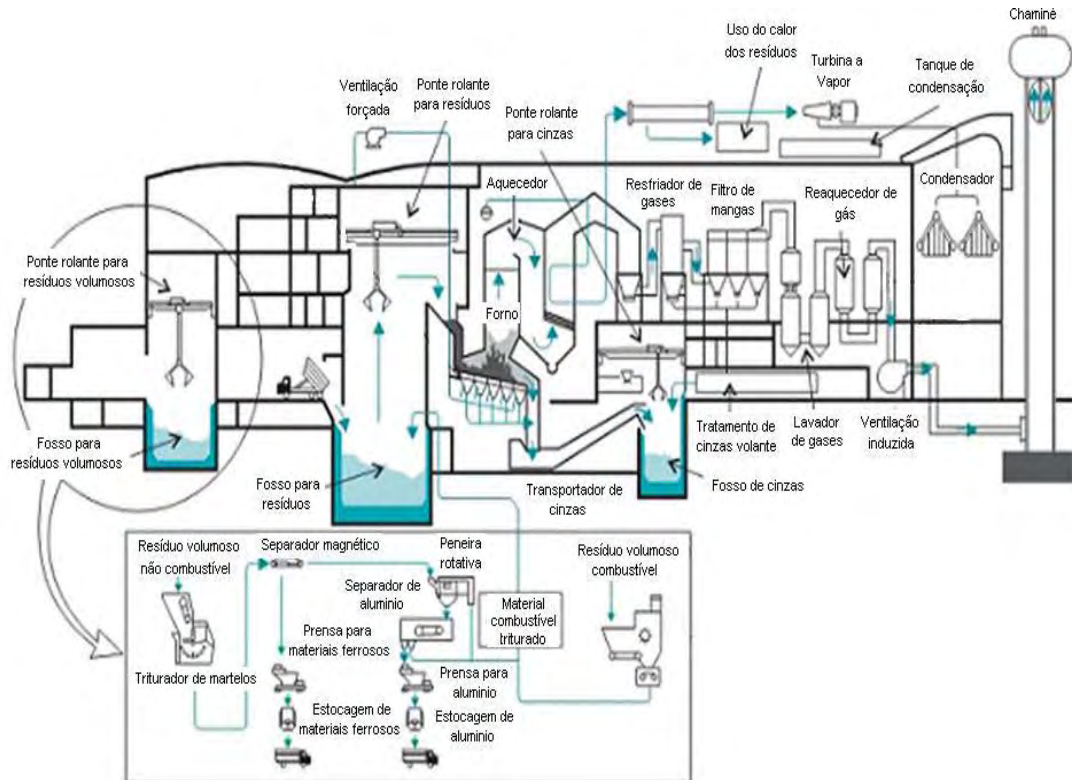
A cinza produzida é retirada com o uso de uma corrente de água no fundo da câmara. Os gases de combustão são conduzidos à câmara de pós-combustão, onde a temperatura é superior a 1000°C e um excesso de oxigênio garante a total oxidação.

Os gases quentes gerados são conduzidos para uma caldeira de recuperação de calor, onde se cria vapor pressurizado para impulsionar o turbo gerador que fornece eletricidade. Depois do processo de geração, o vapor é condensado e a água retorna ao processo inicial.

O próximo passo é a lavagem dos gases de combustão. Os gases de combustão são conduzidos ao equipamento de lavagem. O passo seguinte é aspergir água no gás de combustão para reduzir a temperatura e dissolver os gases ácidos. Depois, o gás é conduzido por um tubo cruzado por cortinas d'água produzidas por hélices em movimento. A passagem do gás de combustão através destas cortinas d'água leva à sua purificação. Depois, os gases são secos e liberados por meio da chaminé. O processo completo de lavagem do gás de combustão é feito sob pressão negativa e a água é reutilizada.

O último passo é a precipitação e decantação de sólidos das águas usadas. A cinza produzida na câmara de combustão é retirada por um fluxo de água e conduzida à câmara de decantação primária. Partículas sólidas se sedimentam no fundo da câmara e os componentes dissolvidos e alcalinos são transportados para uma segunda câmara de decantação. Ali, a solução alcalina é neutralizada com a água ácida residual do processo de lavagem do gás de combustão, levando à precipitação de sais que podem ser periodicamente removidos do fundo da câmara. Se sua composição for adequada, eles podem ser usados como nutrientes agrícolas, na construção civil ou depositados em um aterro adequado.

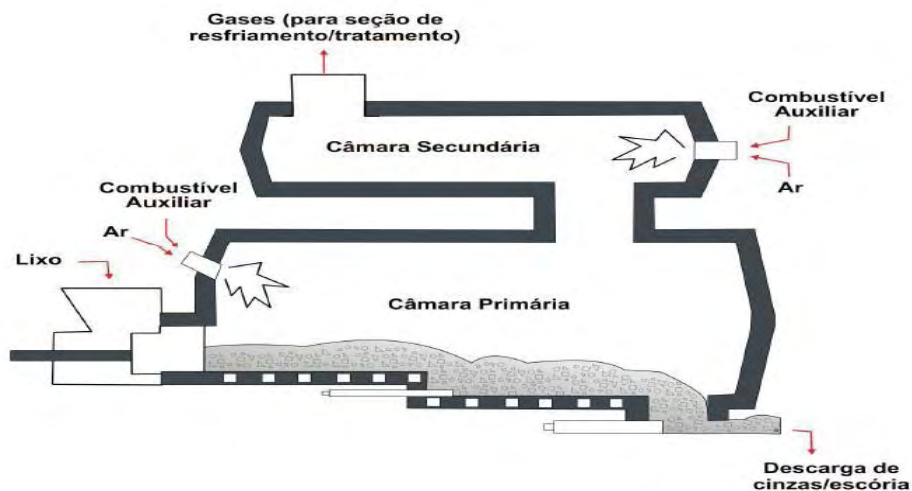
A Figura 2.5 ilustra o fluxograma típico de uma planta de incineração de resíduos sólidos urbanos com geração de energia.



**Figura 2.5:** Fluxograma Típico de uma Planta de Incineração com Recuperação de Energia  
**Fonte:** POLETTI FILHO (2008).

### 2.5.2.1 Tipos de Incineradores

A Figura 2.6 ilustra o esquema representativo Dupla-Câmara de Combustão.

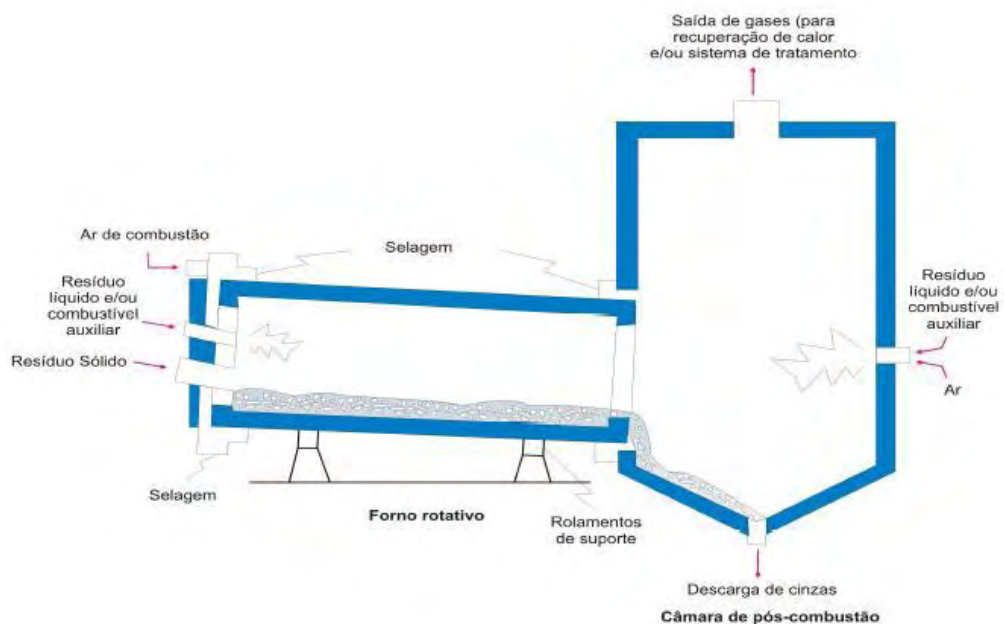


**Figura 2.6:** Esquema Representativo Dupla-Câmara de Combustão.  
**Fonte:** HENRIQUES (2004).

Existem diferentes tipos de tecnologias para combustão de resíduos sólidos urbanos, destacando-se: sistemas com dupla-câmara fixa, cilindro rotativos, leito fluidizado e de plasma, Gabai (2004), Baird et al. (2002).

### 2.5.2.2 Incinerador de Resíduos do tipo Rotativo (Sólidos e Líquidos)

Segundo Tchobanoglous et al. (1996), são os fornos mais versáteis, devido ao fato de serem aplicáveis à destruição de resíduos sólidos e líquidos. Devido a isto, estas unidades são frequentemente incorporadas em projetos de plantas de incineração comerciais. O forno rotativo é um cilindro horizontal revestido internamente com refratários, que é montado com uma pequena inclinação. A rotação do forno varia de 0,5 a 2 revoluções por minuto, e esta rotação induz o transporte de resíduos através do forno e melhora a homogeneização do resíduo a ser queimado. O resíduo pode mover tanto co-corrente quanto contracorrente em relação ao fluxo de gás. O forno tem uma função primária de converter parte dos resíduos sólidos em gases através de uma série de volatilização, destilação destrutiva e reações parciais de combustão. Após este processo é utilizada uma segunda câmara de pós-combustão, onde se completa a queima dos gases provenientes do forno. A Figura 2.7 apresenta um incinerador do tipo rotativo capaz de operar resíduos líquidos e sólidos.



**Figura 2.7:** Incinerador do Tipo Rotativo.

**Fonte:** GABAI (2004).

### 2.5.2.3 Incinerador do Tipo Leito Fluidizado

A tecnologia de combustão em leito fluidizado foi desenvolvida durante a II Guerra Mundial e vem sendo aprimorada, permitindo a queima de diferentes tipos de resíduos. A fluidização é a suspensão de material num fluxo de gás ascendente. Uma pequena quantidade de combustível é misturada a quantidades razoáveis de material inerte a altas temperaturas promovendo então a queima.

Equipamentos onde os resíduos são carregados de forma triturada e são fluidizados pelo ar de combustão. A temperatura ótima de operação está entre 450 e 1000°C. Para manter uma temperatura de combustão à 850°C, é necessário dispor de resíduos com PCI maior que 2 MJ/kg. Nas instalações mais recentes, o ar é pré-aquecido entre 420 e 650°C, o que melhora a eficiência do sistema. A agitação do leito pelo ar de fluidização permite a combustão completa. É possível melhorar a combustão por meio de recirculação no seio do leito (leito fluidizado rotativo) pela inserção de placas defletoras que asseguram maior eficiência de transferência de calor (SILVA, 1998).

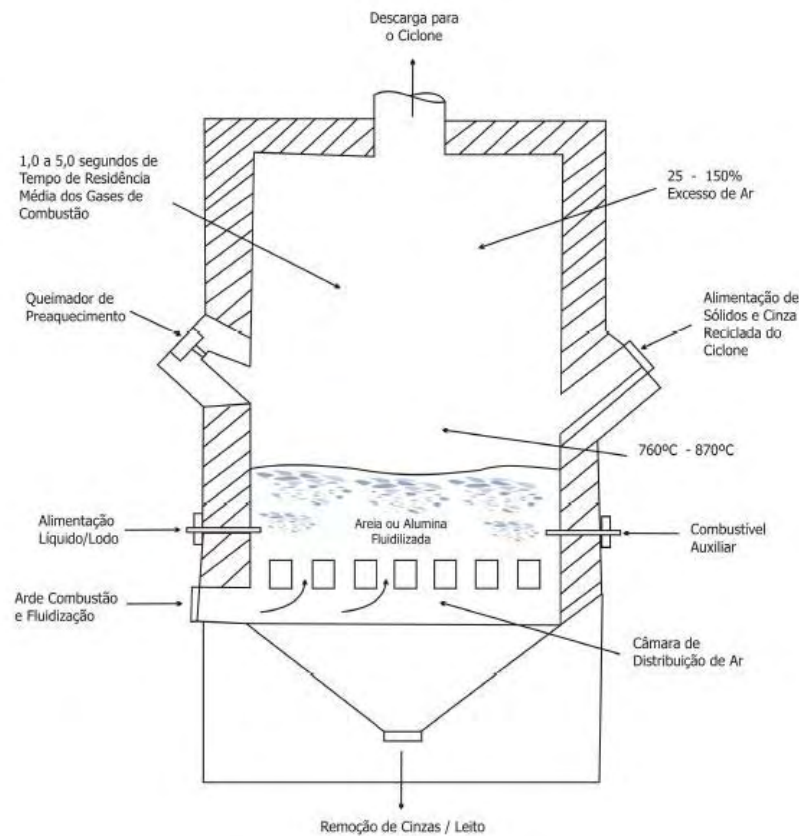
As vantagens desta tecnologia são principalmente:

- facilidade na concepção e na manutenção;
- eficácia da combustão;
- redução de tamanho do equipamento;
- pouca emissão de NO<sub>x</sub>, pelo fato de operar com gás a baixa temperatura e mínimo excesso de ar e;
- a temperatura do leito é relativamente uniforme.
- Baixa formação de Sox e de ácidos (HF, HCL) pela neutralização propiciada pelo próprio leito;
- Reduzidas partes móveis diminuindo a manutenção por desgaste ou quebra de partes

Os inconvenientes são, principalmente, aqueles relacionados com a impossibilidade de tratar todos os tipos de resíduos, em particular certos tipos de compostos orgânicos que podem causar formação de aglomerados.

Existem instalações deste tipo operando nos EUA, na Alemanha, Itália e França. A Figura 2.8 apresenta um incinerador de tipo leito fluidizado.





**Figura 2.8:** Incinerador Tipo Leito fluidizado.

**Fonte:** GABAI (2004).

#### 2.5.2.4 Incinerador de Câmaras Fixas Múltipla

Também denominados de ar controlados, ou incineradores pobres em ar, ou pirolíticos. Estes incineradores empregam processos de combustão de dois estágios, muito parecidos com fornos rotativos. O resíduo é empurrado ou bombeado para dentro da câmara primária, e queimado num ambiente que contenha cerca de 50% a 80% do oxigênio estequiométrico necessário para a combustão completa. Esta condição pobre em oxigênio promove a evaporação da maior parte da fração volátil pelo calor endotérmico provido pela oxidação da fração de carbono fixo. A fumaça resultante dessa primeira queima, junto com os produtos pirolíticos produzidos, que constituem principalmente, de metano, etano e outros hidrocarbonetos; mais os monóxidos de carbono e os produtos de combustão são levados para a segunda câmara de combustão. Nesta segunda câmara ocorre a injeção de ar (numa faixa de 100% a 200% da relação estequiométrica necessária) para completar a combustão. Estas

unidades de câmaras fixas tendem a ter menores capacidades que os incineradores de injeção líquida ou de fornos rotativos, devido às limitações físicas do alimentador e o transporte de grandes quantidades de resíduos através da câmara de combustão. Possui a vantagem de possuir um custo de capital relativamente baixo e reduzido potencial de requisitos de controle de particulados (SILVA, 1998).

#### **2.5.2.5 Incineradores a Plasma**

Tais equipamentos podem atingir temperaturas de até 10.000°C por meio da passagem de uma fonte de corrente elétrica através de um gás inerte, como argônio. O plasma é constituído por uma mistura de elétrons e íons positivos, incluindo núcleos, e podem decompor compostos com sucesso, produzindo emissões muito menores que os incineradores tradicionais. Além disso, produz silicatos vítreos e metais líquidos (este se existir quantidade suficiente de metais no resíduo a ser incinerado), como resultado do processo de incineração.

#### **2.5.2.6 Tratamento dos Gases de Combustão**

Henriques (2004), descreve em seu trabalho, de uma maneira geral, como os gases provenientes da combustão, em incineradores do tipo câmara fixa múltiplas são tratados. Segundo o autor, o tratamento desses gases envolve processos físicos e químicos, havendo uma grande variedade de opções de conformação e equipamentos. A primeira etapa consiste em esfriar os gases que saem entre 1000°C e 1200°C da câmara secundária. Nessa etapa, além de resfriarem os gases de combustão, gera-se vapor de água que pode ser utilizado na conversão em energia elétrica, sistemas de aquecimento ou mesmo sistemas de refrigeração. Em seguida, os gases são neutralizados com a injeção de hidróxido de cálcio (*dryscrubber*), altamente eficiente na neutralização e captura de SO<sub>x</sub> e HCl. Os gases já resfriados e neutralizados passam então por um sistema de filtros (filtros manga) que retiram o material particulado (fuligem, sais e hidróxido de cálcio) de dimensão de até 0,3 µm. Em algumas conformações utilizam-se outros sistemas, como precipitadores eletrostáticos, lavadores Venturi, ciclones etc.

Finalmente, os gases passam por um leito adsorvente, à base de carvão ativado (leito fixo ou fluidizado), de alta área superficial que possui tripla ação:

*Retenção de óxidos nitrosos:* evita-se picos de geração de NO<sub>x</sub>, eventualmente formados por distúrbios na câmara secundária, inibindo que sejam emitidos abruptamente para a atmosfera;

- *Retenção de organoclorados*: ação preventiva quanto à emissão de dioxinas por algum problema na câmara secundária;
- *Retenção de metais voláteis*: o material adsorvente atua como uma “peneira molecular” retendo metais voláteis. Tanto por injeção, como através de um leito fixo, o material adsorvente possui comprovadamente altíssima eficiência na retenção dos metais.

Tanto os filtros mangas como os leitos de carvão funcionam entre 150°C e 200°C. A perda de calor ao longo do próprio tratamento de purificação de gases faz com que a temperatura de saída da chaminé seja inferior a 120°C.

#### **2.5.2.6.1 Lavadores de Gases:**

Os Lavadores de Gases são equipados com sistema separador úmido “Auto Induzido”, altamente eficaz e econômico e ainda requerem pouca manutenção.

Nos casos onde houver a separação de material particulado (MP) sem a presença de névoas ácidas ou alcalinas, apenas a adição de água industrial no tanque será suficiente.

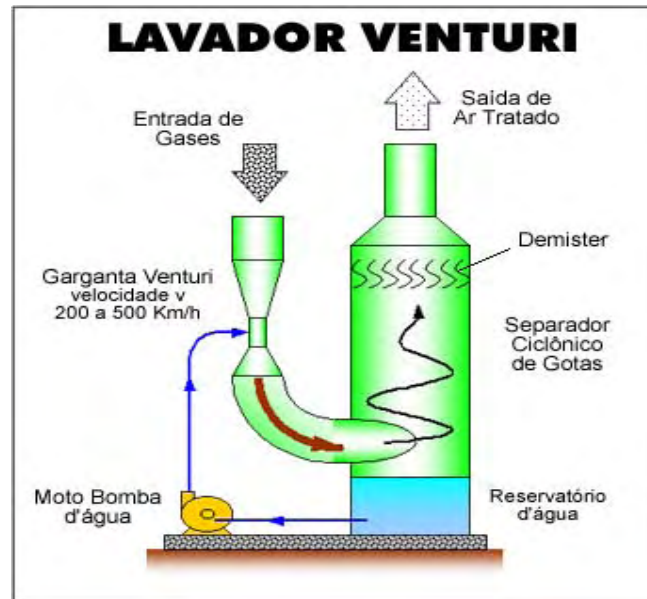
Nos casos onde houver a presença de MP e névoas ácidas e/ou alcalinas, haverá a necessidade de preparação de uma solução que promova a neutralização destes gases. Nestes casos é de primordial importância o estudo de um agente químico específico para a finalidade proposta.

#### **2.5.2.6.2 Ciclones**

Os equipamentos mais utilizados para o controle de particulados são:

- Separadores ciclônicos;
- Separadores úmidos (lavadores de gás ou scrubbers);
- Filtros eletrostáticos;
- Filtros de manga.

Na indústria e outras atividades humanas, apresentam-se emissões de particulados de diferentes características (dimensões e densidade das partículas, concentração, etc). A Figura 2.9 mostra um lavador Venturi com separador ciclônico. Esse equipamento opera devido à ação da força centrífuga, que provoca a separação dos particulados. Sua eficiência é maior quando é criada pela entrada tangencial do gás e rotação do mesmo dentro do ciclone.



**Figura 2.9:** Lavador de Gás Venturi com Separador Ciclônico.

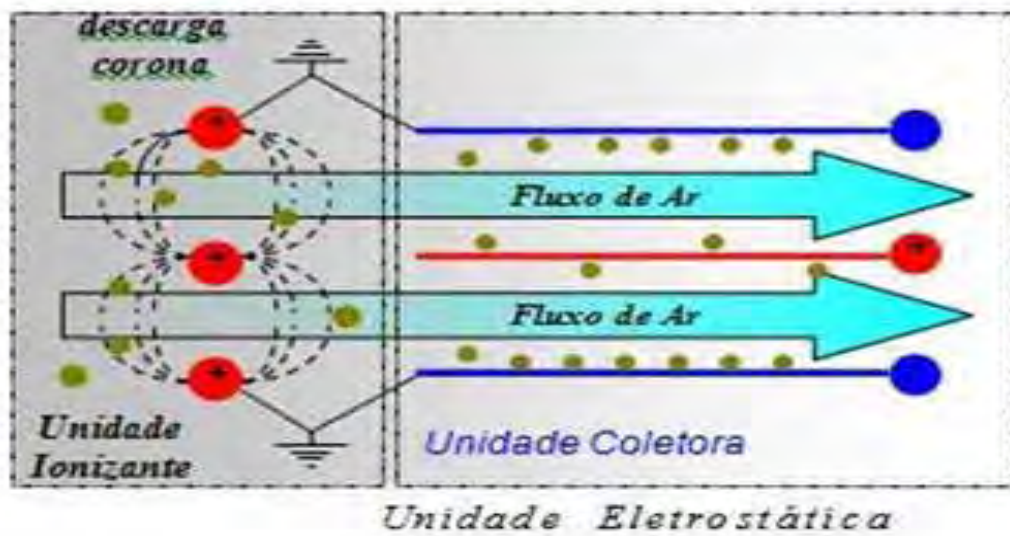
Fonte: SICARI (2003).

### 2.5.2.6.3 Precipitadores Eletrostáticos

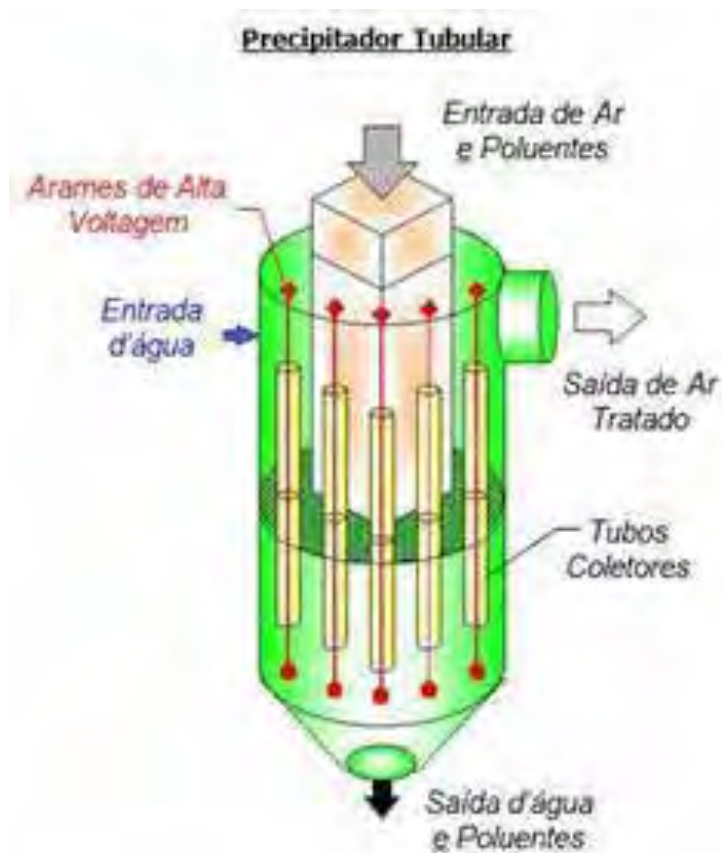
O precipitador eletrostático é um dispositivo usado para remover partículas sólidas ou líquidas suspensas em um meio gasoso usando forças eletrostáticas. São usados na indústria para diminuir a concentração de partículas sólidas lançadas à atmosfera.

Os precipitadores eletrostáticos são eficientes no combate à poluição. Os poluentes contidos na corrente gasosa contaminada são carregados eletrostaticamente. Na unidade coletora as partículas já magnetizadas são atraídas pelas placas de polaridade oposta onde se depositam e se aglomeram, se o poluente for líquido o mesmo escorre pelas placas e pelo dreno do filtro (SICARI, 2003).

Na região de entrada dos precipitadores, as partículas são carregadas eletricamente por íons gerados nas regiões de descarga elétrica (onde ocorrem campos elétricos de alta intensidade). As partículas assim carregadas são atraídas pelas placas coletoras através de forças elétricas onde se depositam, criando uma camada. A espessura dessa camada tende a aumentar continuamente, diminuindo a eficiência do precipitador. A Figura 2.10 e 2.11 respectivamente ilustra o esquema de funcionamento e vista simplificada de um precipitador eletrostático.



**Figura 2.10:** Esquema de Funcionamento de um Precipitador Eletrostático.  
**Fonte:** SICARI (2003).



**Figura 2.11:** Precipitador Eletrostático Modelo Tubular  
**Fonte:** SICARI (2003).

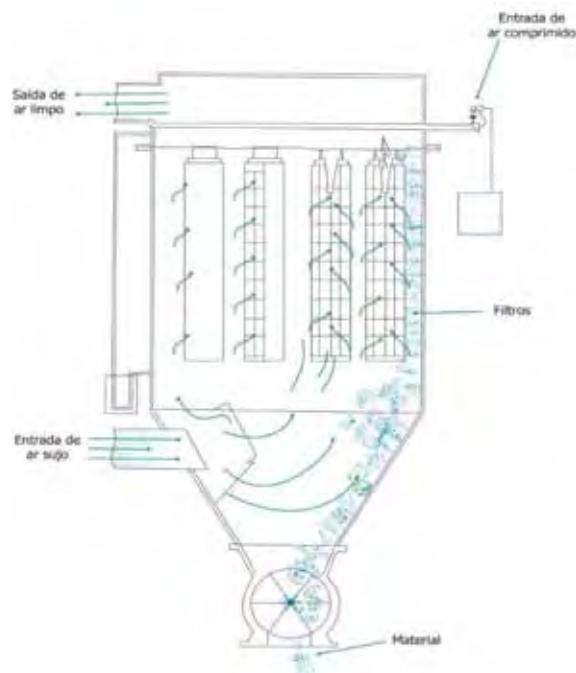
#### 2.5.2.6.4 Filtro de Mangas

Trata-se de uma tecnologia especialmente efetiva para reter partículas sólidas presentes no fluxo de gases (em geral, para partículas cujo tamanho supere um micron a retenção é da ordem de 99%) (SILVA,1998).

O princípio de funcionamento destes equipamentos consiste em fazer passar os gases através de um filtro (normalmente de tecido natural ou fibra de vidro), capaz de reter o pó e as partículas e deixar passar os gases.

A captação destas partículas produz-se graças à ação combinada de diversos mecanismos: colisão direta, difusão, deposição gravitacional e atração eletrostática.

Um aspecto crítico é o material construtivo destes filtros. É fundamental que resistam e se comportem adequadamente à temperaturas superiores a 200°C, já que deve-se evitar temperaturas de trabalho excessivamente baixas que poderiam promover condensação e consequentemente corrosão. Neste sentido, a fibra de vidro e as fibras de poliamidas são capazes de trabalhar em boas condições a altas temperaturas (250-280°C), e os filtros de tecidos naturais são mais eficazes na retenção de partículas sólidas. A Figura 2.12 apresenta o desenho esquemático de um filtro de mangas.



**Figura 2.12:** Filtro de Mangas.

**Fonte:** SILVA (1998).

## 2.6 Benefícios Socioeconômicos e Ambientais da Incineração de RSU

Segundo Santos (2009), a incineração é um processo para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU), que envolve a combustão das substâncias orgânica que compõe o RSU. Durante o processo de incineração o resíduo apresenta uma redução do seu volume, do seu peso, e da sua periculosidade inicial, através da combustão controlada. A incineração pode ser considerada como um processo de reciclagem energética, já que a energia liberada na queima pode ser usada em outros processos. A incineração transforma os resíduos basicamente em três produtos: cinzas, gases e calor. As cinzas são em sua maioria formadas por constituintes inorgânicos que estavam presentes nos resíduos. Elas podem se aglomerar em nódulos sólidos, ou podem ser carregadas diretamente pelos gases da combustão. Os gases da combustão necessitam de um tratamento adequado para reduzir a concentração de alguns poluentes gasosos presentes, além de reduzir a quantidade de material particulado, antes de ser despejado na atmosfera.

Os incineradores reduzem o volume dos resíduos de 95-98% do volume original, dependendo da composição e do grau de recuperação de materiais. De acordo com o mesmo autor, a incineração dos RSU neutraliza os gases, e o chorume provenientes dos mesmos. O metano que é produzido pelo RSU, e é lançado diretamente na atmosfera contribui para o aquecimento global, já que este tem a capacidade de reter a radiação solar. O chorume pode infiltrar no solo, e contaminar além do solo, lençóis de água subterrâneos.

Conforme Santos (2009), com a busca continua de novas alternativas para o tratamento de RSU e a procura por novas fontes de energia renováveis, a utilização da tecnologia *Waste to Energy* (WTE) mostra-se muito promissora, pois, trata-se de uma forma para a destinação dos resíduos sólidos urbanos, e que ao final do processo obtém como produto energia elétrica e/ou a energia térmica.

A incineração de RSU com o objetivo de reaproveitamento energético faz parte da Política Nacional de Resíduos Sólidos sancionada em 2010, esta também menciona a distribuição de incentivos fiscais, financeiros e creditícios; bem como a criação de consórcios públicos que envolvam resíduos sólidos, pois esta tem a prioridade na obtenção dos incentivos instituídos pelo Governo Federal.

Segundo a Hauser (2006), a incineração de RSU, com a finalidade de geração de energia faz parte do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), adotado pelo protocolo de Kyoto. Consiste em reduzir as emissões de gases poluentes para os países desenvolvidos e apoiar projetos que promovam a sustentabilidade em países desenvolvidos. Estes gases

contribuem para o efeito estufa, que causa o aquecimento global. A cada tonelada de gases poluentes que não deixe de ser emitido ou a retirada deles da atmosfera, poderá ser adquirido pelos países desenvolvidos através do Mercado Mundial de Redução Certificada de Emissão, ou conhecida como Créditos de Carbono, no Mercado do Kyoto. Como os países desenvolvidos têm metas de redução a serem atingidas, e estes não conseguem reduzir suas emissões de gases nocivos. Então eles “compram” os carbonos de países em desenvolvimento que seriam lançados na atmosfera. Desta forma, os países em desenvolvimento deixam de emitir gases e recebem investimentos para promover seu desenvolvimento. Entretanto para que um projeto possa participar do Mercado de Carbono, esta deve seguir algumas normas e avaliações, para somente depois poder comercializar seus Créditos de Carbono

O documento da UNFCCC sobre as mudanças Climáticas comenta que, o Protocolo de Kyoto inovou com a implementação do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) e comércio de emissões projetado para aumentar a relação custo-eficácia de mitigação das mudanças climáticas.

Ainda segundo Hauser (2006), um setor favorável para projetos MDL, por atender aos critérios de redução eficiente das emissões de gases de efeito-estufa (GEE) e de desenvolvimento sustentável, é o tratamento de RSM.

## **2.7 Composição e Caracterização**

O RSU pode ser caracterizado através do seu peso específico, volume gerado, composição química, umidade e poder calorífico. Esta caracterização é importante para dimensionar o sistema de coleta como um todo. O peso específico é importante para dimensionamento das características da frota de veículos coletores, do número de estações de transbordo e dos incineradores. Segundo Tchobanoglous et al. (1995), o peso específico do RSU em um caminhão compactador é aproximadamente  $500 \text{ kg/m}^3$ .

Infelizmente, existe muita dificuldade na estimativa da massa específica dos resíduos, devido a sua não uniformidade, e também em função das condições em que o mesmo se encontra (compactado ou não). A composição do RSU é influenciada por vários fatores: número de habitantes, poder aquisitivo, nível educacional, hábitos e costumes da população, condições climáticas e sazonais, e mudanças na política econômica de um país.

Da composição química obtêm-se informações quanto ao teor de oxigênio, hidrogênio, carbono e enxofre, determinando assim a quantidade de ar necessária nos incineradores,



câmaras, e demais componentes do sistema, para completar o processo de combustão de maneira eficiente.

A estimativa das quantidades por habitante e totais de RSU gerados, bem como sua composição, pode ser divergente, pois depende de vários fatores, tais como: época do ano, tipo de coleta e pesagem, condições climáticas, entre outros, Tchobanoglous et al. (1996).

No Brasil dos resíduos sólidos coletados 77,1% são de resíduos domésticos e comerciais. A média nacional de produção “per capita”, diária, é de 0,88 kg/hab, sendo 0,68 kg de resíduos domiciliares e 0,20 kg de resíduos da limpeza pública. Verifica-se o aumento dos valores “per capita” gerados à medida que cresce a população do município. A ABRELPE (2011), afirma que o crescimento das quantidades de lixo coletadas, ao longo da última década ocorreu de forma exponencial em relação ao crescimento populacional.

### 2.7.1 Poder Calorífico

As informações sobre a composição química dos resíduos sólidos domésticos são de grande importância na avaliação de processos alternativos e opções de reciclagem. A prática da incineração, por exemplo, torna-se viável, dependendo da composição química dos resíduos. O conteúdo energético pode ser determinado em laboratório, empregando-se calorímetros ou estimado por cálculos baseados na composição elementar (% em massa de C, H, O, S e umidade) de componentes conhecidos dos resíduos domésticos.

O poder calorífico do RSU pode ser determinado experimentalmente ou a partir das porcentagens em massa dos diferentes componentes (papel, matéria orgânica, tecidos, etc.). Pode-se estimar através das seguintes fórmulas empíricas validas para unidades no Sistema Internacional, tais como:

#### Fórmula de Mendelejev:

$$PCI = 340.C + 1030.H - 110(O - S) - 25.W \quad (2.1)$$

Onde:

C, H, O, S e W são porcentagens de carbono, hidrogênio, oxigênio, enxofre e humidade do combustível correspondentemente.

**Fórmula de Dulong para combustíveis sólidos:**

$$PCS = 339,6.C + 1418,9\left(H - \frac{O}{8}\right) + 94,2.S \quad (2.2)$$

Onde:

C, H, O e S são porcentagens de carbono, hidrogênio, oxigênio e enxofre.

Para a prática da incineração levam-se em consideração algumas características do RSU como: peso específico:

- volume gerado
- composição química
- umidade
- poder calorífico

Na composição química têm-se informações quanto ao teor de oxigênio, hidrogênio, carbono e enxofre, determinando assim a quantidade de ar necessária nos incineradores, câmaras, e demais componentes do sistema.

- **Poder Calorífico** de um combustível é a energia liberada pela combustão total à pressão constante de um quilograma de combustível.
- **Poder Calorífico Superior (PCS)** é a quantidade de calor liberada para queimar completamente um quilograma de combustível, resultando gás carbônico e água no estado líquido.
- **Poder Calorífico Inferior (PCI)** resultada combustão a gás carbônico e vapor d'água. A diferença entre o PCS e o PCI é a entalpia de vaporização da água originada na combustão (POLETTI FILHO, 2008).

Dessa forma é necessário conhecer a quantidade produzida de RSU. Para a estimativa das quantidades geradas por cada município. Usam-se índices diferentes, pois depende de vários fatores.

Na Tabela 2.5 são apresentados os índices que permitem aferir dados sobre a quantidade de RSU coletado por município, leva-se em conta a quantidade de habitantes de cada cidade para

se obter uma aproximação de valores entre as cidades variando de acordo com o número de habitantes.

**Tabela 2.5-** Índice de produção “per capita” de RSU em função da população.

<b>Classificação</b>	<b>Índice de produção kg/habitante/dia</b>
Até 100 mil hab.	0,4
100 mil a 200 mil hab.	0,5
200 a 500 mil hab.	0,6
Acima de 500 mil hab.	0,7

**Fonte:** CETESB (2010).

Por exemplo, de acordo com a CETESB (2010), as cidades com população de até 100 mil habitantes produzem em média 0,4 kg de RSU por habitante a cada dia.

Associado ao parâmetro das quantidades produzidas de RSU diária de cada município tem-se a quantidade de energia liberada pela combustão dos materiais. A Tabela 2.6 mostra o poder calorífico de diferentes combustíveis e dos principais componentes do lixo.

Observe-se que o conteúdo de energia do plástico é comparável ao conteúdo de energia dos derivados de petróleo, que não só são usados como matéria-prima na produção de plásticos como também queimados para a produção de energia. Assim, é claro que o esforço de coletar, separar e reciclar o plástico deixa de ser economicamente rentável quando a recuperação de energia a partir deste resíduo torna-se uma opção viável. Portanto, deixando o resíduo plástico no lixo a energia obtida com a sua incineração pode ser empregada para reduzir a queima de derivados de petróleo, os quais podem ser usados na produção de novos produtos plásticos de qualidade superior se comparados ao material reciclado

Além disso, este processo poupa o esforço e a energia empregados na reciclagem. Uma forma de contornar tal problema é efetuar a reciclagem de objetos plásticos inteiros, mas não separar os pequenos pedaços que podem favorecer a chamada “reciclagem energética”.

**Tabela 2.6** - Poder calorífico de diferentes combustíveis e dos principais componentes do lixo

<b>Combustível ou componente</b>	<b>Poder calorífico Inferior, kcal/kg</b>
Carvão (antracite)	7.620
Carvão (betuminoso)	7.811
Turfa	2.006
Óleo combustível	10.062
Gás Natural	9.921
Resíduos sólidos municipais misturados	2.682
Papel misturado	3.800
Papel de jornais	4.443
Papel corrugado	3.936
Correspondência antiga	3.401
Revistas	2.933
Resíduos de alimentos misturados	1.323
Embalagens de leite	6.330
Polietileno	10.556
Poliestireno	9.175
Plásticos misturados	7.881
Pneus	7.713
Folhas de árvores (50% umidade)	1.975
Folhas de árvores (10% de umidade)	4.462
Ervas (65 % de umidade)	1.502
Madeira verde	1.172
Madeira de construção	4.080

**Fonte:** US EPA (1996) apud MARANHO (2008).

O valor médio do Poder Calorífico Inferior de alguns materiais, segundo Conesa (2005) e Tchobanoglous et al. (1996), encontrados no RSU é mostrado na Tabela 2.7.

**Tabela 2.7** – Valor médio PCI de alguns componentes do RSU.

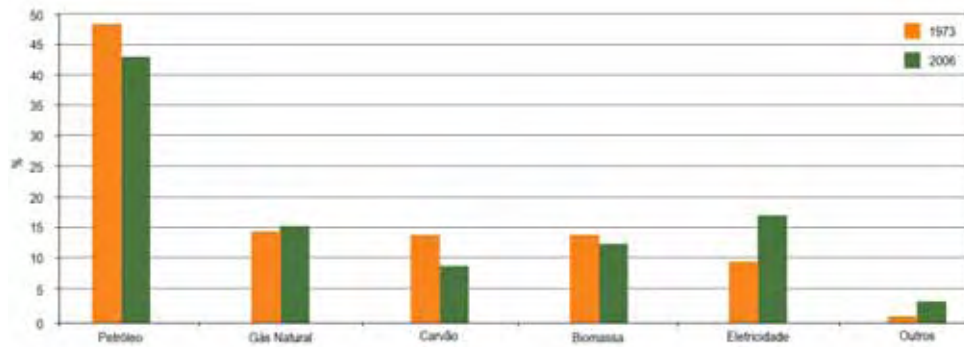
<b>Material</b>	<b>Conesa</b> kcal/kg	<b>Tchobanoglous et al.</b> kcal/kg
Resíduo de comida	900	1.111
Papel/papelão	3.900	4.000
Têxtil	3.400	4.167
Madeira	4.300	4.400
Plástico	5.000	7.778

Com a atual tendência da segregação de materiais que tem algum valor de mercado, encontrados no RSU, surge a questão da variação no Poder Calorífico em função do tipo e qualidade do material segregado. Este procedimento pode influenciar o rendimento de uma usina de recuperação de energia, por exemplo, a redução na quantidade de plásticos presentes no RSU pode elevar o custo da produção de energia, pois diminui o seu poder calorífico.

## 2.8 Energia da Biomassa

Segundo Maranhão (2010), a energia gerada pela biomassa representa uma parte significativa da matriz energética brasileira. As emissões de  $CO_2$  provenientes da biomassa não são contabilizadas como formadoras do efeito estufa já que em sua produção este gás é extraído da atmosfera. Contudo, a contabilidade dos gases emitidos pela biomassa é apurada já que outros gases, como o metano, são incluídos no inventário. Por outro lado, a compreensão dos mecanismos de reciclagem do carbono na atmosfera através da biomassa é importante para a compreensão do fenômeno do aquecimento global.

A biomassa é tida como uma das fontes de produção de energia com maior potencial de crescimento, a Figura 2.13 ilustra os dados comparativos da matriz de consumo energético entre os anos de 1973 e 2006.

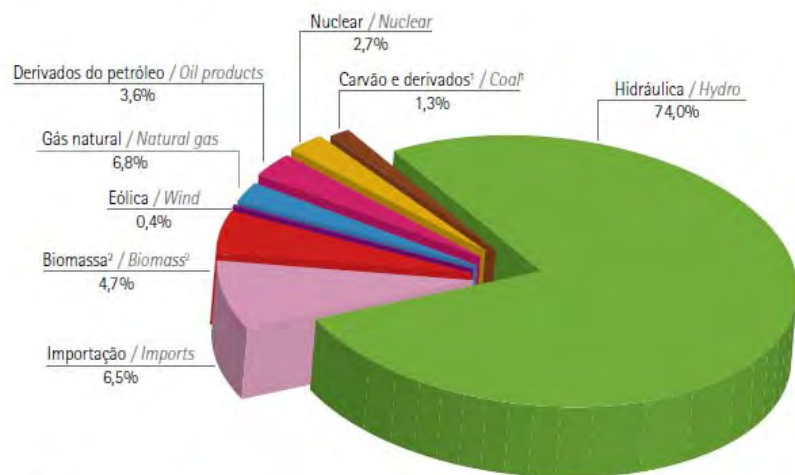


**Figura 2.13:** Matriz de Consumo nos Anos de 1973 e 2006.

**Fonte:** IEA (2008) apud EPE (2011).

Goldemberg (2009), afirma que existe um grande número de tecnologias de conversão energética da biomassa, adequadas para aplicações em pequena e grande escala. Elas incluem gaseificação, métodos de produção de calor e eletricidade (co-geração), recuperação de energia de resíduos sólidos urbanos e gás de aterros sanitários além dos biocombustíveis para o setor de transportes (etanol e biodiesel).

A Figura 2.14 ilustra a oferta interna de energia elétrica por fonte. Verifica-se que as fontes de biomassa representam um valor expressivo nas fontes de energia elétrica brasileira. O incremento da produção de eletricidade por centrais termoelétrica a biomassa é tema atual na sociedade brasileira. Atualmente tem-se a necessidade de buscar o desenvolvimento sustentável em todos os aspectos da sociedade moderna, incluindo-se o setor elétrico, surgiu assim, a eminência da substituição do modelo convencional amplamente adotado.



Notas/ Notes:

<sup>1</sup> Inclui gás de coqueria/ Includes coke gas.

<sup>2</sup> Biomassa inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações/ Biomass includes firewood, sugar cane bagasse, black liquor e other wastes.

**Figura 2.14:** Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte.

**Fonte:** EPE (2011).

Goldemberg (2009), afirma que interesse está crescendo no desenvolvimento de sistemas integrados que permitiriam a co-produção energética, como meio de atingir economias significativas no custo e benefícios ambientais. Portanto o uso da produção de energia por fontes de biomassa que não provoquem danos ao meio ambiente deve ser levado em conta.

Maranho (2008), reforça a necessidade da importância da biomassa na matriz energética brasileira e que um tratamento mais cuidadoso das emissões provenientes dessa matriz é necessário, uma vez que, a abordagem padrão definida pelo IPCC (International Panel on Climate Change) está mais dirigida a perfis energéticos onde a biomassa é menos importante.

Para Goldemberg (2009), os padrões atuais de produção e consumo de energia é baseado nas fontes fósseis, o que gera emissões de poluentes locais, gases de efeito estufa e põem em risco o suprimento de longo prazo no planeta. Assim, o aumento com a preocupação por parte da sociedade com as questões ambientais deve influenciar na tomada de decisões, o que pode trazer como consequentemente gerar menor impacto ambiental.

Ainda segundo o autor o futuro da matriz energética depende do tipo de desenvolvimento e crescimento econômico, que um país, eventualmente queira adotar. Portanto, é necessário analisar as questões que refletem visões diferentes do futuro e dão consequentemente, resultados diferentes.

Assim, as decisões não devem ser tomadas meramente levando-se em conta modelos amplamente estabelecidas, mas também, pesando-se nos rumos do desenvolvimento que estamos traçando para o futuro. É possível reduzir os impactos ambientais, com decisões pensadas e analisadas de forma correta, utilizando-se estudos prévios sobre os impactos que podem ser gerados.

## **2.9 Viabilidade Econômica**

Segundo Newnan (2000), algumas das formas mais fáceis de tomada de decisão em engenharia se relacionam com problemas de projetos, com tudo os resultados das decisões ocorrem dentro de prazo bastante curto, podemos rapidamente adicionar os custos e benefícios para cada alternativa, adotando critérios econômicos adequados, podemos identificar a melhor alternativa.

Tendo em vista que o trabalho proposto tem como foco principal a análise da viabilidade econômica na realização de consórcio intermunicipal para a construção de uma planta de

incineração com recuperação energética como forma mitigadora e como mecanismo de gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos da região de Bauru, é importante verificar as melhores alternativas para se avaliar a viabilidade econômico-financeira da implantação do projeto, de maneira a possibilitar a ponderação das situações e amparar a tomada de decisões.

A viabilidade econômica segundo Hirschfeld (2000), compõe-se de vários aspectos, tais como:

- objetivos e aspectos legais;
- aspectos jurídicos;
- aspectos administrativos;
- aspectos mercadológicos;
- aspectos técnicos;
- aspectos econômicos contábeis;
- aspectos financeiros;

No tocante aos objetivos e aspectos legais examinam-se as informações existentes sobre o empreendimento além dos aspectos que favorece a tal decisão.

O aspecto jurídico consiste do exame de informações jurídicas sobre a empresa, exemplificadas nos estatutos, tipos de ações e aspectos legais das áreas do empreendimento.

Em relação aos aspectos administrativos examinam-se o organograma da empresa, além dos componentes e currículo da Diretoria e do Conselho de Administração.

Quanto aos aspectos mercadológicos, examinam-se todos os aspectos do mercado, concluindo-se por possíveis demandas e receitas operacionais.

Nos aspectos econômicos contábeis apresentam-se os balanços previstos, baseados nos possíveis resultados operacionais.

Quanto aos aspectos financeiros, o exame pode ser realizado através da análise do Valor líquido do Fluxo de Caixa previsto para o empreendimento, pode-se determinar este valor através da Equação (2.3).

$$V_L = G_p - C_p \quad (2.3)$$

Onde:



$V_L$  = Valor líquido do Fluxo de Caixa descontado os Custos (R\$)

$G_p$  = Ganhos com o projeto (R\$)

$C_p$  = Custos com o projeto (R\$)

Considera-se, que o custo relativo ao projeto é composto por operação e manutenção (os custos deste processo incluem todos os custos incorridos, ou seja, engloba desde os custos administrativos até os custos com transporte, armazenamento, mão de obra, entre outros), além do custo com tributos, pagamento de juros e amortização de empréstimos.

No entanto, posteriormente a análise, recomenda-se uma avaliação dos custos de oportunidade, envolvendo os custos sociais (que consideram o aumento das atividades produtivas e o aumento de renda) e os custos ambientais (benefícios gerados ao meio ambiente).

Para elaborar o estudo e verificar a possibilidade da implantação de determinado projeto, deve-se iniciar a verificação econômica e financeira. Para tanto existem diversas metodologias utilizadas, por exemplo, a utilização do princípio de análise de Custos e Despesas do projeto, contendo:

- Fluxo de caixa;

Também utilizar-se dos índices econômicos, incluindo os seguintes subitens:

- Ponto de Equilíbrio de Produção e Tempo de Retorno;
- Valor Presente Líquido e a Taxa interna de Retorno;
- Lucratividade e Rentabilidade.

Para Giannini (2010), antes de iniciar um estudo mais detalhado a respeito das metodologias encontradas atualmente para análise da “viabilidade econômica”, é relevante expor de maneira sucinta, como aferir tal viabilidade.

Para se determinar de maneira efetiva a análise econômica do empreendimento, faz-se necessária a verificação de todas as receitas e custos para a implantação do projeto.

Segundo Elrich (2005), afirma que, quando se analisa uma situação é necessário construir um modelo que permita a compreensão do projeto analisado, e somente após estar-se satisfeito com o modelo é que se utilizam os procedimentos quantitativos.

Por fim, deve-se atentar às despesas gerais da implantação do projeto, que também podem ser divididas, em variáveis e fixas, a primeira que ponderam os impostos, despesas com

vendas e despesas financeiras operacionais; e a outra que avalia as despesas administrativas e os impostos.

### **2.10 Fluxo de Caixa**

Segundo Giannini (2010), o investimento envolve um desembolso financeiro na expectativa de receber benefícios posteriores. O fluxo de caixa é um mecanismo simplificado de análise das entradas e saídas da empresa. Dessa forma, pode-se verificar a necessidade de capital externo (resultado negativo do fluxo de caixa) ou aplicação financeira (resultado positivo).

Segundo Hirschfeld (2000), o fluxo de caixa referente a um empreendimento deve compor-se de contribuições que refletem, com grande probabilidade de acerto, as entradas e as saídas de dinheiro que realmente irão atuar no período do projeto.

Assim podem-se condensar todas as contribuições de um projeto, destacando-se os seguintes conjuntos importantes;

- 1- Investimentos.
- 2- Resultados operacionais (receitas subtraídas as despesas operacionais).
- 3- Receitas eventuais.
- 4- Gastos eventuais (pagamentos de juros, aquisições de bens etc.)

### **2.11 Indicadores Econômicos**

A elaboração de um Projeto de Viabilidade deve ser feita baseada em um estudo detalhado, para que os valores encontrados apresentem maior eficiência possível no que tange as projeções dos coeficientes calculados, de forma que, minimize as incertezas apresentadas pelo negócio pretendido.

Assim segundo Giannini (2010), para se determinar de maneira efetiva a análise econômica de um empreendimento, faz-se necessária a verificação de todas as receitas e custos para a implantação do projeto.

Para tanto, além de verificar as receitas e custos do empreendimento, deve-se calcular a partir de tais resultados, alguns índices econômicos visando esclarecer ainda mais a situação. Neste trabalho serão descritos os seguintes métodos de análise econômica:

- Ponto de Equilíbrio (PE), Payback;
- Valor Presente Líquidos (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR);

- Relação Custo/Benefício (B/C);

### 2.11.1 Ponto de equilíbrio e Tempo de Retorno

Para Hirschfeld (2000), a análise de equilíbrio é definida como o ponto em que duas alternativas, funções de um mesmo parâmetro e comparadas em idênticas condições de instantes e prazos apresentam o mesmo valor.

O Ponto de Equilíbrio (PE) é definido, por Lapponi (2007), como os níveis de produção e venda mínimas que uma empresa obter para que não haja perdas. Ou seja, é o ponto em que receitas e custos são equivalentes, não havendo lucros e nem prejuízos. Para a realização do cálculo do PE, devem-se considerar os Custos Fixos ( $C_f$ ), os Custos Variáveis ( $C_v$ ) e as Receitas Totais Brutas ( $R_b$ ) das vendas.

Para Newnan (2000), o ponto de equilíbrio consiste em uma forma de análise de sensibilidade, que se costuma utilizar-se para ilustrar a sensibilidade a determinada estimativa de uma decisão entre as alternativas.

Ainda segundo o autor, o ponto de equilíbrio tem por objetivo estabelecer condições sob as quais as alternativas são equivalentes, e costuma ser apresentado sob forma de gráfico de ponto de equilíbrio, sendo um parâmetro para determinar o efeito sobre uma decisão particular.

O método do Prazo de Retorno (Payback), também chamado Prazo de Recuperação do Investimento, este método fornece um número de períodos do fluxo de caixa em questão nos quais a somatória dos Benefícios se iguala ao somatório dos Custos, Hirschfeld (2000).

O Método Payback fornece os números de períodos necessários para que a soma das Receitas nominais líquidas futuras iguale ao valor do investimento inicial, isto é, o número de anos em que a soma do fluxo de caixa, a partir do investimento inicial torne-se nulo.

Portanto, o Payback consiste em um intervalo de tempo necessário para que os benefícios advindos de um investimento possam cobrir seus Custos, considerando a uma adequada taxa de juros. Assim pode-se determinar o Tempo de Retorno a partir da Equação (2.4).

$$Payback = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Valor de Entrada Médio}} \quad (2.4)$$

A importância do **Payback** está no fato de fornecer aos empreendimentos um índice que possibilita estimar os ganhos associados ao seu retorno ou pagamento do investimento inicial. Este índice é de fácil manuseio e tem grande potencial de decisão comparativa, orientando os investidores quanto às melhores alternativas.

### 2.11.2 Valor Presente Líquido e a Taxa Interna de Retorno

Em relação ao Valor Presente Líquido, pode-se dizer que é um método mais usado para determinar o valor presente de recebimentos e de desembolsos, Newnam (2000).

O Método do Valor Presente Líquido (VPL) também chamado de Método do Valor Anual Líquido tem como finalidade determinar um valor no instante considerado inicial, a partir de um fluxo de caixa formado uma série de receitas e dispêndios, Hirschfeld (2000).

O Valor Presente Líquido de um fluxo de caixa, segundo Hirschfeld (2000) é, portanto, a somatória algébrica dos valores presentes envolvidos neste fluxo de caixa. A Equação (2.5) permite o cálculo do VPL.

$$\text{VPL} = \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n} - F_0 \quad (2.5)$$

Onde:

VPL= valor presente líquido de um fluxo de caixa.

$n$  = número de períodos envolvidos em cada elemento da série de receitas e dispêndio do fluxo de caixa.

$F_n$  = cada um dos diversos valores envolvidos no fluxo de caixa e que ocorrem em  $n$ .

$i$  = taxa de juros comparativa ou taxa mínima de atratividade (TMA), também chamada taxa de equivalência, taxa de expectativa ou ainda, taxa de desconto.

Lapponi (2007), aponta como pontos fortes do VPL, que todo o fluxo de caixa do projeto é considerado, o valor do dinheiro no tempo é considerado com uma taxa requerida que inclui o

risco do projeto e pode ser aplicado na avaliação de projetos com qualquer tipo de fluxo de caixa.

Já em relação à Taxa Interna de Retorno (TIR), Gitman (1997) expõe que provavelmente é o método mais utilizado para análise de viabilidade de investimentos.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é definida como a taxa que faz com que o valor atualizado dos benefícios seja igual aos valores atualizados dos custos, sendo um método que depende exclusivamente do Fluxo de Caixa de sistemas de produção, constitui uma medida relativa que reflete o aumento no valor do investimento ao longo tempo tendo em vista os recursos demandados para produzir o fluxo de receitas.

Para que se possa considerar um sistema de produção economicamente viável através da TIR, os resultados obtidos devem superar a taxa básica de remuneração ou taxa mínima de atratividade.

O cálculo da TIR é semelhante ao do valor presente líquido, sendo no lugar de fixar uma taxa de desconto, esta iguala o VPL à zero. A Equação (2.6) permite o cálculo da TIR.

$$TIR = \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n} - F_0 = 0 \quad (2.6)$$

Onde:

TIR= Taxa Interna de Retorno.

$n$  = número de períodos envolvidos em cada elemento da série de receitas e dispêndio do fluxo de caixa.

$F_n$  = cada um dos diversos valores envolvidos no fluxo de caixa e que ocorrem em  $n$ .

$i$  = taxa de juro comparativa ou taxa mínima de atratividade, também chamada taxa de equivalência, taxa de expectativa ou ainda, taxa de desconto.

São vantagens da TIR, segundo Lapponi (2007), o fato de considerar o Fluxo de Caixa completo do projeto e o valor do dinheiro no tempo, além de ser uma taxa de juros, ou seja uma medida relativa o que é de fácil compreensão por muitos.

### 2.11.3 Relação Custo Benefício

O método Benefício-Custo segundo Hirschfeld (2000), pode ser empregado para análises econômicas, sejam elas pequenas ou grandes, e é empregada em maior escala na análise de obras públicas, em que o prazo de duração é, geralmente grande e a conceituação de Benefício é, às vezes, mais delicada do que em empreendimentos privados.

Assim, benefícios são avaliações específicas de receitas, faturamentos, dividendos e tudo o mais que tende a favorecer o empreendimento ou projeto. Para Hirschfeld (2000), os custos são avaliações específicas de dispêndios, gastos, despesas, pagamentos e tudo o mais que tenda a endividar o projeto.

De modo geral o método benefício-custo, pode abranger, não somente os ganhos determinísticos, que podem ser facilmente determinados, como também os ganhos sociais. Assim a relação Benefício-Custo (B/C) tem como finalidade única verificar se a alternativa analisada é ou não viável, Hirschfeld (2000).

Para a avaliação do método Benefício-Custo estabelece que todos os benefícios e custos podem ser considerados como positivos , ou seja considera-se seu valor absoluto, vide Equação (2.7).

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Benefício}}{\text{Custo}} \quad (2.7)$$

Assim, para este método conclui-se que todas as alternativas são viáveis se a relação  $B/C > 1$ . A relação Benefício-Custo tem como finalidade única verificar se a alternativa analisada é ou não viável.

## **2.12 Considerações Sobre as Tarifas, os Custos e Suas Variações**

As tarifas de energia elétrica variam de forma significativa ao longo da vida útil do projeto, devido às variações de oferta do mercado em sistemas concorrenciais ou por administração de políticas macroeconômicas em mercados onde prevalece o controle estatal.

Logo, a incerteza é tanto maior quanto menor o amadurecimento do mercado ou a instabilidade econômica do país ou região. Seu impacto sobre as receitas do projeto exigem uma preocupação extra com a análise dos cenários futuros e as perspectivas econômicas do país, considerando indicadores macroeconômicos como PIB, população, inflação e desenvolvimento do mercado consumidor.

Os custos dependem fundamentalmente da tecnologia de produção empregada, sendo de importância primordial em projetos hidrelétricos os custos financeiros do capital e em projetos termoeletricos o custo do combustível. Em ambos os casos os empréstimos realizados no exterior sofrem influência direta da taxa de câmbio e impactam o custo, assim como no segundo caso a utilização de combustível importado, agregando maior incerteza aos custos de geração.

## **2.13 Análise de Sensibilidade**

A construção do modelo de análise econômica de um projeto exige a formulação do Fluxo de Caixa, além da utilização de dados, esses que, muitas vezes são considerados certos e constantes, porém, isso dificilmente ocorre, pois estes dados são valores estimados com o objetivo visualizar uma fotografia da realidade.

Segundo Lapponi (2007), muito embora certos projetos sejam definidos com bastante cuidado é necessário no desenvolvimento do projeto após a determinação do VPL que seja realizado um questionamento sobre o resultado antes que este seja aceito.

A aceitação do projeto com VPL positivo também é incerta porque é baseada no Fluxo de Caixa formado por estimativas incertas. Muito embora, os resultados quando tomados de maneiras gerais indicam o uma boa decisão.

Uma forma de eliminar essa desvantagem é introduzir na análise de sensibilidade o conceito de probabilidade de ocorrência, que começa com a definição de valores possíveis ou variação de cada estimativa, Lapponi (2007).

Para Newnan (2000), muitos dados coletados na resolução de um problema representam projeções de consequências futuras, e isto pode resultar de incertezas quanto á precisão de tais

dados, assim, para melhor avaliar-se o impacto de qualquer estimativa, é necessário determinar a variação de certa decisão. E isto é o que se dá o nome de análise de sensibilidade.

Portanto, torna-se imprescindível a aplicação de um método que permita determinar a influência que a variação em uma das variáveis tem sobre os resultados esperados do projeto, de tal maneira que se possam conhecer aquelas que devem ser estudadas com mais profundidade e avaliadas com mais critério. Através da análise de sensibilidade verifica-se a intensidade com que as variáveis principais afetam os resultados finais do projeto.





adequada dos RSU. Dada à expansão urbana e às características da região, a incineração pode em um futuro breve ser uma opção, visto que, esta permite melhor aproveitamento dos aterros, uma vez, que aumentaria a vida útil dos já existentes na região.

A metodologia proposta prevê a análise econômica de formação de um possível consórcio entre as cidades da região administrativa de Bauru. Considerou-se a distribuição das seções regionais da CETESB, acrescidas de mais três municípios que estão localizados dentro de uma área de abrangência (São Manuel, Areiópolis e Botucatu).

Segundo Maranhão (2008), entre os fatores que favorecem a formação de um consórcio nesta região está a presença de várias entidades de ensino técnico, de graduação e de pós-graduação, condição que pode favorecer as parcerias na constituição e a manutenção do consórcio.

Realiza-se levantamento bibliográfico dos dados referentes às estimativas da capacidade de geração de energia a partir da queima do RSU da região de Bauru para obter-se resultados quanto à rentabilidade financeira.

Nas simulações usam-se dados relacionados ao custo médios de investimento fixo em instalações de incineração por unidade de produção anual. Esses elementos são empregados para obter um valor aproximado do investimento total para o período de duração do projeto.

### **3.1 Modelo de Avaliação Econômica**

O modelo de avaliação econômica elaborado e aplicado neste trabalho tem por objetivo identificar a viabilidade econômica da implantação de um projeto de geração de energia elétrica utilizando a tecnologia de geração Waste to Energy (WTE), operando em cogeração e utilizando como combustível o CDR.

A metodologia desenvolvida para o cálculo fornece o Fluxo de Caixa (FC), que para efeito de análise é identificado em períodos anuais, ilustrado significa dizer que, ao precisar as receitas para o primeiro período anual, determinam-se as receitas utilizadas para o cálculo das estimativas do projeto total. Assim sendo, os valores anuais servem de base para a elaboração das hipóteses de cenários.

Como consequência das estimativas do fluxo de caixa, elaboram-se a demonstração dos resultados do exercício (DRE), que são compostas de entradas e saídas de dinheiro ao longo do projeto. Esses dados serão organizados na forma de tabelas mostradas no anexo A, ressalte-se que tais informações compõem o Lucro Líquido do projeto.

O DRE elaborado no modelo contempla o investimento inicial (gastos com juros e amortização do valor tomada em financiamento) e o lucro líquido anual de cada período numa perspectiva da vida útil do projeto de 25 anos. A partir do DRE realiza-se o cálculo das estimativas da Taxa Interna de Retorno (TIR), o Valor Presente Líquido (VPL), e os demais indicadores desta avaliação.

De acordo com Hirschfeld (2000), o fluxo de caixa é a apreciação das contribuições monetárias ao longo do tempo a uma caixa simbólica já constituída, destaque-se que as convenções de entradas de dinheiro são positivas e as saídas negativas.

Na composição do DRE deve-se ressaltar que o comportamento de alguns parâmetros básicos (o custo inicial de investimento; os custos operacionais fixos e variáveis; o preço de mercado da energia elétrica e as perspectivas de apreciação; o valor do investimento financiado; a taxa de juros do financiamento; os prazos de carência e amortização) influenciam e determinam o desempenho dos resultados finais do projeto.

Na presença de inúmeras incertezas que caracterizam as variáveis do projeto, salienta-se que a Análise de Sensibilidade realizada no modelo teve como função aproximar os resultados o mais próximo da realidade.

### **3.2 Dados da Modelagem**

Para a construção do modelo adotou-se as seguintes premissas:

- O valor padrão de comercialização adotado para o estudo por cada MWh de energia elétrica produzida (Valor normativo ) foi de R\$ 170,00, considera-se que toda energia gerada seja vendida , sendo 12,8 MWh/dia usados para o transporte de parte dos RSU até Bauru, e que 342,2 MWh/dia será vendida a empresas permissionárias de distribuição pelo Valor Normativo, esses dados tem como base estudo teóricos de Maranhão (2008).A Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, apresenta, dentre outros, a nova forma de relacionamento entre autorizados de geração e concessionários e permissionários de distribuição onde a compra e venda de energia passa a ser de livre negociação.
- A usina de incineração proposta operará durante 8000 horas/ano, em média;
- A economia com o tratamento térmico dos RSU é computada como receita operacional, com tarifa padrão de R\$ 120,00 por tonelada incinerada. Isto se deve ao fato de que estes valores não serão pagos pelos municípios para o tratamento de seus resíduos.

- O poder calorífico dos RSU foi baseado em referencial teórico, com base naqueles adotados por Maranhão (2008).

### 3.3 Cenário Econômico

O investimento inicial necessário para implantação do projeto inclui planejamento, construção e implantação de uma usina com capacidade de processamento entre 350 e 640 t/d (massa essa que viabiliza a recuperação energética), considerado as características do Poder Calorífico Inferior (PCI) do material a ser incinerado.

No estudo assume-se que o capital para o investimento seja tomado junto ao Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Especificamente para a implantação de projetos de aterros sanitários, e que contemplem uma solução de tratamento dos resíduos (compostagem, “mass burning”, aproveitamento energético, plantas de blendagem de resíduos, transformação de resíduos em matéria-prima, dentre outros) a participação máxima do agente financeiro poderá chegar a 100% dos itens financiáveis, (BNDES, 2012).

Considera-se que os custos referentes à aquisição do terreno serão de responsabilidade da administração pública, isto é, o terreno será doado pela(s) prefeitura(s) para a implantação do projeto.

Na Tabela 3.1 apresentam-se supostas condições do financiamento, com as quais, construiu-se o modelo para a avaliação econômica da viabilidade do empreendimento objeto deste trabalho.

**Tabela 3.1**-Condições do financiamento.

<b>Taxa de juros</b>	9,71%	Inclui taxa de juros de longo prazo, remuneração básica do BNDES e taxa de risco de crédito.
<b>Carência</b>	24 meses	Juros e principal
<b>Capitalização dos juros</b>	Anual	
<b>Período de amortização</b>	25 anos	SAC- sistema de amortização constante
<b>Prestação</b>	Anual	Juros e principal
<b>Prazo total do financiamento</b>	27 anos	Carência + período de amortização

O financiamento é definido em planilha conforme **Anexo A**, com periodicidade dos pagamentos, registrando-se os juros, a devolução parcial do valor financiado denominado amortização, e o saldo devedor na data de pagamento de cada parcela, ou prestação. A prestação foi estimada a partir de duas regras básicas de economia. A primeira estabelece períodos anuais e o valor de cada **prestação (P)** do plano, sendo o resultado da soma da **amortização (A)** mais os **Juros (J)** do período a que se refere à prestação:  $P = A + J$

A segunda regra estabelece que numa determinada taxa de juros, os juros de cada prestação é sempre calculado sobre o saldo devedor do financiamento no início do período a que se refere à prestação.

Para obter as receitas provenientes da implantação do incinerador de RSU, foram considerados os preços de mercado. Os parâmetros da planta e o valor inicial do investimento são partes que compõem o Fluxo de Caixa do projeto. Esses valores são baseados no trabalho de Saffer (2011) e estão mostradas na Tabela 3.2.

**Tabela 3. 2-** Valores referentes ao investimento.

<b>Item</b>	<b>Cenário do investimento</b>
Investimento inicial (R\$)	232.400.000,00
Capacidade mínima (t/d)	350
Capacidade máxima (t/d)	640
Eficiência líquida da planta (%)	26
Potência total (MW)	15
Disponibilidade (horas/ano)	8000

Com base no trabalho de Maranhão (2008) sobre de tratamento térmico por incineração de RSU, trabalhou-se com o valor padrão a ser cobrado correspondente a R\$ 110,00 por tonelada processada de resíduo. As estimativas foram realizadas supondo-se que a capacidade de incineração da planta fosse de 550.400 kg por dia de resíduos e um regime operacional de 8000 horas/ano, o que proporcionaria a produção líquida de 342,2 MWh/dia de energia elétrica.

De acordo com Hauser (2007), fazer projeções de médio e longo prazo dos preços da eletricidade não é tarefa fácil, pois a produção e distribuição de energia são fortemente reguladas no Brasil e a oferta depende das circunstâncias climáticas. Assim, após investigarem-se alternativas para a determinação dos preços, optou-se por se fazer uma Análise de Sensibilidade, conforme foi apresentado na Revisão Bibliográfica. Nessa análise utilizou-se de um valor padrão médio de R\$ 170,00/MWh, a partir do qual foram realizadas as simulações para fornecer o comportamento sobre os dados do investimento.

Dessa forma, para o trabalho foram feitas simulações de oscilações de preços numa amplitude de +20% e -20% do valor dos parâmetros; energia elétrica, preço cobrado pela incineração dos RSU e investimento inicial. As simulações foram realizadas conforme os cenários apresentados na Tabela 3.3.

**Tabela 3.3** Cenários propostos para as simulações.

<b>Caso</b>	<b>Investimento</b>	<b>Destruição térmica</b>	<b>Valor normativo</b>
1	Original	Original	Original
2	Original	Original	+20%
3	Original	Original	-20%
4	Original	+20%	Original
5	Original	+20%	+20%
6	Original	-20%	-20%
7	+20%	Original	Original
8	+20%	Original	+20%
9	+20%	Original	-20%
10	+20%	+20%	Original
11	+20%	+20%	+20%
12	+20%	+20%	-20%

Assim, os cenários fornecem uma análise de risco e das incertezas do projeto, haja vista que, os valores adotados partem de parâmetros incertos. Busca-se com isto, reduzir as incertezas que compõem os dados, tornando-os o mais próximo da realidade.

Os custos operacionais e os custos de manutenção foram calculados baseando-se em informações de plantas e parâmetros semelhantes em capacidade à Planta em estudo neste trabalho, tendo-se como base os trabalhos de Saffer (2011) e Maranhão (2008), no qual o custo de manutenção e os gastos gerais corrigidos são estimados em R\$144.085,00 por mês. Tais gastos incluem os tributos e encargos variáveis, gastos operacionais com 35 pessoas para operar a usina e despesas de manutenção. Adotou-se a hipótese de que todos os custos operacionais manter-se-ão estáveis ao longo do projeto.

Além disso, realizou-se avaliação do projeto segundo atividade do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), sendo estimada a redução de emissões de gases do efeito estufa decorrentes das atividades de mitigação de gases do efeito estufa segundo metodologia empregada por Hauser (2007), na qual a partir do fator de emissão da linha de base e do fator das emissões diretas é possível calcular o fator de mitigação (FM), que quantifica a redução de CO<sub>2e</sub> por cada tonelada de RSU.

De acordo com Hauser (2007), a avaliação dos valores apresentado no estudo servem de referência para definir o Fator de Mitigação mínimo de 0.60, médio de 0.80 e máximo de 1.0. Assim para o calculo total das emissões de gases de efeito estufa realizado neste estudo trabalhou-se com o valor correspondente a média urbana para São Paulo de 0.6093 para o fator de mitigação (FM).

# 4 RESULTADOS E ANÁLISES

---

## 4.1 Aspectos Gerais

A partir da situação apontada anteriormente na Metodologia com a utilização do conceito de mitigação, o total de emissões de gases de efeito estufa ( $CO_{2e}$ ) evitadas anualmente com a incineração de 550 t/d de RSU, será de aproximadamente 111.674 toneladas de  $CO_2$ . Como se evitará a emissão de  $CO_2$  com a incineração dos resíduos este gases que deixam de serem emitidos podem ser comercializados, sendo assim gerará uma receita anual de R\$3.512.005,00 decorrente da venda dos Créditos de Carbono. A Equação (4.1), foi utilizada para estimar os valores com a venda dos Créditos de Carbono a partir do Fator de Mitigação FM

$$C_C = C_d \cdot FM \cdot Q \cdot K \quad (4.1)$$

Onde:

$C_C$  = Ganho com a venda dos Créditos de carbono (R\$)

$C_d$  = Capacidade de Processamento Diário (t/dia)

$Q$  = Quantidade de dias operacionais (d)

$FM$  = Fator de mitigação (fator de conversão de massa de RSU para massa de  $CO_{2e}$ )

$K$  = constante (depende do mercado de Crédito de carbono, para o nosso estudo adotou-se o valor de 12€<sup>1</sup> para cada t/ $CO_{2e}$ , convertidos em R\$ 31,44 para cada t / $CO_{2e}$ , valor este adotado segundo cotação do mercado quando se realizaram os cálculos).

Numericamente a Equação (4.1), quando aplicados os valores padrões, fornece:

$$C_C = (550) \cdot (0,6093) \cdot \frac{(8000)}{24} \cdot (31,44)$$

---

<sup>1</sup>Considerou-se o valor da cotação média do Euro relativa ao dia em R\$ 2,62



$$C_C = \text{R\$ } 3.512.005,00$$

Portanto, o total obtido com a venda dos Créditos de Carbono pode ser estimado em R\$3.512.005,00

Para o presente estudo, supõe-se que toda energia gerada na usina seja vendida. Dessa forma, a estimativa das receitas provenientes da venda de energia foi calculada a partir dos dados teóricos de Maranhão (2008), esses fornecem o total das receitas provenientes da venda de energia pelo consórcio da região de Bauru, sendo estimadas pela Equação (4.2).

$$E = C_E \cdot V \cdot Q \quad (4.2)$$

Onde:

$E$  = Ganho com a venda de energia (R\$)

$C_E$  = Capacidade de Produção Diária de Energia Elétrica (MWh/d)

$V$  = Valor Normativo (R\$/MWh)

$Q$  = Quantidade de dias operacionais (d)

Numericamente, usando as condições básicas adotadas, tem-se:

$$E = (343,20) \cdot (170,00) \cdot \left( \frac{8000}{24} \right)$$

$$E = \text{R\$ } 19.391.333,33$$

Dessa forma o valor estimado para os ganhos relativos à produção de energia pode ser estimado em R\$ 19.391.333,33, valor este que corresponde ao cálculo tendo como base o valor nominal de R\$ 170,00 para cada MWh produzido a partir da queima do lixo.

A Equação (4.3) permite calcular o valor dos ganhos gerado pelo processo de destruição térmica dos resíduos, considerando os parâmetros citados anteriormente.

$$D_t = C_d \cdot T \cdot Q \quad (4.3)$$

Onde:

$C_d$  = Capacidade de Processamento Diário (t/d)

$D_t$  = Ganhos com a destruição térmica (R\$)

$T$  = valor padrão cobrado pela destruição térmica (R\$/t)

$Q$  = Quantidade de dias operacionais (d)

Por exemplo, adotando a capacidade de processamento de 550 t/d, um período de 8000 horas operacionais anual e o valor de mercado cobrado por tonelada processada de R\$ 120,00 tem-se:

$$D_t = (550). (120,00). \left(\frac{8000}{24}\right)$$

$$D_t = R\$ 22.000.000,00$$

Realizando-se a soma dos três resultados proporcionados pelas Equações anteriores calcula-se o total das receitas do projeto. Tais resultados estão relacionados ao processo de incineração e compõem o FC. A Tabela 4.1 ilustra as projeções anuais de receitas para o projeto.

**Tabela 4.1** Valores das projeções anuais de receitas para o projeto

<b>Casos</b>	<b>Venda de Energia</b>	<b>Custa da Destruição Térmica</b>	<b>Crédito de Carbono</b>	<b>Total das receitas</b>
<b>1</b>	R\$19.391.333,33	R\$22.000.000,00	R\$3.512.005,20	R\$44.903.338,53
<b>2</b>	R\$23.269.600,00	R\$22.000.000,00	R\$3.512.005,20	R\$48.781.605,20
<b>3</b>	R\$15.513.066,67	R\$22.000.000,00	R\$3.512.005,20	R\$41.025.071,87
<b>4</b>	R\$19.391.333,33	R\$26.400.000,00	R\$3.512.005,20	R\$49.303.338,53
<b>5</b>	R\$23.269.600,00	R\$26.400.000,00	R\$3.512.005,20	R\$53.181.605,20
<b>6</b>	R\$15.513.066,67	R\$17.600.000,00	R\$3.512.005,20	R\$36.625.071,87
<b>7</b>	R\$19.391.333,33	R\$22.000.000,00	R\$3.512.005,20	R\$44.903.338,53
<b>8</b>	R\$23.269.600,00	R\$22.000.000,00	R\$3.512.005,20	R\$48.781.605,20
<b>9</b>	R\$15.513.066,67	R\$22.000.000,00	R\$3.512.005,20	R\$41.025.071,87
<b>10</b>	R\$19.391.333,33	R\$26.400.000,00	R\$3.512.005,20	R\$49.303.338,53
<b>11</b>	R\$23.269.600,00	R\$26.400.000,00	R\$3.512.005,20	R\$53.181.605,20
<b>12</b>	R\$15.513.066,67	R\$26.400.000,00	R\$3.512.005,20	R\$45.425.071,87

Os valores foram obtidos para os diversos cenários propostos pelo uso das Equações (4.1), (4.2) e (4.3). A Tabela 4.1 fornece-se os valores das receitas para cada cenário simulado, ainda fornece de forma individual a variação dos valores para cada componente do FC.

#### 4.2 Análise Financeira

Assumindo-se uma taxa real de juros de 9,71% ao ano para o financiamento do BNDES, e considerando-se que o capital inicial a ser financiado para realização do projeto é de R\$ 232.400.000,00, elaborou-se os cálculos referente aos juros do financiamento, conforme Anexo A.

Desta forma, com o objetivo de apurar o resultado financeiro obtido no projeto e comparar os 12 diferentes cenários hipotéticos da implantação do empreendimento, foram feitas algumas simulações e avaliações. Utilizou-se dados referentes aos custos anuais praticados em empreendimentos similares, constituídos pelos gastos com mão-de-obra, manutenção e operação. As análises realizadas, portanto, restringiram-se à avaliação dos fatores do FC. Com isso, pretendeu-se determinar, com métodos quantitativos, as possíveis vantagens relativas ao projeto.

Portanto, considerando os valores apresentados anteriormente, calcularam-se os indicadores TIR e VPL do período, esses valores são apresentados na Tabela 4.2. Tais indicadores permitem definir o risco, ou grau de incerteza do projeto quanto a sua viabilidade econômica.

**Tabela 4.2** Indicadores econômicos

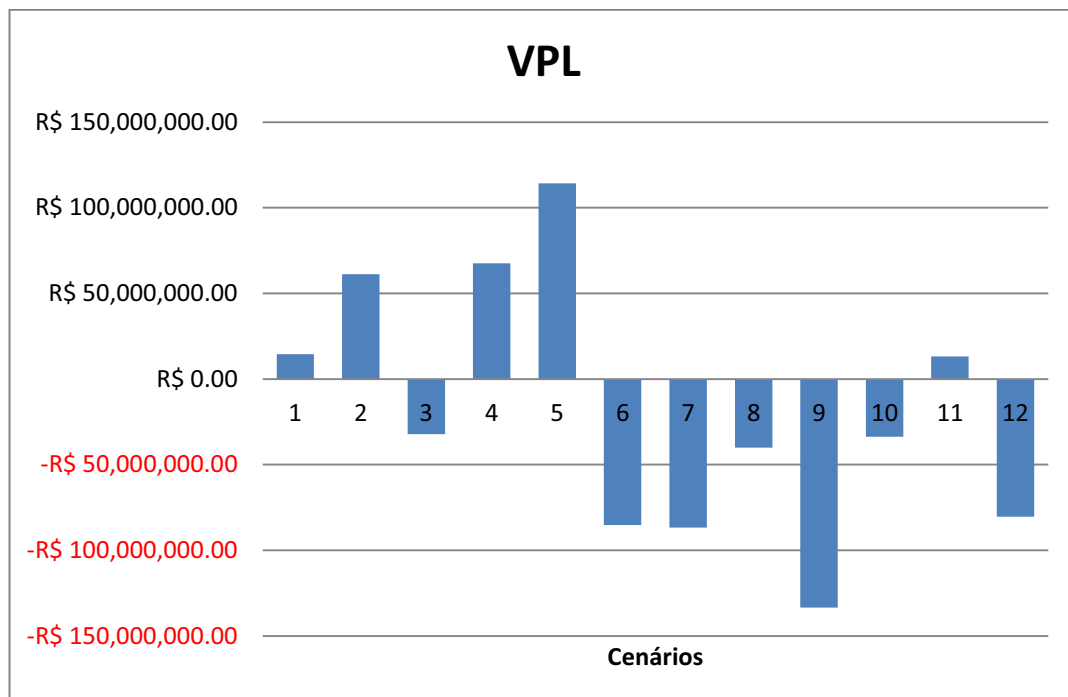
<b>Cenários</b>	<b>TIR (%)</b>	<b>VPL (R\$)</b>
1	7	14.506.421,83
2	8	61.277.425,68
3	5	-32.264.582,02
4	9	67.569.409,66
5	10	114.340.413,50
6	2	- 85.327.569,84
7	3	- 86.726.749,28
8	5	-39.955.745,43
9	1	-133.497.753,12
10	5	-33.663.761,45
11	6	13.107.242,40
12	3	- 80.434.765,29

### 4.3 Parâmetros Financeiros

Deste modo, ao utilizar diferentes cenários reproduz-se a incerteza do projeto, realizando-se uma análise de sensibilidade sobre às diferentes variáveis que podem influenciar no projeto. Os valores apresentados até aqui mostram que o projeto é formado pelo custo inicial, e uma série de n retornos gerados a partir do período do FC.

Todas as estimativas foram realizadas em moeda corrente brasileira, reais (R\$). As Figuras 4.1 e 4.2 ilustram respectivamente os resultados do Valor Presente Líquido (VPL) e da TIR obtidos a partir da avaliação dos Fluxos de Caixa para os 12 cenários simulados.

Dessa forma, consideraram-se as hipóteses apresentadas anteriormente para a construção dos cenários, nos quais, as hipóteses estudadas foram estruturadas com base nas variações dos preços: de energia elétrica, da destruição térmica e do capital inicial.

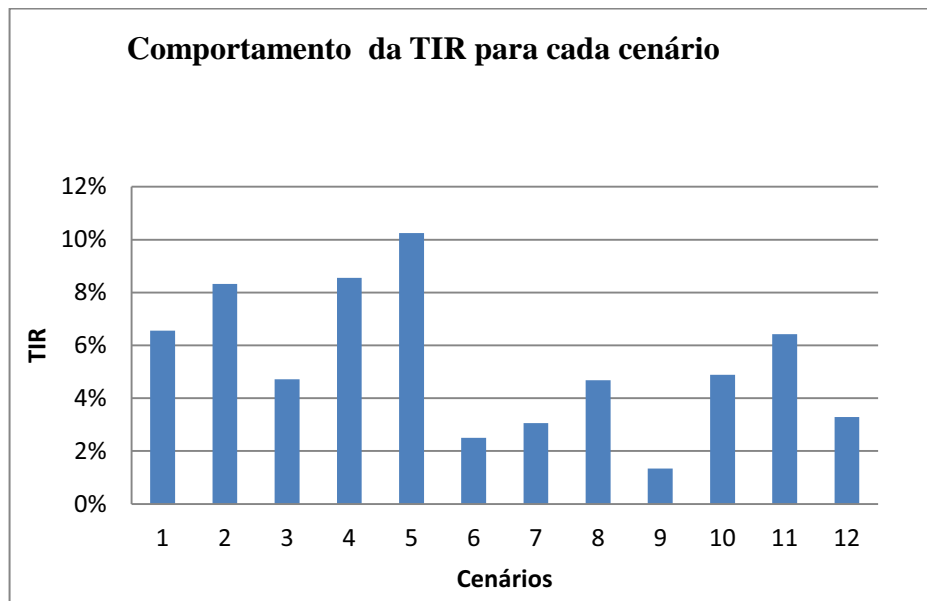


**Figura 4.1:** Resultados do VPL para os cenários apresentados.

O VPL quando positivo indica que o custo inicial será recuperado e remunerado com a taxa requerida (6%), logo para valores maiores que zero o projeto tem aceitação e é viável economicamente, entretanto se VPL tem valores menores que zero significa que o custo

inicial não será recuperado nem remunerado de forma completa com a taxa requerida, por consequência, o projeto tem sua viabilidade comprometida.

A análise da Figura 4.1 mostra que o projeto tem VPL com retornos aceitáveis (VPL positivo) para os seguintes cenários 1, 2, 4, 5 e 11. A Figura 4.1 ainda permite afirmar que é notável a influência que tem os valores cobrados tanto pela venda de energia como destruição térmica.



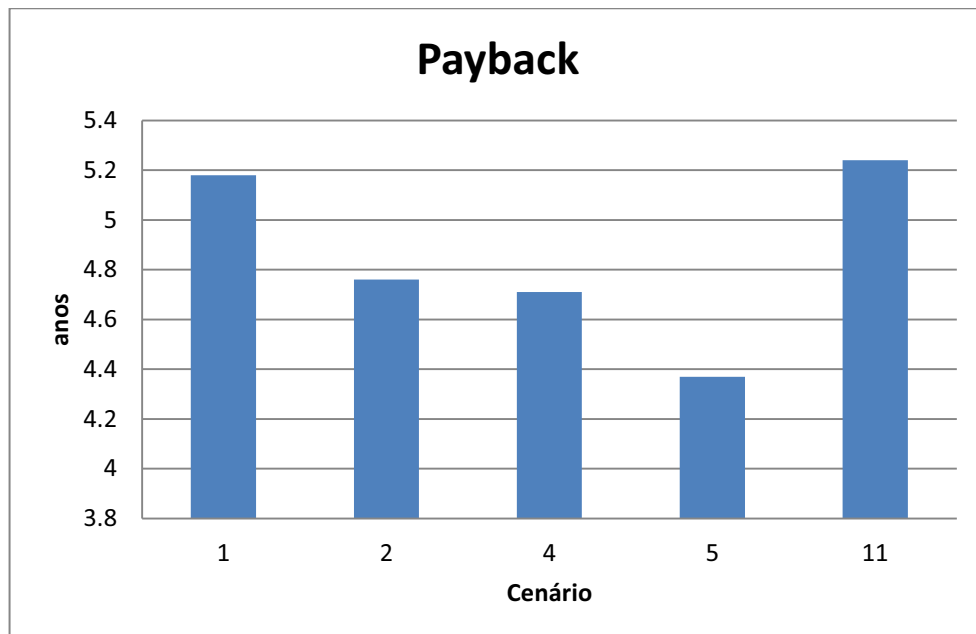
**Figura 4.2:** Resultado do TIR para os cenários apresentados.

A TIR é a taxa que indica a remuneração do dinheiro investido no empreendimento, logo a viabilidade é indicada quando essa taxa é maior do que a taxa de remuneração recebida pela aplicação do valor do investido do projeto em outra aplicação financeira. Para o estudo consideram-se os valores aplicados em poupança.

Analisando-se o comportamento da TIR através da Figura 4.2 observam-se retornos aceitáveis dos investimentos (com uma taxa mínima de atratividade acima de 6%) para cenários de números 1, 2, 4, 5 e 11. Ressalte-se que os valores da TIR confirmam os resultados apresentados para o VPL, devendo-se notar que em nenhum dos cenários a TIR teve valor inferior ou igual a zero.

A Figura 4.3 representa a variação do tempo de retorno do investimento (PayBack), para o cenário viáveis apontados no VPL, com isto buscou-se, o intervalo de tempo necessário para que os benefícios advindos de um investimento possam cobrir seus custos. Segundo Hirschfeld (2000), o prazo de retorno é a determinação de um prazo “n” em que os custos (C) igualam-se

aos seus benefícios (B). Assim, para o autor  $C - B = 0$  pode ser equivalente a  $VPL=0$ , ou seja, o instante do prazo de retorno “n” é o momento quando o  $VPL=0$ .



**Figura 4.3:** Valores referentes ao Payback dos cenários viáveis.

Na Figura 4.3, nota-se que o melhor resultado para o tempo de retorno do investimento foi obtido pelo 5º cenário. Neste caso o resultado obtido foi de 4,37 anos para recuperação do investimento inicial. Ressalta-se que, neste caso o VPL para o período citado é de R\$ 114.340.413,50 (valor positivo), com uma taxa de retorno acima da TMA de 6%.

Visto que, quanto menor o tempo de retorno, mais favorável é o investimento, e que neste caso o período de duração do empreendimento é de 25 anos, os resultados obtidos de **Payback** favorecem a implantação do projeto.

Outra análise foi feita com base no estudo da viabilidade econômica através do método Benefício Custo.

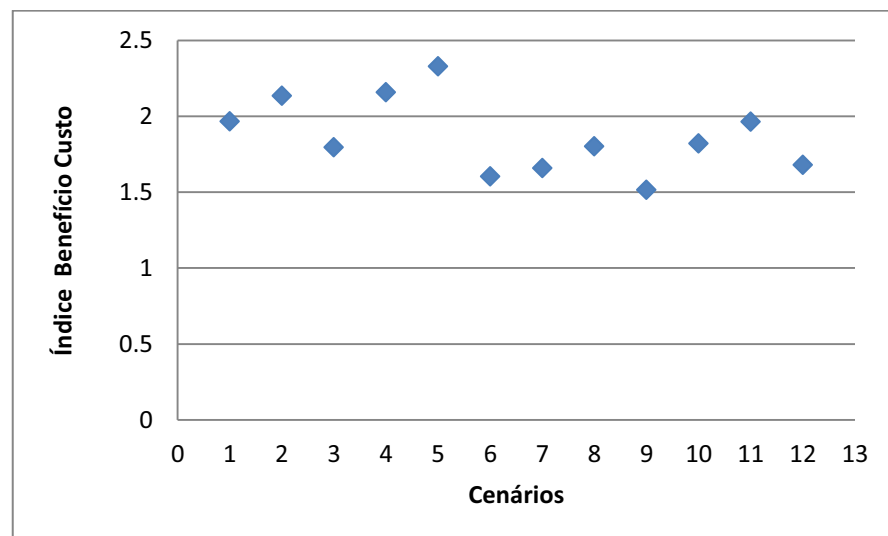
Na tomada de decisões governamentais, o método de análise Benefício - Custo é um dos métodos mais utilizados. Os projetos públicos têm como objetivo fornecer bens e serviços que possam aumentar o bem-estar da sociedade, para um projeto ser economicamente viável, seus benefícios totais devem exceder seus custos totais, ou seja, a razão Benefício - Custo deve ser necessariamente positivo.

A Tabela 4.3 ilustra os dados quanto ao índice Benefício-Custo para os cenários simulados neste trabalho.

**Tabela 4.3- Índice B/C**

Cenários	Índice Custo Benefício
1	1,96
2	2,13
3	1,79
4	2,15
5	2,32
6	1,60
7	1,65
8	1,80
9	1,51
10	1,82
11	1,96
12	1,67

Na análise da relação B/C, colocaram-se os custos e benefícios referentes a cada caso apresentado, e posteriormente calcularam-se cada alternativa proposta. Uma análise da variação do índice Benefício Custo é mostrada na Figura 4.4.

**Figura 4.4: Índice Benefício Custo**

A Figura 4.4 ilustra o comportamento do índice benefício custo para os cenários propostos, constatando-se que o índice em todos os cenários analisados é positivo, o que indica que o projeto é justificável. Note-se que, quando se desloca ao longo do eixo dos cenários percebe-se o índice B/C tende diminuir, isto se deve ao aumento do investimento inicial.

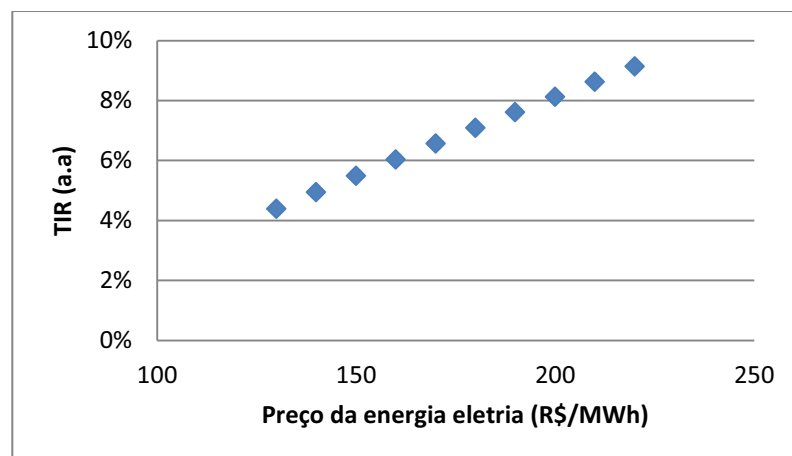
Considerando os resultados apresentados é importante verificar os impactos que cada parâmetro tem sobre a análise financeira. Considerando os cenários padrões apresentados,

verificou-se o comportamento da TIR quando ocorre variação do preço a ser pago pela energia elétrica. A Tabela 4.4 ilustra os resultados dessas variações.

**Tabela 4.4** – TIR em função do preço de comercialização da energia

Preço da Energia Elétrica (R\$/MWh)	TIR (%)
130	4%
140	5%
150	5%
160	6%
170	7%
180	7%
190	8%
200	8%
210	9%
220	9%

Assim, avaliaram-se os resultados de forma a considerar o seu melhor dimensionamento. A Figura 4.5 mostra os resultados da TIR em função do preço da energia elétrica.



**Figura 4.5:** Taxa interna de retorno como função do preço da eletricidade

Considera-se que, os cenários analisados são compostos pelo investimento original e variáveis originais conforme cenários já mencionados anteriormente. Pode-se comparar a dependência da TIR em relação aos preços praticados pelo mercado de energia. Ressalte-se que é fato de grande relevância, também, que valores inferiores a R\$ 160,00 o MWh geram um TIR menor que 6%, isto é, uma taxa menor que aceitável para a rentabilidade do investimento.

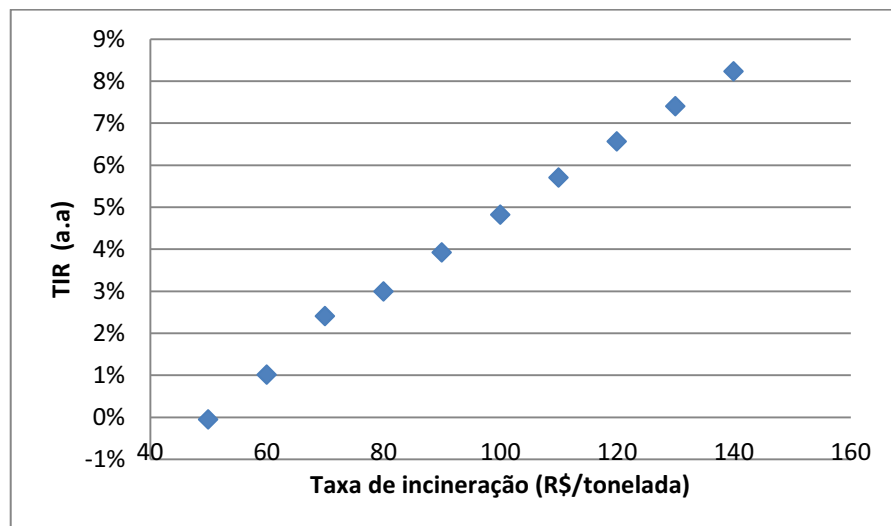


A Tabela 4.5 mostra valores correspondentes a TIR quando se realizam simulações de variações nos preços a serem cobrados pela destruição térmica (taxa de incineração).

**Tabela 4.5-TIR em função do preço da taxa de incineração**

Preço da destruição térmica (R\$/tonelada)	TIR (%)
50	0%
60	1%
70	2%
80	3%
90	4%
100	5%
110	6%
120	7%
130	7%
140	8%

Para fins de análise econômica é de suma importância saber o quanto dependente o projeto é em relação à taxa de incineração, para isso elaborou-se projeção para ilustrar o comportamento da TIR quando são alterados os valores a serem pagos pela incineração dos resíduos. A Figura 4.6 mostra o comportamento da Taxa de Retorno do Investimento em função da Taxa de incineração.



**Figura 4.6** Retorno do investimento em função da taxa de incineração

Pode-se observar que, retornos aceitáveis ocorrem com taxas de incineração maiores que R\$ 110,00 a tonelada de resíduos processada, o que produzem um retorno superior a TMA.

Evidencia-se que a rentabilidade do projeto depende dos preços da energia elétrica praticados pelo mercado, e ainda, dos preços para a disposição do lixo em aterros. Um retorno superior é possível quando coincidem ambas as circunstâncias.

#### **4.4 Análise Ambiental.**

A análise realizada nos itens anteriores baseou-se nos preços e taxas de mercado e teve como objetivo visualizar através das simulações a rentabilidade do empreendimento. Entretanto, um projeto não deve ser reduzido apenas aos seus impactos financeiros, junto ao projeto associam-se outros ganhos, como os ganhos ambientais e sociais.

Ressalta-se que, por um projeto sustentável, entende-se como sendo a mudança na proposta de oferecer um benefício líquido à sociedade quando for aplicado. O setor público deve considerar além dos custos referentes à aplicação do projeto, os custos sociais. Assim, na análise sob o ponto de vista público, deve-se levar em conta o bem-estar social, e isto é claro, pois o objetivo central da administração pública é promover a satisfação da população.

Assim, dois elementos são importantes na análise dos Custos e Benefícios do projeto. O primeiro é a capacidade em se predizer as consequências, ou seja, a construção de um modelo apto a julgar todas as variáveis relevantes na aplicação. A segunda é a predisposição para se avaliar ou medir essas consequências, verificando se a avaliação será fidedigna.

Portanto, além de promover o bem estar social, o objetivo final das políticas públicas deve ser promover a melhor aplicação dos recursos naturais. Sendo assim, pode-se elaborar uma matriz de ordenamento de resultados ambientais conforme a mostrada na Tabela 4.6, a matriz de ordenamento de resultados.

**Tabela 4.6.-** Matriz de ordenamento de resultados

OBJETIVOS/RESULTADOS	INDICADORES	MEIOS DE VERIFICAÇÃO
Política ambiental de gestão integrada dos RSU	Taxas de melhoria da qualidade ambiental referentes às áreas contempladas no projeto com a redução dos resíduos destinados a aterros	Levantamentos realizados na Revisão Bibliográfica
Apoiar o desenvolvimento de estudos, ferramentas e instrumentos que contribuam para a melhoria da gestão ambiental.	Diminuição dos gases responsáveis pelo efeito estufa, resultando em ganhos com a venda dos créditos de carbono	Dados apresentados na análise financeira
Promover medidas para o melhor aproveitamento energético	Venda de eletricidade gerada a partir do processo de co-geração promovido pela queima do RSU	Dados apresentados na análise financeira
Promover o uso de instrumentos legais, institucionais, econômicos, técnicos e de planejamento ambiental, atenuando os impactos negativos decorrentes das atividades humanas, visando especialmente a gestão integrada de resíduos sólidos e o saneamento ambiental.	Aumento da taxa de reciclagem. Aumento do percentual de disposição adequada de resíduos sólidos.	Levantamentos realizados na Revisão Bibliográfica

A Tabela 4.6 aponta benefícios ambientais referentes a implantação do projeto, que não foram apontados na análise econômica. Os dados referentes aos ganhos do projeto quanto aos benefícios que não foram considerados na análise financeira, são ganhos importantes, tais ganhos são determinantes na tomada de decisão, ao passo que, não podem ser mensurados usando-se dos indicadores relacionados neste trabalho.

Tais ganhos podem se caracterizar por uma solução que contemple a não disposição desses resíduos no meio ambiente, caracterizando-se como uma solução aceitável para destinação final dos RSU, em conformidade com as metas da política nacional de resíduos sólidos.

A implantação do projeto nos moldes estabelecidos neste estudo resultará na geração de energia elétrica a partir de resíduos produzidos na região, e conseqüentemente na obtenção de créditos de carbono, melhorando o resultado econômico/financeiro do empreendimento.

## 5 Conclusões

---

Do ponto de vista econômico, ao utilizarmos um modelo para predizer o resultado de cada uma das hipotéticas alternativas constata-se que, o projeto oferece retornos aceitáveis em determinadas hipóteses.

Na realização da análise de sensibilidade foram estudados os efeitos que a variação de um determinado dado de entrada pode ocasionar nos resultados. Os indicadores econômicos calculados nesta análise foram o VPL, a TIR e o PayBack.

Pela Tabela 4.1 verificam-se retornos satisfatórios para alguns dos cenários simulados, entre os quais se encontra o cenário padrão, ou seja, o cenário relacionado aos valores padrões adotado neste estudo. Também são apontados economicamente viáveis os cenários considerados otimistas, isto é, no qual ocorre melhora no contexto das receitas, ressalte-se que os valores negativos encontrados nas simulações não excluem a possibilidade do empreendimento.

Os resultados da TIR para os cenários propostos apresentados na Tabela 4.2 verificam-se que a rentabilidade do investimento pode ser obtida nos cenários 1, 2, 4, 5 e 11, estes valores corroboram os dados apontados pelo VPL.

Dessa forma os cenários 1, 2, 4, 5 e 11 mostraram-se alternativas viáveis do ponto de vista econômico, conforme aponta os resultados obtidos pela simulação dos indicadores VPL e TIR.

A respeito do Payback, o projeto é considerado viável quando o prazo encontrado como resultado do cálculo for menor que o prazo desejado para a recuperação do investimento, assim os cenários analisados apontam um Payback favorável ao investimento.

Os resultados da análise Benefício Custo colaboram com aqueles apresentados pelos indicadores TIR e VPL, demonstrando viabilidade do projeto.

Sendo assim, observa-se que o projeto será uma opção atraente considerando a necessidade de espaços cada vez maiores para deposição dos RSU, e que existe uma significativa tendência de que os preços para deposição em aterros sanitários tornem-se elevados. Este fato justifica o investimento no tratamento térmico, visto que o projeto

contempla a disposição dos resíduos de forma sustentável tratando a gestão e manejo como uma solução aceitável ao meio ambiente.

Ressalte-se que apesar dos custos de capital de uma usina ser alto, e existirem outros custos a serem considerados como risco associados ao próprio desempenho da usina, deve-se considerar que, independente de se buscar uma solução ou se realizar esta análise, o problema dos RSU na Região de Bauru não deixarão de existir. Assim, dentro do atual panorama, este estudo deve ser considerado como uma alternativa ou componente do sistema de gerenciamento integrado de resíduos.

Aponta-se ainda que o trabalho trata-se um estudo preliminar necessitando de trabalhos para suplementar os resultados obtidos, neste panorama sugere-se que sejam feitos estudos complementares, analisando-se investimentos privados para a construção de Usina de incineração de resíduos com aproveitamento energético.

## 6 REFERÊNCIAS

---

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par2\\_cap4.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf)> acessado em 01 de maio 2013.

ABRELPE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PLÚBLICA. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2011. Disponível em: Acesso em: <<http://a3p.jbrj.gov.br/pdf/ABRELPE%20Panorama%202001%20RSU-1.pdf>>.

Acesso em 04 de maio de 2013

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**. Referências Bibliográficas. Rio de Janeiro, 2000. 22 p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR nº 10.004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro; 2004.

ARANDA, D.A.G.; RAMOS, A. L. D.; NOVA, G. D.; MARTINS, B. B. **Catalisadores para tratamento de gases tóxicos provenientes de incineração de lixo**. In: XI Congresso Brasileiro de Catálise, Anais... Bento Gonçalves. IBP, 2001.

BAIRD, C. ; **Química Ambiental**, Editora Bookman, 2002.

BNDES. BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos**. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Areas\\_de\\_Atuacao/Meio\\_Ambiente/](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Areas_de_Atuacao/Meio_Ambiente/)> acessado em 02 de jun. 2012.

BRITO, P. B.; SILVA, L. S.; **Estudo de Viabilidade Econômica da Implantação de Incineradores de “RSU” na Região de Bauru**. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental Alta Paulista-Saneamento e Meio Ambiente; vol. 8, Nº12, 2012.

CADERNO INFORMATIVO RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/recuperacao\\_energetica.cfm](http://www.abrelpe.org.br/recuperacao_energetica.cfm) > acessado em 03 de mai./2013.

CASSAROTO FILHOS, N.; KOPITTKKE, B.H. **Análise de Investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. Ed. 9. São Paulo: Atlas, 2000.

CASTRO, J. N. C.; NASCIMENTO, N. **Reciclagem: mais que um simples dever, uma grande necessidade**. In: Jornada de Iniciação Científica e Pós-Graduação, Guaratinguetá, 2002.

CETESB, COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares: Relatório de 2010**, São Paulo, 2010.

CEMPRE- Compromisso Empresarial para a Reciclagem. **Manual de Gerenciamento Integrado**. 3º ed. São Paulo, 2010.

CICARI, M. P., **Apostila de Controle de Poluição do Ar**. 2003. Disponível: <<http://www.apoioprojetos.com.br>> acessado em 03 de maio 2013.

CONESA, J., A., **Producción de Energía Electrica en Régimen Especial. Incineración de Resíduos Sólidos**, Universidad de Alicante Departamento de Ingeniería Química, 2005.

EHRlich, P. J., MORAES, E. A., **Engenharia Econômica Avaliação e Seleção de Projetos de Investimentos**. 6º ed., São Paulo, Atlas, 2005.

ENGEBIO Engenharia LTDA. **Estudo da Arte e de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental da Implantação de uma Unidade de Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos Urbanos com Geração de Energia Elétrica em uma Região Conjunto de Municípios no Estado de Minas Gerais**. Relatório 1: Estado da Arte do Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos Urbanos com Geração de Energia Elétrica, Porto Alegre, 2009, 276 p.

EPA, Environmental Protection Agency. **Municipal solid waste generation, recycling, and disposal in the United States: Facts and Figures for 2003** [online]. USEPA; 2005.



EPE. EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2011/ ano base 2010**, Rio de Janeiro, 2011.

GABAI, I. – **Incinerção de Resíduos Especiais**: Palestra Fiema, Brasil, nov. /2004.

GIANNINI C. F., **Análise Econômica Financeira do Reaproveitamento de Resíduos Sólidos**. IV Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial, Campo Mourão - PR-2010.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. Ed. 7. São Paulo: Harbra, 1997.

GOLDEMBERG, José. **Biomassa e energia**. Quím. Nova [online]. 2009, vol.32, n.3, pp. 582-587.

GONÇALVES, P., **A Reciclagem Integradora dos Aspectos Ambientais Sociais e Econômicos**. Rio de Janeiro: DP&A: FASE, 2003.

HAMADA, J. – “**Destinação Final de Resíduos Urbanos**”, Apostila de mestrado da Universidade Estadual Paulista – abr./2006;

HAMADA, J. – “**Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**”, Apostila de mestrado da Universidade Estadual Paulista, abr./2006.

HAUSER, P. D.; **Criação de valor e Desenvolvimento Sustentável: uma Avaliação da Incinerção de Resíduos Sólidos Municipais em Projetos Enquadráveis no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Kyoto**, Instituto COPPEAD de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

HAUSER, D. P.; LEMME, C. F.; **Modelo de Financiamento para Projetos de Incinerção de Resíduo Sólido Municipal no Âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**; Revista de Gestão Social e Ambiental; 2007.

HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento Energético Dos Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Abordagem Tecnológica**. Dissertação de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

HIRSCHFELD, HENRIQUE, **Engenharia Econômica e Análise de Custos**, 7ª edição, Atlas, 2000.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **Pesquisa Demográfica Indicadores**, Rio de Janeiro, 2010

KREITH, F., “**Handbook of Solid Waste Management**”, McGraw-Hill, 1994.

LAPPONI J. C. , **Projetos de Investimento na Empresa**, Rio de Janeiro, Elsevier, 2007.

MARANHO, A. S., **Potencial de Geração de Energia Elétrica a Partir de Resíduos Sólidos Urbanos para Bauru e Região**, Dissertação de Mestrado, UNESP-FEB, Bauru, 2008.

NEWNAM, G. D.; LAVELLE P. J., **Fundamentos de Engenharia Econômica**, Rio de Janeiro, LTC, 2000.

OZAWA, M. - Dissertação de mestrado – USP – “**Determinação Experimental da Resistividade ôhmica de Cinzas Volantes para Projeto de Precipitadores Eletrostáticos**”; São Paulo – 2003. .

PENA, D. S., Seminário Internacional - **Aproveitamento Energético De Resíduos Sólidos Urbanos No Estado De São Paulo** – Pronunciamento de Abertura, 2007.

POLETTI, J.A.; SILVA, C.L., “**Influencia da Separação de Resíduos Sólidos Urbanos para Fins de Reciclagem no Processo de Incineração com Geração de Energia**” Artigo publicado no 8º Congresso Ibero Americano de Engenharia Mecânica, Cusco –Perú, 2007.

POLETTI, J. A. F., **Viabilidade Energética e Econômica da Incineração de RSU Considerando a Segregação para Reciclagem**. Dissertação de Mestrado, UNESP, Bauru, 2008.

PORTEOUS, A., **Why Energy From Waste Incineration is an Essential Component of Environmentally Responsible Waste Management**. Waste Management , 2005.

SAFFER M., DUARTE G. A. A. , **Estudo do Estado da Arte e Análise de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental da Implantação de uma Usina de Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos Urbanos com Geração de Energia Elétrica no Estado de Minas Gerais**, 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.

SANTOS, D. S.; **Viabilidade do Aproveitamento do Lixo Urbano da Cidade de Maceió como Alternativa Energética**; Dissertação de Mestrado; UFA; 2009.

SÃO PAULO. RESOLUÇÃO SMA nº 79 de 04 de novembro de 2009. **Estabelece Diretrizes e Condições para o Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos em Usinas de Recuperação de Energia (URE)**, republicado DOE de 07 de novembro de 2009. Secretária de Estado do Meio Ambiente – Secção I pág. 63-65.

SEADE. **FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS**. Disponível:<[http://www.seade.gov.br/index.php?option=com\\_itpgooglesearch&view=search](http://www.seade.gov.br/index.php?option=com_itpgooglesearch&view=search)> acessado em 03 de maio 2013.

SILVA, C. L.; **Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos**, Apostila de Curso de Pós - Graduação – FEB/UNESP, Bauru, 1998.

SILVA, C. L.; **Apresentação de Concurso para Professor Titular-UNESP**, Bauru, 2010.

TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H, S., **Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues**, McGraw-Hill, Inc. International Ed.,1996.

THEMELIS, N. J. **Sustainable Manangement of Municipal Solid Waste**. Presentation at COPPE, Rio de Janeiro, 2006.

UNFCCC. **Caring for climate - a guide to the Climate Change Convention and the Kyoto Protocol**. Bonn, Germany: The Climate Change Secretariat (UNFCCC), 2003. Disponível em:<[http://unfccc.int/resource/docs/publications/caring\\_en.pdf](http://unfccc.int/resource/docs/publications/caring_en.pdf)> Acesso em: 10 de jun.2013.

## **Anexo A**

Resultados da Aplicação do Modelo Proposto

Com base nas informações sobre o financiamento apresentadas no **Capítulo 3** calculou-se os valores referentes as prestações. Para o cálculo utilizou-se das seguintes Equações (A.1), (A.2) e (A.3), que são mostradas a seguir;

$$A = \frac{\text{Emprestimo}}{\text{Período}} \rightarrow (A.1)$$

$$J = (\text{Saldo Devedor})(\text{Taxa}) \rightarrow (A.2)$$

$$P = J + A \rightarrow (A.3)$$

Sendo:

P= Prestação anual.

J= Juros anuais.

A= Amortização anual.

Dessa forma, promoveu-se o cálculo dos valores ilustrados na **Tabela A.1 e A2**. Os valores referem-se às projeções das prestações do financiamento, e são correspondentes ao investimento inicial do projeto. Tais dados fazem referência aos empréstimos respectivamente de R\$ 232.400.000,00 e R\$ 278.880.000,00, montantes utilizados nas simulações deste trabalho.

Tabela A.1: Projeção de prestações do financiamento valores padrão

Tempo	Prestações	Juros	Amortização	Saldo devedor
<b>0</b>				<b>R\$ 232.400.000,00</b>
<b>1</b>	R\$ 32.047.960,00	R\$ 22.751.960,00	R\$ 9.296.000,00	R\$ 223.104.000,00
<b>2</b>	R\$ 31.137.881,60	R\$ 21.841.881,60	R\$ 9.296.000,00	R\$ 213.808.000,00
<b>3</b>	R\$ 30.227.803,20	R\$ 20.931.803,20	R\$ 9.296.000,00	R\$ 204.512.000,00
<b>4</b>	R\$ 29.317.724,80	R\$ 20.021.724,80	R\$ 9.296.000,00	R\$ 195.216.000,00
<b>5</b>	R\$ 28.407.646,40	R\$ 19.111.646,40	R\$ 9.296.000,00	R\$ 185.920.000,00
<b>6</b>	R\$ 27.497.568,00	R\$ 18.201.568,00	R\$ 9.296.000,00	R\$ 176.624.000,00
<b>7</b>	R\$ 26.587.489,60	R\$ 17.291.489,60	R\$ 9.296.000,00	R\$ 167.328.000,00
<b>8</b>	R\$ 25.677.411,20	R\$ 16.381.411,20	R\$ 9.296.000,00	R\$ 158.032.000,00
<b>9</b>	R\$ 24.767.332,80	R\$ 15.471.332,80	R\$ 9.296.000,00	R\$ 148.736.000,00
<b>10</b>	R\$ 23.857.254,40	R\$ 14.561.254,40	R\$ 9.296.000,00	R\$ 139.440.000,00
<b>11</b>	R\$ 22.947.176,00	R\$ 13.651.176,00	R\$ 9.296.000,00	R\$ 130.144.000,00
<b>12</b>	R\$ 22.037.097,60	R\$ 12.741.097,60	R\$ 9.296.000,00	R\$ 120.848.000,00
<b>13</b>	R\$ 21.127.019,20	R\$ 11.831.019,20	R\$ 9.296.000,00	R\$ 111.552.000,00
<b>14</b>	R\$ 20.216.940,80	R\$ 10.920.940,80	R\$ 9.296.000,00	R\$ 102.256.000,00
<b>15</b>	R\$ 19.306.862,40	R\$ 10.010.862,40	R\$ 9.296.000,00	R\$ 92.960.000,00
<b>16</b>	R\$ 18.396.784,00	R\$ 9.100.784,00	R\$ 9.296.000,00	R\$ 83.664.000,00
<b>17</b>	R\$ 17.486.705,60	R\$ 8.190.705,60	R\$ 9.296.000,00	R\$ 74.368.000,00
<b>18</b>	R\$ 16.576.627,20	R\$ 7.280.627,20	R\$ 9.296.000,00	R\$ 65.072.000,00
<b>19</b>	R\$ 15.666.548,80	R\$ 6.370.548,80	R\$ 9.296.000,00	R\$ 55.776.000,00
<b>20</b>	R\$ 14.756.470,40	R\$ 5.460.470,40	R\$ 9.296.000,00	R\$ 46.480.000,00
<b>21</b>	R\$ 13.846.392,00	R\$ 4.550.392,00	R\$ 9.296.000,00	R\$ 37.184.000,00
<b>22</b>	R\$ 12.936.313,60	R\$ 3.640.313,60	R\$ 9.296.000,00	R\$ 27.888.000,00
<b>23</b>	R\$ 12.026.235,20	R\$ 2.730.235,20	R\$ 9.296.000,00	R\$ 18.592.000,00
<b>24</b>	R\$ 11.116.156,80	R\$ 1.820.156,80	R\$ 9.296.000,00	R\$ 9.296.000,00
<b>25</b>	R\$ 10.206.078,40	R\$ 910.078,40	R\$ 9.296.000,00	R\$ -
<b>Total</b>	R\$ 528.175.480,00	R\$ 295.775.480,00	R\$ 232.400.000,00	

Tabela A.2: Projeção de prestações do financiamento com acréscimo de 20%

Tempo	Prestações	Juros	Amortização	Saldo devedor
<b>0</b>				<b>R\$ 278.880.000,00</b>
<b>1</b>	<b>R\$ 38.457.552,00</b>	<b>R\$ 27.302.352,00</b>	<b>R\$ 11.155.200,00</b>	R\$ 267.724.800,00
<b>2</b>	R\$ 37.365.457,92	R\$ 26.210.257,92	R\$ 11.155.200,00	R\$ 256.569.600,00
<b>3</b>	R\$ 36.273.363,84	R\$ 25.118.163,84	R\$ 11.155.200,00	R\$ 245.414.400,00
<b>4</b>	R\$ 35.181.269,76	R\$ 24.026.069,76	R\$ 11.155.200,00	R\$ 234.259.200,00
<b>5</b>	R\$ 34.089.175,68	R\$ 22.933.975,68	R\$ 11.155.200,00	R\$ 223.104.000,00
<b>6</b>	R\$ 32.997.081,60	R\$ 21.841.881,60	R\$ 11.155.200,00	R\$ 211.948.800,00
<b>7</b>	R\$ 31.904.987,52	R\$ 20.749.787,52	R\$ 11.155.200,00	R\$ 200.793.600,00
<b>8</b>	R\$ 30.812.893,44	R\$ 19.657.693,44	R\$ 11.155.200,00	R\$ 189.638.400,00
<b>9</b>	R\$ 29.720.799,36	R\$ 18.565.599,36	R\$ 11.155.200,00	R\$ 178.483.200,00
<b>10</b>	R\$ 28.628.705,28	R\$ 17.473.505,28	R\$ 11.155.200,00	R\$ 167.328.000,00
<b>11</b>	R\$ 27.536.611,20	R\$ 16.381.411,20	R\$ 11.155.200,00	R\$ 156.172.800,00
<b>12</b>	R\$ 26.444.517,12	R\$ 15.289.317,12	R\$ 11.155.200,00	R\$ 145.017.600,00
<b>13</b>	R\$ 25.352.423,04	R\$ 14.197.223,04	R\$ 11.155.200,00	R\$ 133.862.400,00
<b>14</b>	R\$ 24.260.328,96	R\$ 13.105.128,96	R\$ 11.155.200,00	R\$ 122.707.200,00
<b>15</b>	R\$ 23.168.234,88	R\$ 12.013.034,88	R\$ 11.155.200,00	R\$ 111.552.000,00
<b>16</b>	R\$ 22.076.140,80	R\$ 10.920.940,80	R\$ 11.155.200,00	R\$ 100.396.800,00
<b>17</b>	R\$ 20.984.046,72	R\$ 9.828.846,72	R\$ 11.155.200,00	R\$ 89.241.600,00
<b>18</b>	R\$ 19.891.952,64	R\$ 8.736.752,64	R\$ 11.155.200,00	R\$ 78.086.400,00
<b>19</b>	R\$ 18.799.858,56	R\$ 7.644.658,56	R\$ 11.155.200,00	R\$ 66.931.200,00
<b>20</b>	R\$ 17.707.764,48	R\$ 6.552.564,48	R\$ 11.155.200,00	R\$ 55.776.000,00
<b>21</b>	R\$ 16.615.670,40	R\$ 5.460.470,40	R\$ 11.155.200,00	R\$ 44.620.800,00
<b>22</b>	R\$ 15.523.576,32	R\$ 4.368.376,32	R\$ 11.155.200,00	R\$ 33.465.600,00
<b>23</b>	R\$ 14.431.482,24	R\$ 3.276.282,24	R\$ 11.155.200,00	R\$ 22.310.400,00
<b>24</b>	R\$ 13.339.388,16	R\$ 2.184.188,16	R\$ 11.155.200,00	R\$ 11.155.200,00
<b>25</b>	R\$ 12.247.294,08	R\$ 1.092.094,08	R\$ 11.155.200,00	R\$ -
<b>Total</b>	R\$ 633.810.576,00	R\$ 354.930.576,00	R\$ 278.880.000,00	

A partir dos dados levantados no Capítulo 4 pode-se determinar o Fluxo de Caixa com os valores correspondentes aos Lucros e Despesas para cada período. Os valores referentes ao Fluxo de Caixa padrão são ilustrados na Tabela A.3.

**Tabela A.3- Valores referente ao FC do cenário padrão (Cenário 1).**

Projeção do Fluxo de Caixa para Cenário 1												
	Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lucro Operacional anual Estimado (R\$)	Venda de Energia		19391333,33	19391333,33	19391333,33	19391333,33	19391333,33	19391333,33	19391333,33	19391333,33	19391333,33	19391333,33
	Destruição Térmica		22000000	22000000	22000000	22000000	22000000	22000000	22000000	22000000	22000000	22000000
	Créditos de Carbonos		3512005,2	3512005,2	3512005,2	3512005,2	3512005,2	3512005,2	3512005,2	3512005,2	3512005,2	3512005,2
Despesas (R\$)	Operacionais		1729026	1729026	1729026	1729026	1729026	1729026	1729026	1729026	1729026	1729026
	Financiamento		32047960	31137881,6	30227803,2	29317724,8	28407646,4	27497568	26587489,6	25677411,2	24767332,8	23857254,4
Outros	Investimento	232400000										
	Fluxo de caixa livre	-232400000	11126552,53	12036430,93	12946509,33	13856587,73	147666666,13	15676744,53	16586822,93	17496901,33	18406979,73	19317058,13

Projeção do Fluxo de Caixa para Cenário 1												
	Ano	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Lucro Operacional anual Estimado (R\$)	Venda de Energia	19391333,33	19391333,33	19391333,33	19391333,33	19391333,33	19391333,33	19391333,33	19391333,33	19391333,33	19391333,33	19391333,33
	Destruição Térmica	22000000	22000000	22000000	22000000	22000000	22000000	22000000	22000000	22000000	22000000	22000000
	Créditos de Carbonos	3512005,2	3512005,2	3512005,2	3512005,2	3512005,2	3512005,2	3512005,2	3512005,2	3512005,2	3512005,2	3512005,2
Despesas (R\$)	Operacionais	1729026	1729026	1729026	1729026	1729026	1729026	1729026	1729026	1729026	1729026	1729026
	Financiamento	22947176	22037097,6	21127019,2	20216940,8	19306862,4	18396784	17486705,6	16576627,2	15666548,8	14756470,4	13846392
Outros	Investimento	278880000										
	Fluxo de caixa livre	20227136,53	21137214,93	22047293,33	22957371,73	23867450,13	24777528,53	25687606,93	26597685,33	27507763,73	28417842,13	29327920,53



Continuação Tabela A.3

Projeção do Fluxo de Caixa para Cenário 1					
	Ano	22	23	24	25
<b>Lucro Operacional anual Estimado (R\$)</b>	<b>Venda de Energia</b>	19391333,33	19391333,33	19391333,33	19391333,33
	<b>Destruição Térmica</b>	22000000	22000000	22000000	22000000
	<b>Créditos de Carbonos</b>	3512005,2	3512005,2	3512005,2	3512005,2
<b>Despesas ( R\$)</b>	<b>Operacionais</b>	1729026	1729026	1729026	1729026
	<b>Financiamento</b>	12936313,6	12026235,2	11116156,8	10206078,4
	<b>Investimento</b>				