

LEANDRO CESAR MAZER ITÔ

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Engenharia de
São Carlos da Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com Ênfase
em Sistemas de Energia e Automação

Orientador: Prof. Dr. Valdir Schalch

São Carlos
2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

I88g Itô, Leandro Cesar Mazer
 Geração de energia elétrica a partir de resíduos
 sólidos urbanos / Leandro Cesar Mazer Itô; orientador
 Valdir Schalch. São Carlos, 2014.

 Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
 ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de
 Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
 2014.

 1. resíduos sólidos urbanos. 2. gestão de resíduos
 sólidos. 3. geração de energia elétrica. 4.
 reaproveitamento energético. 5. caldeira aquatubular.
 I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Leandro Cesar Mazer Itô

Título: "Geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 18 / 06 / 2014,

com NOTA 10,0 (dez , zero), pela Comissão Julgadora:

Prof. Associado Valdir Schalch - (Orientador - SHS/EESC/USP)

Prof. Assistente Carlos Goldenberg - (SEL/EESC/USP)

Mestre Rodrigo Eduardo Córdoba - (Doutorando - SHS/EESC/USP)

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Homero Schiabel

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus pais,
Shiguetoshi e Eliane, pela paciência e
atenção.

AGRADECIMENTOS

Aos amigos que fiz durante o curso.

A minha namorada, Gabriela, pelo apoio e carinho incondicional.

A minha família.

Ao professor Valdir Schalch, pelas ideias.

A todos colegas da HPB Engenharia e Equipamentos Ltda. pela oportunidade e pelo ótimo ambiente de trabalho.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - ESTRATÉGIA DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	17
FIGURA 2: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES	
PROVENIENTES DA COLETA CONVENCIONAL	25
FIGURA 3: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES	
PROVENIENTES DA COLETA SELETIVA	26
FIGURA 4 - CICLO DE RANKINE.	28
FIGURA 5 - ESQUEMA DA CALDEIRA FLAMOTUBULAR.....	29
FIGURA 6 - ESQUEMA DA CALDEIRA AQUATUBULAR.....	29
FIGURA 7 - CALDEIRA AQUATUBULAR.....	32
FIGURA 8 - FORNALHA DE QUEIMA EM SUSPENSÃO.....	33
FIGURA 9 - FORNALHA DE QUEIMA EM GRELHA.	34
FIGURA 10 - FORNALHA DE QUEIMA EM LEITO FLUIDIZADO.	35
FIGURA 11 - FUNCIONAMENTO DO PRECIPITADOR ELETROSTÁTICO.	36
FIGURA 12 - FUNCIONAMENTO DO FILTRO DE MANGA.	36
FIGURA 13 - LAVADOR DE GASES	37
FIGURA 14 - PLANTA DE USINA QUEIMA BRUTA NA EUROPA.	38
FIGURA 15 - ESQUEMA DE QUEIMA DE CDR.....	40
FIGURA 16 - USINA QUEIMA RESÍDUOS SÓLIDOS - AEB AMSTERDAM, HOLANDA.	43

LISTA DE TABELA

TABELA 1 - ÍNDICES ESTIMATIVOS DE PRODUÇÃO "PER CAPITA" DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS, ADOTADOS EM FUNÇÃO DA POPULAÇÃO.....	12
TABELA 2 - PCI DE MATERIAIS ENCONTRADOS EM RSU	18
TABELA 3 – USO DA INCINERAÇÃO (E RECUPERAÇÃO DE ENERGIA) PARA A DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS EM VÁRIOS PAÍSES.....	19
TABELA 4 - GERAÇÃO DE RSU.	21
TABELA 5 - COLETA DE RSU.	22
TABELA 6 - GERAÇÃO DE RSU NAS REGIÕES BRASILEIRAS.	22
TABELA 7 - COLETA DE RSU NAS REGIÕES BRASILEIRAS.....	23
TABELA 8 - DESTINO DO RSU COLETADO.	24
TABELA 9 - USINAS DE QUEIMA BRUTA DE RSU	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação segundo a origem.....17

Quadro 2 – Vantagens da incineração de RSU.....21

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PC	Poder Calorífico
PCS	Poder Calorífico Superior
PCI	Poder Calorífico Inferior
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos
UTE	Usina Termoelétrica
SO	Monóxido de Enxofre
SO ₂	Dióxido de Enxofre
SO ₃	Trióxido de Enxofre
CDR	Combustíveis Derivados de Resíduos
TDF	Taxas para Destinação Final
CCO	Ciclo Combinado Otimizado
MWh	Megawatt-hora
GWh	Gigawatt-hora

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	12
INTRODUÇÃO	12
CAPÍTULO 2	14
DEFINIÇÕES	14
2.1 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS	14
2.2 PODER CALORÍFICO.....	18
2.3 INCINERAÇÃO.....	19
CAPÍTULO 3	21
DIAGNÓSTICO	21
3.1 DADOS	21
3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES PROVENIENTES DA COLETA CONVENCIONAL	24
3.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES PROVENIENTES DA COLETA SELETIVA	26
CAPÍTULO 4	27
USINAS TERMOELÉTRICAS	27
4.1 CALDEIRA	28
4.1.1 PRINCIPAIS ELEMENTOS DA CALDEIRA	30
4.1.2 TIPOS DE FORNALHA	32
4.1.3 CONTROLE AMBIENTAL	35
4.2 CALDEIRA DE RSU.....	37
4.2.1 QUEIMA BRUTA	38
4.2.2 COMBUSTÍVEIS DERIVADOS DE RESÍDUOS (CDR).....	39
CAPÍTULO 5	41
GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE RSU NO MUNDO.....	41
5.1 EXEMPLOS DE USINAS NO MUNDO.....	43
CAPÍTULO 6	45
CONCLUSÕES	45
BIBLIOGRAFIA.....	46

RESUMO

ITÔ, L. C. M. (2014). **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**. Monografia (Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

O crescimento na geração de resíduos sólidos urbanos fez com que o mundo adotasse providências para reduzir os impactos ambientais. Além de leis e normas regulamentadoras, o desenvolvimento de novas tecnologias para incineração de resíduos sólidos em usinas termoelétricas se mostrou eficaz na diminuição do volume de resíduos em aterros e lixões e também na geração de energia elétrica. O presente trabalho apresenta o funcionamento da Caldeira, equipamento responsável pela incineração, bem como dados de tratamento e geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos em usinas no mundo.

Palavras-chave: resíduos sólidos urbanos, gestão de resíduos sólidos, geração de energia elétrica, reaproveitamento energético, caldeira aquatubular.

ABSTRACT

ITÔ, L. C. M. (2014). **ELECTRICITY GENERATION FROM MUNICIPAL SOLID WASTE**. Monografia (Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

The growth in the generation of municipal solid waste has made the world take steps to reduce environmental impacts. In addition to laws and regulatory standards, the development of new technologies for waste incineration in power plants was effective in reducing the volume of waste in landfills and dumps, and also in the generation of electricity. This study presents the operation of the boiler, responsible for incinerating, as well as data of the processing and electricity generation from solid waste in the power plants of the world.

Keywords: municipal solid waste, solid waste management, electricity generation, energy recovery, water-tube boiler.

Capítulo 1

Introdução

A preocupação com os resíduos sólidos não é antiga, data do início da Revolução Industrial e da crescente urbanização das cidades.

Até a pré-história os seres humanos se alimentavam daquilo que pescavam, caçavam e dos vegetais oriundos da terra, portanto não havia a necessidade da preocupação, uma vez que, os restos de comida deixados no solo entravam em um processo de ciclo natural.

Com a Revolução Industrial, formação de cidades e aumento da densidade populacional, novos produtos foram surgindo no mercado e com isso o consumo da população só aumentava o que gerava cada vez mais resíduos.

“A composição química do lixo varia de acordo com a cultura e o grau de desenvolvimento de cada região ou país” (Lucke, 2012, p.105), portanto quanto mais desenvolvido e mais populoso o país, maior será a quantidade de resíduos gerados pela população, porém a preocupação sobre qual é a gestão mais viável a ser seguida para esta questão tende a ser maior.

A tabela 1 faz comparativo População x Produção de resíduos sólidos per capita:

Tabela 1 - Índices estimativos de produção "per capita" de resíduos sólidos urbanos, adotados em função da população.

População(hab)	Produção(Kg/hab.dia)
Até 25.000	0,7
De 25.001 até 100.000	0,8
De 100.001 até 500.000	0,9
Maior que 500.000	1,1

Fonte: Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos, CETESB, 2013.

O Brasil vem avançando no assunto, e nos últimos anos foi sancionada a lei que regulariza o setor, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que distingue resíduo, material que pode ser reaproveitado, de rejeito, material que não pode ser reaproveitado, e que será melhor apresentada no capítulo 2 (dois) do presente trabalho.

Uma atividade que já está sendo muito utilizada em vários países estrangeiros e que vem ganhando forças aqui no Brasil é quanto a utilização do lixo para a geração de energia, em que além de modificar o modo de descarte o que consequentemente diminuiria os impactos causados pelos gases que são eliminados, também contribuiria com a fonte energética do país melhorando suas maneiras de gerar eletricidade. Neste caso a energia é gerada a partir da incineração do lixo. (Disponível em <<http://www.educacao.cc/ambiental/geracao-de-energia-a-partir-do-lixo/>> Acesso em 15/5/2014)

A incineração pode resultar em uma redução de até 90% do volume de resíduos, e os países estão se dedicando mais no desenvolvimento desse tipo de solução para tal problemática. (Disponível em <<http://www.univesp.ensinosuperior.sp.gov.br/preunivesp/2473/use-jogue-fora-ae-e-gere-energia.html>> Acesso em 15/05/2014).

O presente trabalho tem como objetivo apresentar as definições, normas e o funcionamento de uma termoeletrica a partir da incineração de resíduos sólidos.

Capítulo 2

Definições

Normas e leis são necessárias para que as ações tomadas tenham uma base sólida, de simples definições a processos mais complexos é necessário que existam regras para garantir segurança a todos os envolvidos.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) pela norma NBR 10.004/2004 define-se resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Além disso, a ABNT classifica resíduos sólidos como “classe I – Perigosos” e “classe II – Não perigosos”, esta segunda classe é dividida entre resíduos não inertes (classe II A) e inertes (classe II B).

Os resíduos classe I são classificados como perigosos devido suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

2.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos

A lei nº 12.305 do dia 02 de agosto de 2010 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a qual,

Busca reunir princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão dos resíduos sólidos, responsabiliza as empresas pelo recolhimento de produtos descartáveis (logística reversa), estabelece a integração de municípios na gestão dos resíduos e responsabiliza toda a sociedade pela geração de lixo. Além disso, estabelece prazos para que isso aconteça, o que, em si, já representa um enorme avanço na cultura nacional protelatória em qualquer setor. Define igualmente a logística reversa, uma atividade fundamental para a sociedade de consumo que precisa compensar seus excessos por meio da recuperação e do aproveitamento do valor econômico hoje descartado e objeto de significativas despesas para seu mínimo afastamento das interfaces com a sociedade ou processamento. (LUCKE, 2012, p.128)

A PNRS define os resíduos sólidos da seguinte maneira:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Esta lei também classifica a periculosidade dos resíduos de maneira análoga à ABNT. Além disso, são classificados segundo a origem, conforme o quadro 1 abaixo:

Quadro 1 - Classificação segundo a origem.

a)	Resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
b)	Resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
c)	Resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
d)	Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
e)	Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
f)	Resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
g)	Resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
h)	Resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
i)	Resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
j)	Resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
k)	Resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

Fonte: adaptado da lei nº12.305.

Além da classificação de resíduos sólidos, a PNRS define Gestão como sendo 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.” (Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Acesso em 13/05/2014).

Conforme a PNRS, a destinação final ambientalmente adequada de resíduos inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes, entre elas a disposição final, seguindo

normas operacionais específicas, evitando danos ou riscos e minimizando impactos ambientais.

A Figura 1 apresenta uma estratégia de gestão integrada de resíduos sólidos, mostrando as ações a serem tomadas antes da disposição final dos rejeitos.



Figura 1 - Estratégia de gestão integrada de resíduos sólidos.

Fonte: SCHALCH, V. Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos. Notas de Aula, São Carlos, 2012.

O ideal seria a não geração de resíduos, que é improvável, portanto a opção mais viável seria a redução. Se nenhuma dessas ações forem possíveis é interessante a reutilização dos resíduos, assim como a reciclagem dos mesmos; “é importante salientar que existem custos associados com o processo de coleta e reciclagem em si. Por esta razão, a reciclagem deve ser considerada quando não se pode reduzir ou reutilizar.”(LUCKE, 2012, p109). Quando nenhuma das etapas descritas acima forem praticáveis, é possível recuperar matérias ou energia dos resíduos.

Depois de esgotadas as possibilidades de redução, reutilização, reciclagem e recuperação energética, os rejeitos obtidos devem receber um tratamento adequado e seguir para uma disposição final ambientalmente adequada em aterros sanitários.

2.2 Poder Calorífico

É importante também definir poder calorífico (PC), que consiste na energia liberada pela combustão e varia de acordo com o teor de umidade do combustível. O PC é dividido em dois tipos, superior (PCS) e inferior (PCI).

O PCS considera que a água contida no combustível não evapora no processo, enquanto o PCI que a água seja vaporizada. Para vaporizar a água é necessário energia, o que justifica o valor do PCS sempre ser maior que o PCI, considerando o mesmo combustível.

Tabela 2 - PCI de materiais encontrados em RSU

Material	Kcal/kg
Plástico	6.300
Borracha	6.780
Couro	3.630
Têxteis	3.480
Madeira	2.520
Alimentos	1.310
Papel	4.030

Fonte: EPE, E. D. P. E. Aproveitamento energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande. Rio de Janeiro, 2008.

O valor do PCI não é o único fator que define viabilidade de queima para geração de energia, mas de modo geral considera-se que para $PCI < 1.675 \text{ kcal/kg}$ a incineração não é tecnicamente viável; para $1.675 \text{ kcal/kg} < PCI < 2.000 \text{ kcal/kg}$, é necessário um tratamento para elevação do PC; para $PCI > 2.000 \text{ kcal/kg}$ a queima bruta é viável (EPE, 2008).

2.3 Incineração

A incineração é um processo de decomposição térmica, que aproveita o poder calorífico presente nos resíduos através da queima para geração de energia ou aquecimento de água além de, reduzir peso, volume e características de periculosidade com a eliminação de matéria orgânica e patogenicidade.

Ao longo dos anos houve uma significativa evolução da incineração de resíduos sólidos, principalmente em países desenvolvidos. A tabela 3 apresenta dados da incineração para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos e a recuperação de energia, em alguns países.

Tabela 3 – Uso da incineração (e recuperação de energia) para a disposição de resíduos em vários países.

País	Incineração de resíduos como tratamento do lixo urbano (%)	Fração com recuperação de energia (%)
Dinamarca	65	100 (maioria aquecimento)
França	42	68
Japão	72	Poucas plantas
Holanda	40	50
Suécia	55	100 (maioria aquecimento)
Estados Unidos	16	60
Reino Unido	8	Poucas plantas

Fonte: IEA (1997)¹ *apud* HENRIQUES (2004, p.144).

¹ IEA. APPENDIX K WASTE INCINERATION. Renewables in Power Generation: Towards a Better Environment; 1997.

Do ponto de vista dos impactos ambientais, a incineração é uma escolha interessante aos lixões e aterros; o quadro 2 apresenta os pontos favoráveis a este processo:

Quadro 2 – Vantagens da incineração de RSU

a)	Reaproveitamento energético do lixo, com geração de energia elétrica, por meio da produção de vapor, água quente/gelada com alta eficiência térmica;
b)	Significativa redução da necessidade de área para a instalação de aterros novos ou de suas expansões;
c)	Eliminação de impactos ambientais na criação de novos aterros ou expansões dos existentes;
d)	Eliminação dos impactos e custos decorrentes das atividades de cuidado e manutenção de aterros pelo período de cinquenta anos após seu encerramento e lacração;
e)	Eliminação total dos efeitos de contaminação de águas superficiais, lençóis freáticos e mananciais subterrâneos de água potável disponíveis;
f)	Eliminação da emissão de gases pelos aterros, especialmente metano e dióxido de carbono (a emissão do metano tem efeitos 25 vezes mais prejudiciais que o dióxido de carbono no efeito estufa);
g)	Redução das distâncias percorridas pela frota de caminhões no transporte de lixo a aterros cada vez mais distantes, com a consequente redução dos impactos causados ao meio ambiente pelas emissões dos veículos, ao trânsito e às estradas;
h)	Redução das despesas envolvidas na logística da movimentação do lixo, direta ou indiretamente custeadas pelo erário público;
i)	Eliminação dos problemas de natureza social, de higiene e de saúde criados pela convivência da comunidade com os aterros, além da catação de alimentos/materiais, com a consequente eliminação dos custos sociais e hospitalares, também bancados pelo erário público.
j)	Melhor ocupação de espaços disponíveis para iniciativas mais nobres e adequadas à comunidade local.

Fonte: LUCKE, 2012, p.146

Capítulo 3

Diagnóstico

Uma boa base de dados é necessária para traçar um plano de gestão de resíduos sólidos, saber o quanto é gerado e coletado, além de dados sobre disposição final e composição dos RSU de uma cidade são imprescindíveis para tomadas de decisão no que diz respeito à gestão de resíduos sólidos. Este capítulo tem como objetivo apontar dados e explicar como é feita a caracterização física de resíduos domiciliares, tanto da coleta convencional quanto da coleta seletiva.

3.1 Dados

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos (ABRELPE) publica em seu site um documento chamado “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil”, que traz uma gama enorme de dados relacionados a resíduos sólidos em seus diversos segmentos.

O primeiro ponto a se destacar é em relação à geração de resíduos sólidos no Brasil, a tabela 4 traz dados de 2011 e 2012.

Tabela 4 - Geração de RSU.

Ano	Geração de RSU (t/ano)	Taxa de Geração de RSU (Kg/Hab./ano)
2011	61.936.368	381,6
2012	62.730.096	383,2

Fonte: adaptado de “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil” (ABRELPE, 2012).

Nota-se um aumento de 1,3% na geração de RSU no período apresentado e 0,4% na geração de RSU per capita.

Outro dado importante é referente à coleta de RSU, os números mostram que 6,2 milhões de toneladas de RSU não foram coletados no ano de 2012, tendo destino inadequado.

Tabela 5 - Coleta de RSU.

Ano	Coleta de RSU (t/ano)	Coleta de RSU per capita (Kg/Hab./ano)
2011	55.534.440	342,1
2012	56.561.856	348,5

Fonte: adaptado de “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil” (ABRELPE, 2012).

O estudo também aponta geração e coleta de acordo com as regiões do Brasil, mostrados nas tabelas 6 e 7.

Tabela 6 - Geração de RSU nas regiões brasileiras.

Regiões	2011		2012	
	RSU Gerado (t/dia)	per capita (Kg/hab./dia)	RSU Gerado (t/dia)	per capita (Kg/hab./dia)
Norte	13.658	1,154	13.754	1,145
Nordeste	50.962	1,302	51.689	1,309
Centro-Oeste	15.824	1,250	16.055	1,251
Sudeste	97.293	1,293	98.215	1,295
Sul	20.777	0,887	21.345	0,905
Total	198.514	1,223	201.058	1,228

Fonte: adaptado de “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil” (ABRELPE, 2012).

Tabela 7 - Coleta de RSU nas regiões brasileiras.

Regiões	2011		2012	
	RSU Coletado (t/dia)	per capita (Kg/hab./dia)	RSU Coletado (t/dia)	per capita (Kg/hab./dia)
Norte	11.360	0,960	11.585	0,965
Nordeste	39.092	0,998	40.021	1,014
Centro-Oeste	14.449	1,142	14.788	1,153
Sudeste	93.911	1,248	95.142	1,255
Sul	19.183	0,819	19.752	0,838
Total	177.995	1,097	181.288	1,107

Fonte: adaptado de “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil” (ABRELPE, 2012).

Os números mostram que a região sudeste é a maior produtora de RSU, e também a região com a maior porcentagem de captação do mesmo. A região nordeste é a segunda maior produtora e possui a pior porcentagem de coleta (77,43%), ou seja, quase um quarto dos resíduos produzidos na região nordeste tem destino inadequado.

No Brasil, há três tipos de disposição final RSU: aterros sanitários, aterros controlados e lixões.

O lixão constitui de uma disposição a céu aberto sem nenhum tipo de preocupação com os gases emitidos pelos resíduos ou pela geração de chorume que pode contaminar lençóis freáticos. Aterros controlados são praticamente lixões cobertos de terra e possuem problemas similares.

O aterro sanitário é o destino adequado para os resíduos, pois possui proteção do ar e do solo, além de tratamento de chorume e gás proveniente do aterro.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) pela norma NBR 8.419/1992 define aterro sanitário como uma:

“Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível

e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.”

A tabela 8 mostra a porcentagem de RSU coletado destinado a lixões, aterros controlados e aterros sanitários de 2011 e 2012.

Tabela 8 - Destino do RSU Coletado.

Ano	Aterro Sanitário	Aterro Controlado	Lixão
2011	58,1%	24,2%	17,7%
2012	58,0%	24,2%	17,8%

Fonte: adaptado de “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil” (ABRELPE, 2012)

3.2 Caracterização Física dos Resíduos Sólidos Domiciliares provenientes da coleta convencional

Os procedimentos descritos abaixo e na seção 3.3 têm como base Frésca (2007) e ABNT (NBR 10.007/2004).

Dez toneladas de resíduos sólidos domiciliares são misturadas manualmente e com a ajuda de uma pá carregadeira, depois são escolhidos pontos aleatórios dessa mistura para a retirada de cerca de 400 Kg.

Esse montante é quarteado, resultando em quatro montes de 100 Kg. Cada monte de 100 Kg é novamente quarteado. Despreza-se metade dos montes, e mistura-se o restante, resultando em 200 Kg de resíduos sólidos para análise.

Em seu estudo, Frésca constatou que 59,08% (em massa) dos resíduos sólidos domiciliares do município de São Carlos se tratavam de matéria orgânica.

A imagem abaixo esquematiza o processo:

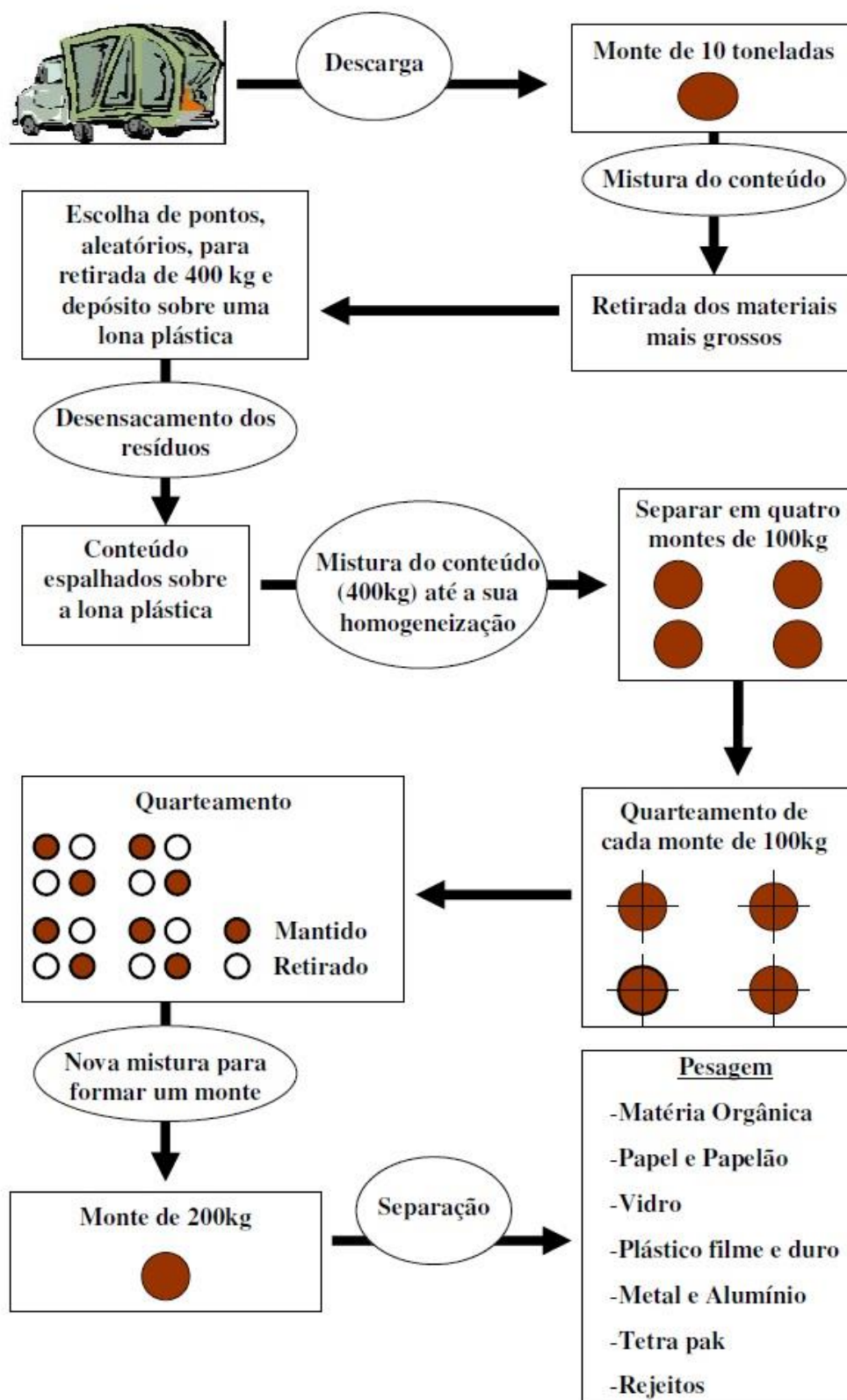


Figura 2: Caracterização Física dos Resíduos Sólidos Domiciliares provenientes da coleta convencional (Frésca, 2007).

3.3 Caracterização Física dos Resíduos Sólidos Domiciliares provenientes da coleta seletiva

A caracterização física de resíduos sólidos a partir da coleta seletiva é muito mais simples devido a menor complexidade dos resíduos analisados. O material chega à área de triagem para ser separado e depois pesado.

A imagem 3 mostra o processo:

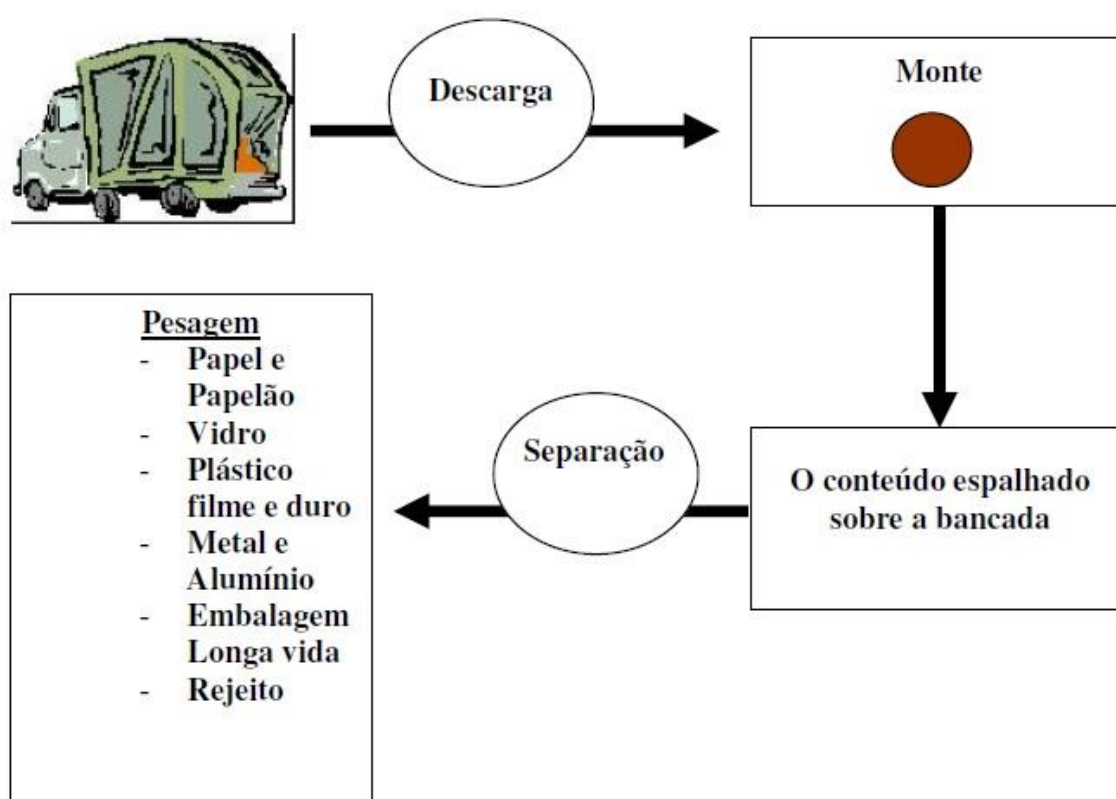


Figura 3: Caracterização Física dos Resíduos Sólidos Domiciliares provenientes da coleta seletiva (Frésca, 2007).

Com o desenvolvimento de tecnologias foi possível verificar que os resíduos coletados nas cidades possuem grandes quantidades de materiais renováveis e biológicos que são uma fonte de energia renovável, portanto a tendência é que oportunidades de mercado para a criação de usinas termoeletricas movidas a RSU para a geração de energia elétrica se tornem mais frequentes (LUCKE, 2012, p.144).

Capítulo 4

Usinas Termoelétricas

O funcionamento básico de uma usina termoelétrica consiste na transformação da energia térmica proveniente de um combustível em energia mecânica, que por sua vez é convertida em energia elétrica, ou seja, apesar dos diferentes tipos de termoelétricas, a grande diferença entre elas está na obtenção da energia térmica, dessa forma podemos elucidar o processo de forma simples em três etapas.

A primeira etapa consiste justamente em adquirir energia térmica, como por exemplo, a partir da queima de combustíveis fósseis, biomassa ou resíduos sólidos. A energia térmica é transferida para água para que ela não só mude para o estado gasoso, como também obtenha alta pressão e temperatura. Toda esta etapa é realizada na caldeira.

A segunda etapa consiste em usar o vapor obtido na caldeira para acionar uma turbina, que por sua vez transfere sua energia mecânica para o gerador, obtendo energia elétrica.

A terceira etapa fecha este o ciclo, condensando o vapor e retornando-o em forma de água líquida para a caldeira.

Este procedimento descrito acima é chamado de ciclo de Rankine, esquematizado na figura 4 mostrando a caldeira, turbina, condensador e bomba:

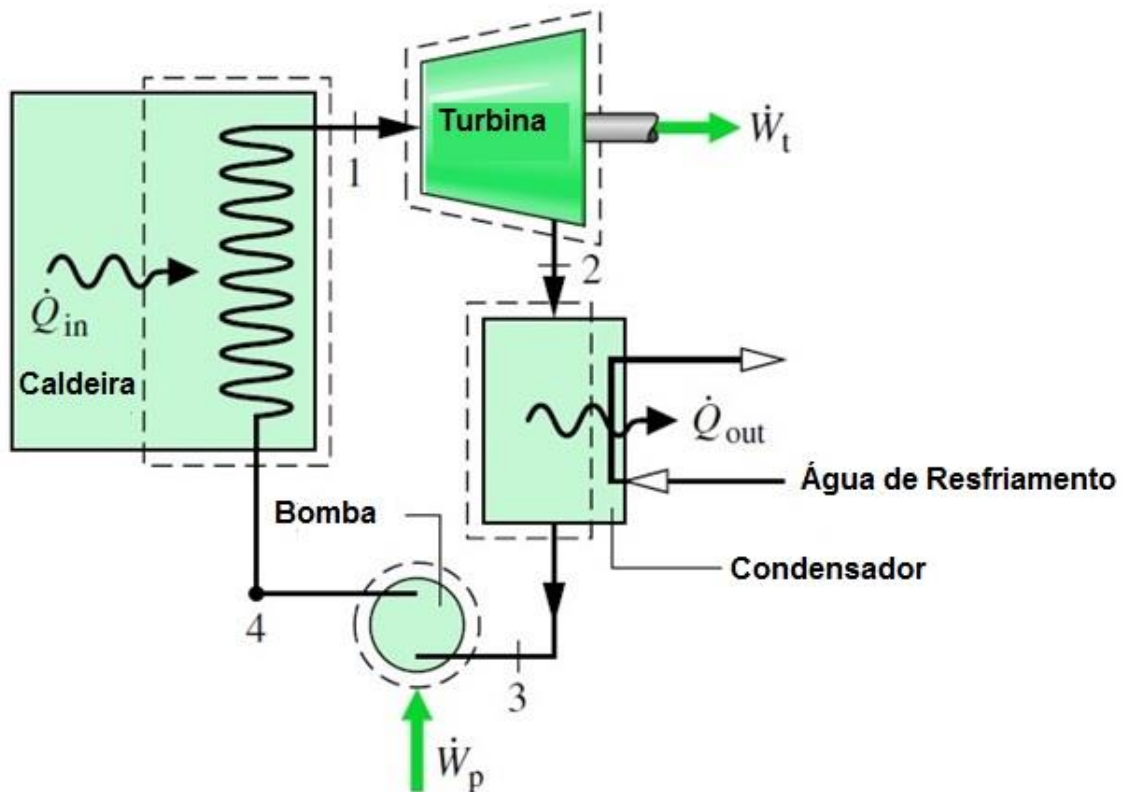


Figura 4 - Ciclo de Rankine. Fonte: MORAN; SHAPIRO, 2006.

Na prática uma unidade termoeétrica possui mais blocos que a figura acima, e o objetivo deste capítulo é explicar a parte mais importante de uma Usina Termoeétrica – UTE, a Caldeira.

4.1 Caldeira

Existem muitas formas de classificar uma Caldeira, mas de modo geral são divididas em dois grandes grupos, caldeiras flamotubulares e aquatubulares. A grande diferença destas concepções de caldeira está na passagem dos gases de combustão, no caso das caldeiras flamotubulares os produtos de combustão passam por tubos, aquecendo a água ao redor, enquanto nas caldeiras aquatubulares a água atravessa os tubos e os gases se espalham pela caldeira.

Caldeiras flamotubulares possuem baixo custo de implementação, mas não geram vapor de alta pressão e, portanto não apresentam uma boa solução para geração de energia elétrica.

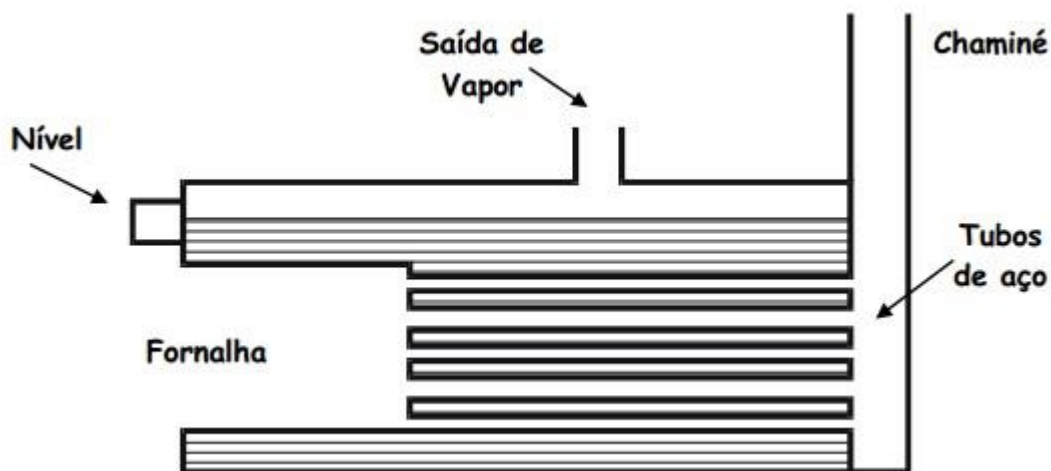


Figura 5 - Esquema da Caldeira Flamotubular. Fonte: Disponível em <http://pessoal.utfpr.edu.br/tarik/arquivos/apostila.pdf> Acesso em 26/05/2014.

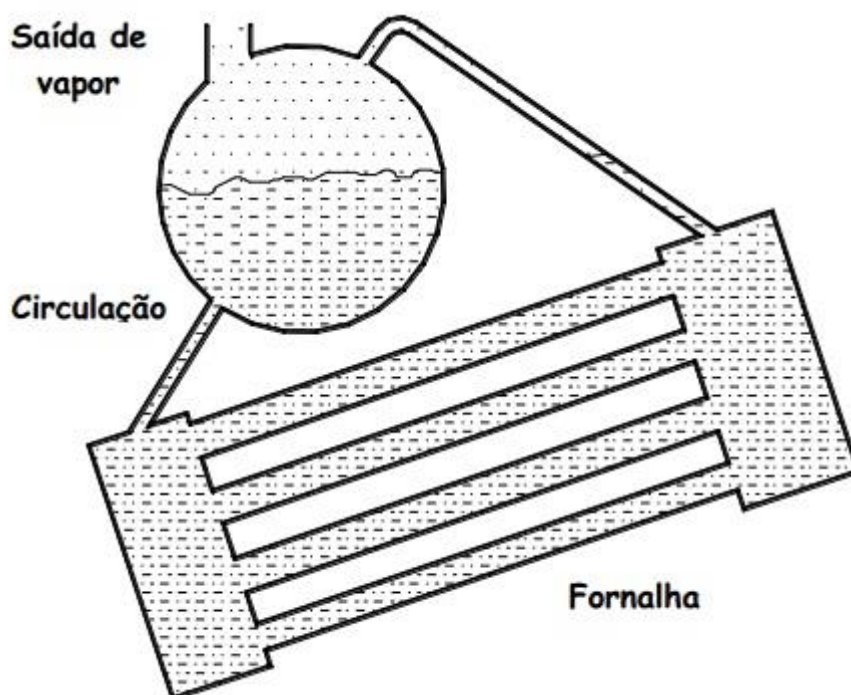


Figura 6 - Esquema da Caldeira Aquatubular. Fonte: Disponível em <http://pessoal.utfpr.edu.br/tarik/arquivos/apostila.pdf> Acesso em 26/05/2014.

A escolha certa para geração de energia elétrica é a caldeira aquatubular, com capacidade de gerar grandes quantidades de vapor em alta pressão, podendo chegar até 750 ton/h. Como este trabalho tem como objetivo mostrar elementos da geração de

energia elétrica através de resíduos sólidos, a caldeira flamotubular não será abordada em profundidade. Portanto quando o termo caldeira for citado fará referência à caldeira aquatubular.

4.1.1 Principais Elementos da Caldeira

- **Câmara de combustão ou Fornalha:** região da caldeira onde ocorre a queima do combustível. Dependendo do tipo de combustível as fornalhas podem ser para queima em suspensão, queima em grelha ou queima em leito fluidizado;
- **Tubulão de Vapor:** localizado na parte superior da caldeira. Trata-se de um tambor horizontal projetado para abrigar água e vapor em equilíbrio na temperatura de saturação;
- **Tubulão de Água:** localizado na parte inferior da caldeira, mais próxima da fornalha e por motivos de segurança fica constantemente cheio de água. Em alguns projetos de caldeiras não se utiliza tubulão de água, ao contrário do tubulão de vapor que é parte obrigatória de uma caldeira;
- **Feixe de Tubos:** são os tubos que interligam o tubulão de água ao tubulão de vapor. Os tubos são organizados ao redor da fornalha, formando as “paredes de água”;
- **Isolamento e Refratários:** impedem a perda de calor e protegem a carcaça metálica, pois isolam a fornalha dos elementos estruturais;
- **Estrutura e Carcaça Metálica:** envolvem a caldeira, sustentando o isolamento e refratários;
- **Saídas de Gases e Chaminés:** como o próprio nome já diz, é onde ocorre a exaustão dos gases de combustão vindos do interior da caldeira;
- **Queimador:** também chamado de queimador de partida, funciona como um maçarico onde o gás se mistura com o ar para começar a combustão, o combustível principal é geralmente óleo ou álcool secundário.
- **Superaquecedor:** são feixes tubulares usados para aumentar a temperatura do vapor procedentes do tubulão e estão distribuídos a fim de aproveitar o calor

disponível nos gases. É comum que uma caldeira tenha dois superaquecedores com objetivo de gerar vapor de alta pressão e temperatura;

- **Economizador:** são trocadores de calor usados para aumentar a temperatura da água de alimentação da caldeira, através do aproveitamento de energia residual disponível nos gases de combustão. Como aumenta o rendimento térmico da caldeira, o economizador é um elemento indispensável em unidades de grande porte.
- **Aquecedor de Ar:** são trocadores de calor usados para aumentar a temperatura do ar que entra na câmara de combustão. Melhora o rendimento térmico, pois reduz o consumo de combustível e aumenta a velocidade de combustão.
- **Soprador de Fuligem:** funciona como uma limpeza diária realizada na caldeira, removendo os depósitos de fuligem.

O funcionamento de uma caldeira segue o seguinte princípio:

Os tubos que conectam o tubulão superior ao inferior são expostos à radiação da queima e/ou ao calor dos gases de combustão. Devido ao seu encaminhamento no percurso entre os tubulões, alguns trechos de tubo recebem mais calor que outros. Nos tubos mais aquecidos, uma parte da água em contato com a parede dos tubos evapora e sobe. O efeito da diferença entre a densidade da água no tubo mais aquecido e a densidade da água no tubo menos aquecido (termosifão), mais o próprio movimento ascendente do vapor, fazem com que a água circule, indo para o tubulão superior pelos tubos mais aquecidos (tubos geradores) e descendo pelos tubos menos aquecidos (tubos vertedores). A circulação da água facilita a liberação do vapor e aumenta a eficiência da troca térmica nos tubos. O vapor saturado coletado pelo tubulão vai para a tubulação de saída e mais água é admitida para manter os tubos cheios e o nível de água no tubulão. (Disponível em <http://engmadeira.yolasite.com/resources/Caldeiras_texto.pdf> Acesso em 26/05/2014.

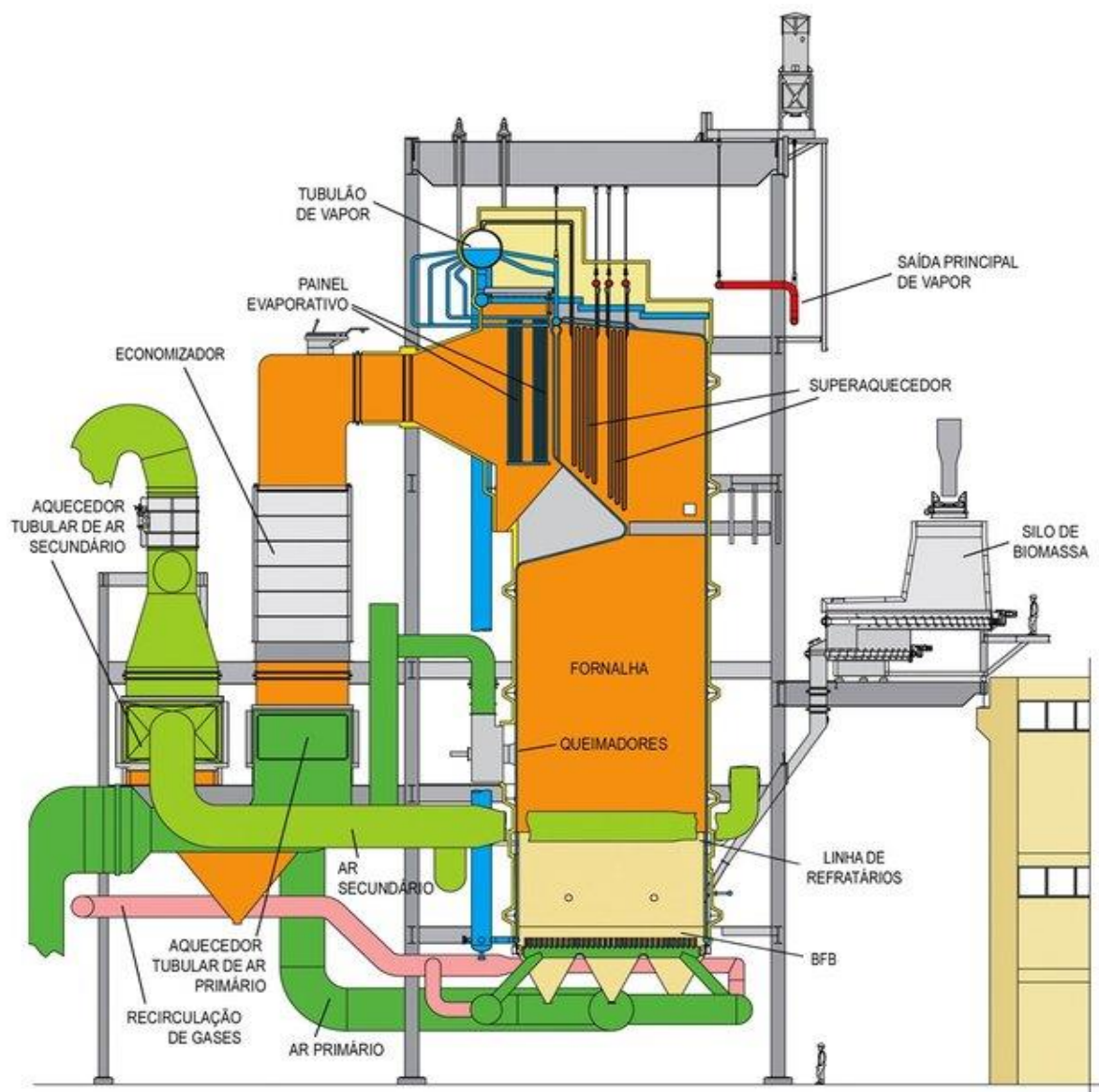


Figura 7 - Caldeira Aquatubular. Fonte: HPB Engenharia e Equipamentos Ltda

4.1.2 Tipos de Fornalha

Como citado previamente, os tipos de fornalha podem ser para queima suspensão, queima em grelha e queima em leito fluidizado.

A fornalha de queima em suspensão é adequada para queima de material com dimensões menores e baixa porcentagem de água.

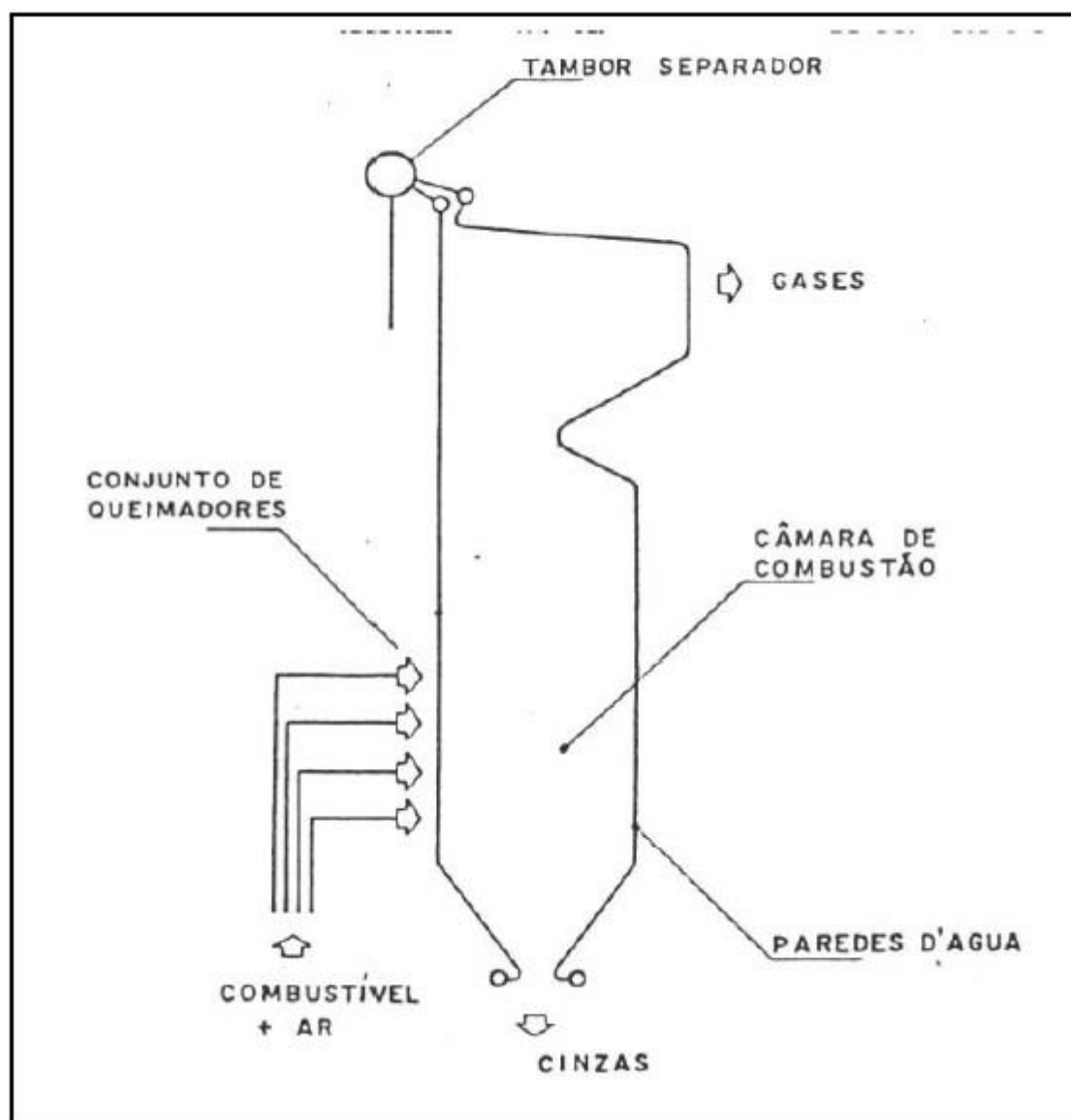


Figura 8 - Fornalha de Queima em Suspensão. Fonte: Disponível em <http://pessoal.utfpr.edu.br/tarik/arquivos/apostila.pdf> Acesso em 26/05/2014.

Na fornalha de queima em grelha é possível incinerar materiais maiores, pois a grelha sustentará o que está sendo queimado. Parte da queima é realizada em suspensão enquanto o combustível mais pesado conclui a queima na grelha.

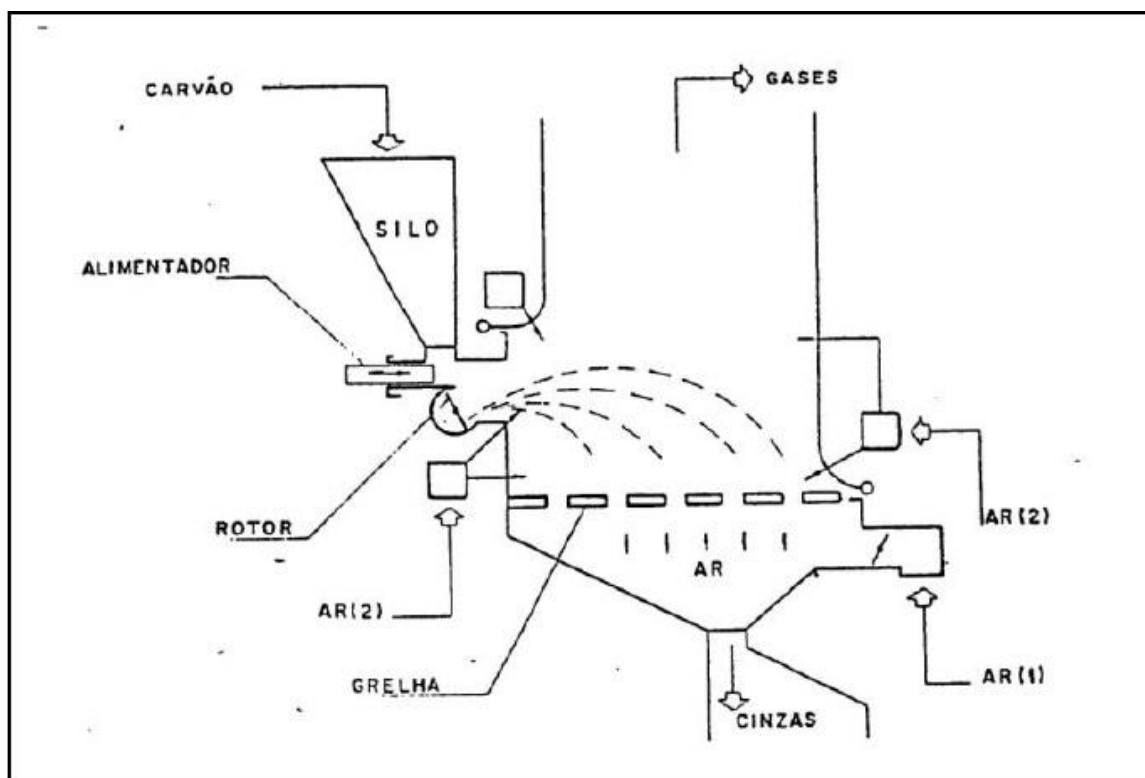


Figura 9 - Fornalha de Queima em Grelha. Fonte: Disponível em <<http://pessoal.utfpr.edu.br/tarik/arquivos/apostila.pdf>> Acesso em 26/05/2014.

A fornalha de queima em leito fluidizado possui areia em seu leito e o combustível é queimado junto com um fluxo de ar ascendente, essa mistura entre areia, combustível e ar fica com propriedades parecidas com um material líquido, e daí vem o nome leito fluidizado.

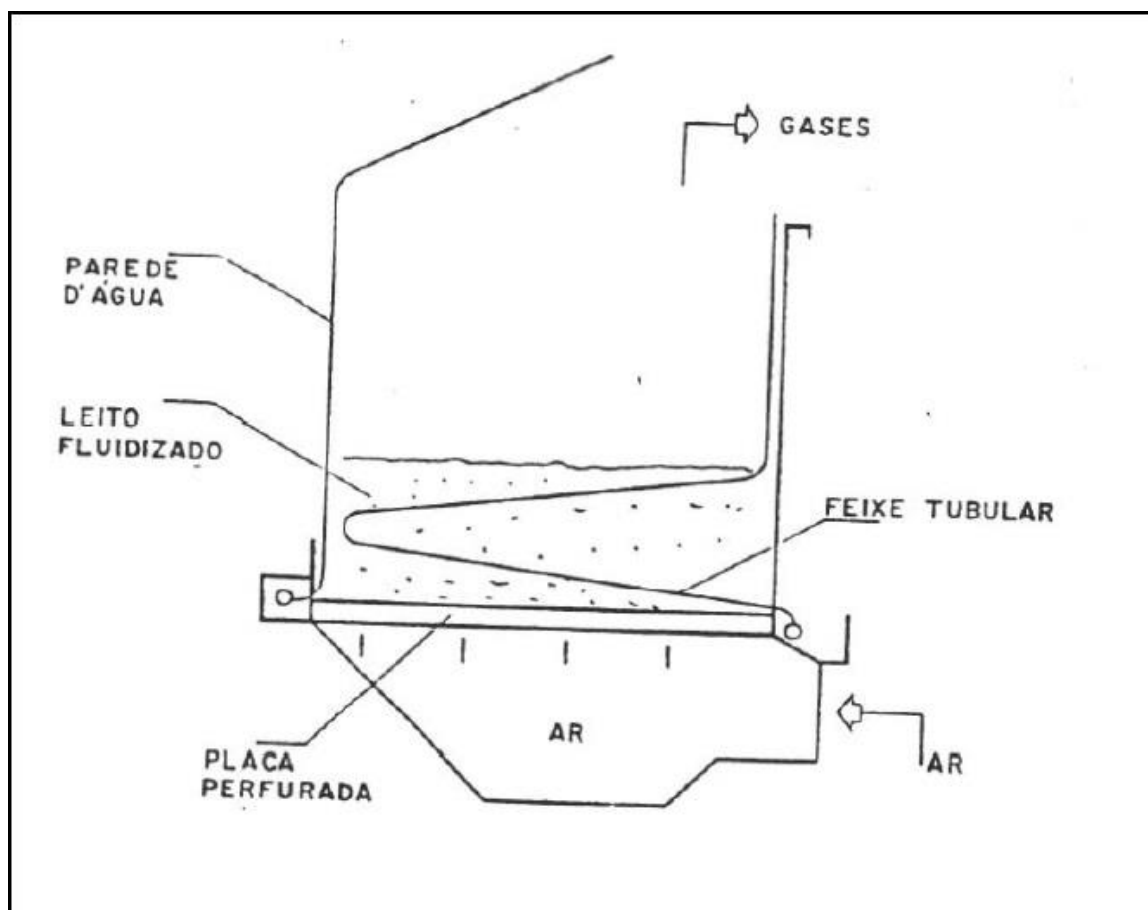


Figura 10 - Fornalha de Queima em Leito Fluidizado. Fonte: Disponível em <<http://pessoal.utfpr.edu.br/tarik/arquivos/apostila.pdf>> Acesso em 26/05/2014.

4.1.3 Controle Ambiental

Uma das maiores preocupações ambientais a respeito dos gases que saem da caldeira são o material particulado e SO_x (SO , SO_2 e SO_3)². Os equipamentos utilizados para tratar os gases mais comuns são:

- Precipitador Eletrostático: seu funcionamento consiste em ionizar o particulado, utilizando um campo elétrico entre placas. Estas partículas ionizadas são atraídas para as placas do precipitador eletrostático e são retiradas através de batimentos e depois direcionadas para fora do equipamento. A figura 11 mostra o funcionamento.

² SO – Monóxido de Enxofre; SO_2 – Dióxido de Enxofre; SO_3 – Trióxido de Enxofre.

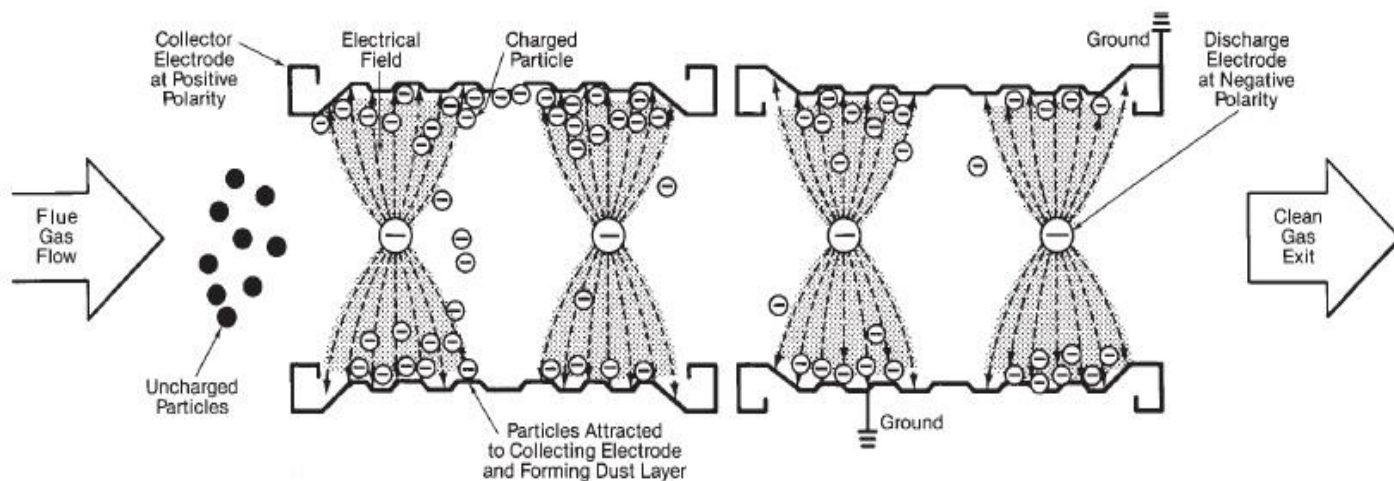


Figura 11 - Funcionamento do Precipitador Eletrostático. Fonte: BABCOCK & WILCOX COMPANY, 2005.

- Filtro de Manga: Os gases são forçados a passar pelas mangas (tecido filtrante) e dessa forma o material particulado é separado do restante do gás, um jato pulsante retira o particulado da manga, que cai em um sistema de coleta de cinzas.

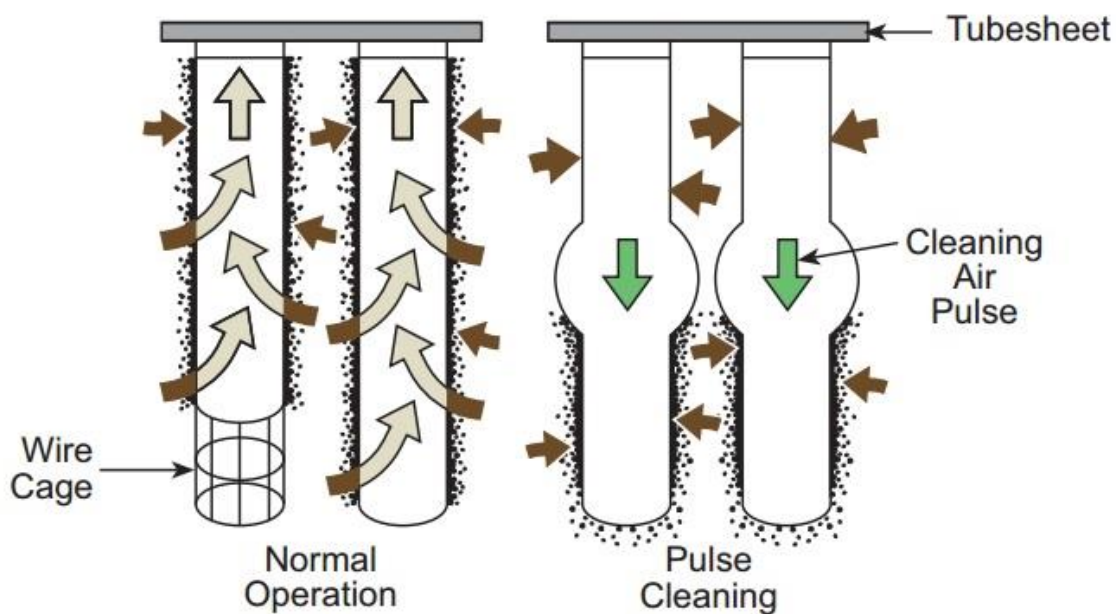


Figura 12 - Funcionamento do Filtro de Manga. Fonte: BABCOCK. Disponível em <<http://www.babcock.com/library/Documents/e1013199.pdf>> Acesso em 28/05/2014.

- Lavador de Gases: trata-se de um sistema de coleta de material particulado que usa água (ou outro líquido) através de sprays, colunas de enchimento ou outros equipamentos. O líquido capta partículas sólidas do gás e depois é retirado.

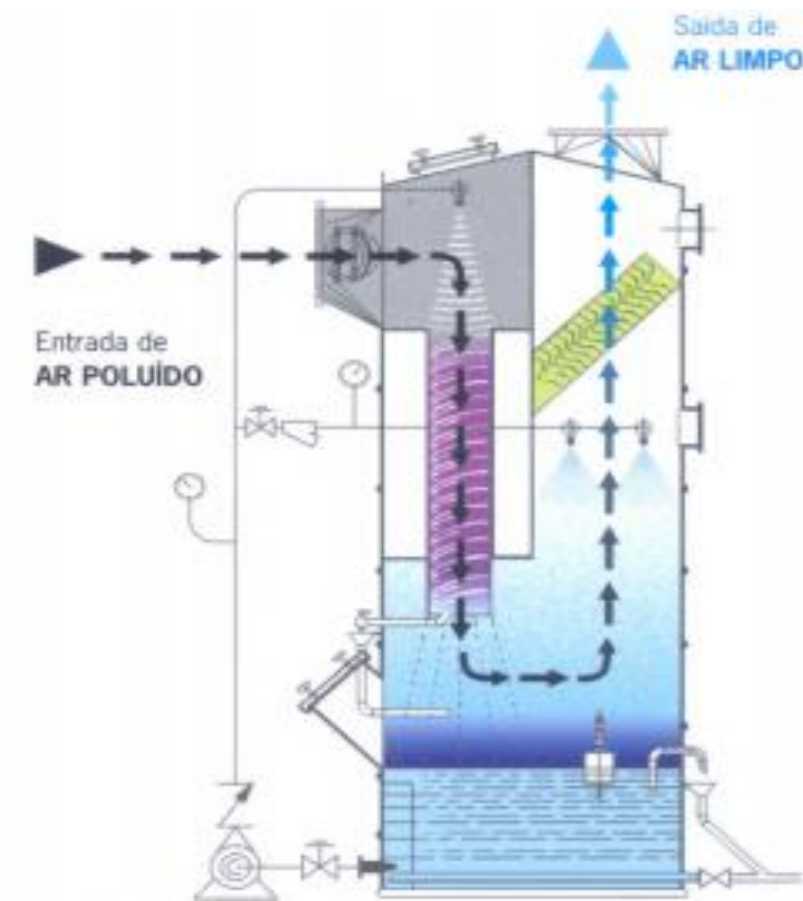


Figura 13 - Lavador de Gases. Fonte: Disponível em <<http://www.lavadorgases.com/>> Acesso em 31/05/2014

4.2 Caldeira de RSU

Este capítulo visa explicar o funcionamento das duas principais técnicas usadas para transformar RSU em vapor para geração de energia elétrica, a primeira se chama queima bruta (“*mass burning*”) que consiste na queima total dos resíduos, da maneira que é coletado. Já a segunda utiliza Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR) e consiste na

queima de material previamente separado e tratado. (THE BABCOCK & WILCOX COMPANY, 2005).

4.2.1 Queima Bruta

Nesta técnica os resíduos são misturados sem que ocorra uma triagem para separação dos materiais recicláveis como papel, madeira e plástico. A única preocupação é com materiais de grande porte, que devem ser previamente retirados.

Trata-se da técnica mais comum de recuperação de energia através de resíduos, e só pode ser realizada com fornalha de queima em grelha.

A figura 14 mostra uma típica planta de uma usina de queima bruta na Europa.

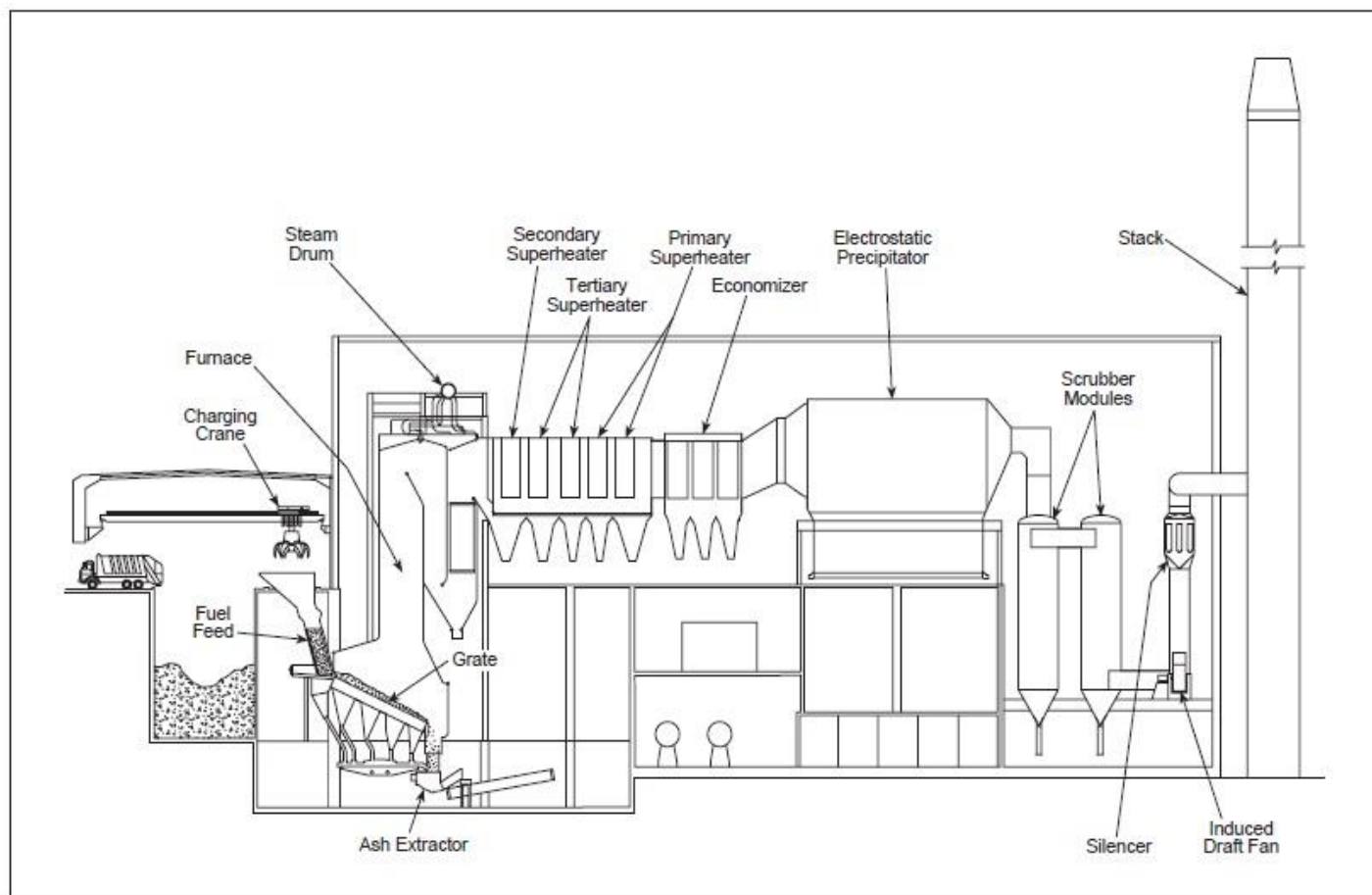


Figura 14 - Planta de Usina Queima Bruta na Europa. Fonte: BABCOCK & WILCOX COMPANY, 2005.

4.2.2 Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR)

Conforme relatório feito pela Engebio Engenharia e Fundação Estadual do Meio Ambiente (2010), “o CDR se apresenta como um material bruto na forma de flocos, produzido a partir de RSU de origens diversas que passaram por uma série de estágios de classificação e remoção magnética de materiais ferrosos e não ferrosos”.

A maior diferença entre a queima bruta de resíduos e a queima de CDR, é essa série de estágios pelo qual os resíduos sólidos urbanos passam. A produção de CDR é feita para que também possa ser transportada e armazenada, por isso pode ser queimado em local diferente de onde é processado. Entretanto são comuns usinas que processam e queimam o CDR na mesma planta.

Esta técnica se mostra mais versátil no que diz respeito ao tipo de fornalha, já que a caldeira pode ser projetada tanto com fornalha de grelha, como fornalha de leito fluidizado.

Abaixo, a figura 15 mostra a planta de uma usina onde o CDR é processado e queimado.

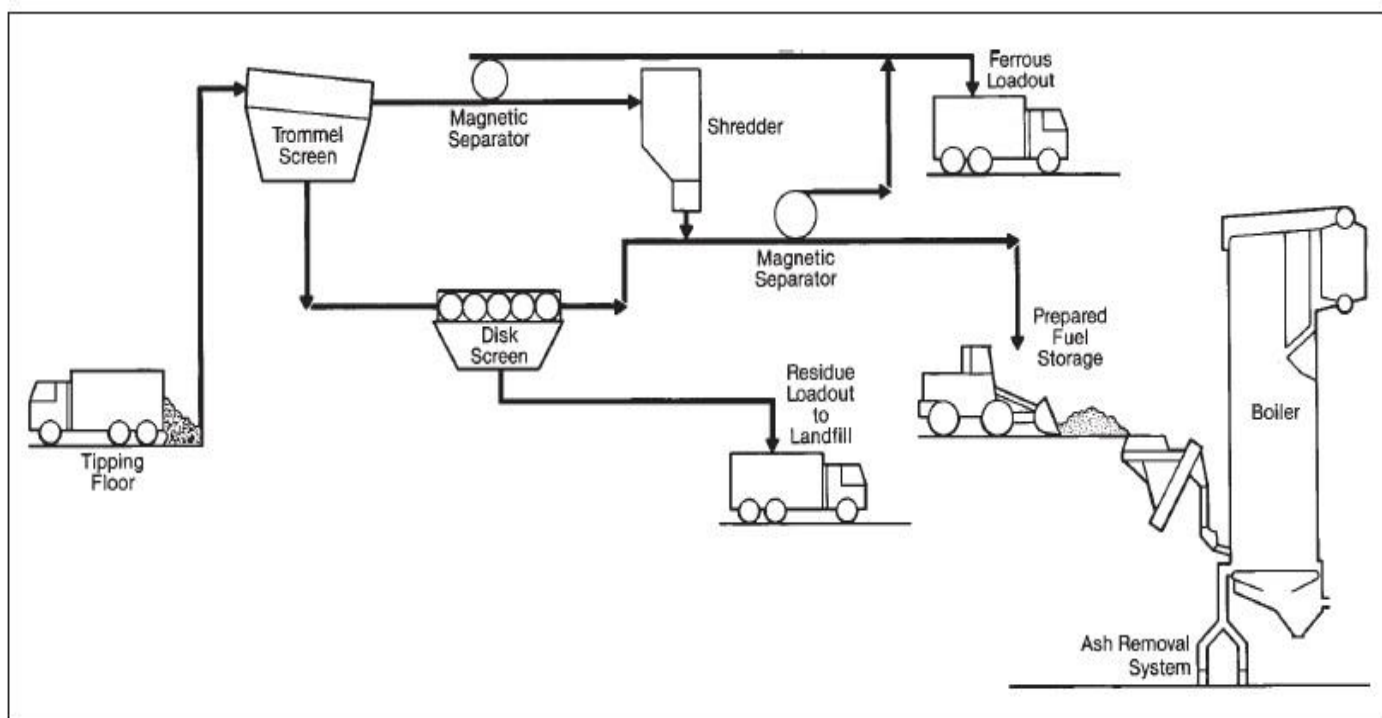


Figura 15 - Esquema de Queima de CDR. Fonte: BABCOCK & WILCOX COMPANY, 2005.

Capítulo 5

Geração de Energia a partir de RSU no mundo

O grande problema da implantação de geração de energia a partir de RSU é o alto custo envolvido no processo, o que faz com que a maioria das usinas desse tipo estejam em países desenvolvidos.

Outro ponto favorável para a implantação de usinas termoeletricas movidas a resíduos sólidos urbanos em países desenvolvidos é a baixa porcentagem de matéria orgânica, o que eleva o PCI. No Brasil a porcentagem de matéria orgânica nos RSU coletados é de cerca de 50%, nos Estados Unidos 12%, Índia 68% e França 23% (Disponível em <http://www.cempre.org.br/ft_composto.php> Acesso em 11/05/2014).

A maior usina com a tecnologia de processamento de energia fica em Amsterdam, Holanda, onde 4.500 ton/dia de RSU são processadas; as caldeiras de níquel empregadas nessas usinas geram altos custos de capital e operação, uma vez que, devem ser trocadas a cada dois anos ou menos.

Nos Estados Unidos, na Europa, no Japão e agora, em larga escala na China, já foram implantadas usinas termelétricas alimentadas por resíduos, notadamente a partir dos anos 80. Essas tecnologias, embora já se mostrassem economicamente viáveis, em muitos casos apresentavam problemas ambientais, principalmente pela emissão de poluentes do ar. Esses problemas foram completamente resolvidos nos últimos anos através de modernas técnicas de combustão associadas a sistemas de filtros capazes de reduzir as emissões de poluentes a níveis tão baixos que dificulta a sua medição. A Incineração e a Digestão Anaeróbica Acelerada são, essencialmente, as duas formas adotadas para se produzir energia elétrica com a quase total eliminação do vazamento de matéria orgânica em aterros sanitários. A incineração é a melhor opção aos aterros sanitários pois, além da não emissão de metano (poderoso gás de efeito estufa), implica na redução de 90% em volume e 75% em peso para as cinzas, inertes, que podem ser colocadas em aterros comuns ou até mesmo utilizadas na construção civil.. (Disponível em<http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/publicacoes/usinas_lixo_energia_no_brasill.pdf> Acesso em 31/5/2014).

No Japão e na Europa as prefeituras pagam Taxas para Destinação Final (TDF) às empresas que recebem RSU em um valor de cerca de R\$250,00 por tonelada de RSU,

enquanto no Brasil esse valor é de cerca de R\$6,00 por tonelada. O pagamento dessas taxas viabiliza a implementação do processo de queima dos resíduos sólidos.

A complexidade envolvida na combustão completa do lixo aliada ao sofisticado sistema de tratamento de gases implica em altos custos de capital, de operação e de manutenção que só podem ser cobertos, em geral, pelas altas TDF (Taxas de Disposição Final do lixo) praticadas pelos países desenvolvidos. Uma possível solução para este impasse, seria o aumento da eficiência termodinâmica da planta de modo que a produção de energia elétrica aumentasse entre 40 e 50% para a mesma quantidade de lixo incinerado. O aumento da eficiência passa inevitavelmente pelo aumento da pressão e da temperatura do vapor da caldeira o que provoca o aumento da corrosão nos tubos do superaquecedor que cresce exponencialmente a partir de 400°C. A resistência à corrosão só é possível de duas maneiras, ambas inviáveis no Brasil: introdução de caldeiras de inonel, ou outros materiais nobres, para resistir à corrosão causada pelos gases da queima do lixo, ou com a introdução de ciclos combinados gás natural / lixo com grande consumo de gás. (Disponível em<http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/publicacoes/usinas_lixo_energia_no_brasill.pdf> Acesso em 31/5/2014).

O Ciclo Combinado Otimizado (CCO) foi criado para ser uma alternativa de menor custo para os países em desenvolvimento. O processo de CCO consiste em associar a queima dos RSU com uma parcela pequena de gás natural ou biogás de aterros sanitários; resultando para que a energia gerada da usina seja 75% ou mais vinda pela queima dos resíduos e o restante do gás.



Figura 16 - Usina Queima Resíduos Sólidos - AEB Amsterdam, Holanda. Fonte: Disponível em <http://www.wastematters.eu/uploads/RTEmagicC_AEB_by_night_web.jpg.jpg> Acesso em 31/05/2014.

Uma usina térmica de geração de energia a partir da queima de resíduos sólidos pode alcançar uma eficiência de cerca de 22%, ou seja, 0.5 MWh/ton de RSU processada; pode-se chegar a uma eficiência de 30%, como no caso da usina de Amsterdam, porém os custos de operação são muito elevados.

5.1 Exemplos de Usinas no Mundo

A tabela 9 mostra usinas de queima bruta de resíduos sólidos nos Estados Unidos e na Europa.

Tabela 9 - Usinas de Queima Bruta de RSU

Nome	País	Cidade	RSU Tratado (t/ano)	Energia Gerada (GWh/ano)	Início das Operações
Baltimore Resco	Estados Unidos	Baltimore	739.631	526	01/01/1985
Bristol	Estados Unidos	Bristol	213.671	143	01/05/1988
Hillsborough County RRF	Estados Unidos	Tampa	591.705	407	01/10/1987
Onondaga	Estados Unidos	Jamesville	325.438	220	25/02/1995
Plymouth	Estados Unidos	Conshohocken	399.730	280	01/02/1992
Lancaster County RRF	Estados Unidos	Bainbridge	394.470	315	11/05/1991
Harrisburg RRF	Estados Unidos	Harrisburg	262.980	184	-
Esiane	França	Villers-Saint-Paul	157.500	64	01/01/2004
Azalys	França	Carrières-sous-Poissy	115.000	44	01/01/1998
Savenas	Suécia	Göteborg	460.000	263	31/12/1993
Marchwood	Reino Unido	Marchwood	165.000	123	01/01/2004
SELCHP	Reino Unido	London	420.000	307	-
Amsterdam WFPP/WTE	Holanda	Amsterdam	1.400.000	1.000	01/01/2007

Organização: ITÔ, L. C. M.

Fonte: Disponível em <<http://wteplants.com/>> Acesso em 02/05/2014.

Capítulo 6

Conclusões

O trabalho apresentou normas e leis importantes no que se diz respeito à gestão de resíduos sólidos, bem como informações sobre viabilidade da implantação de usinas termoeletricas movidas a resíduos sólidos urbanos. No caso de países mais desenvolvidos e com pouco espaço territorial a técnica se mostra viável no que diz respeito à gestão ambiental e retorno econômico, muito graças as altas taxas de destinação final, além do elevado valor do PCI nos RSU.

No Brasil esta realidade é muito diferente, pois as taxas de destinação final são baixas, assim como o PCI, aliados ao vasto território nacional colocam a disposição final em aterros sanitários como uma saída viável do ponto de vista econômico.

É interessante também ressaltar as novas tecnologias no que se diz respeito a Caldeiras em geral, com ótimas medidas de mitigar os danos causados pela incineração, bem como aproveitar o máximo possível da energia térmica proveniente da queima do combustível.

Seja como uma real alternativa ou uma futura possibilidade, ações voltadas a uma melhor gestão ambiental são bem vindas, além de novas formas de geração de energia elétrica, uma vez que a necessidade da mesma é imprescindível no mundo atual.

BIBLIOGRAFIA

ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos do Brasil, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8.419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.007: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

BABCOCK & WILCOX COMPANY. *Steam, its generation and use*. 41st edition, 2005.

CETESB. *Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos*, 2013. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/publicacoes-e-relatorios/1-publicacoes/-relatorios>> Acesso em 13/05/2014.

ENGEPIO, Engenharia; FEAM, Fundação Estadual Do Meio Ambiente. *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. Relatório 1: Estado da arte do tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica*. 2ª Edição. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2010. Disponível em <<http://www.feam.br/images/stories/fean/relatorio%201%20%20estado%20da%20arte%20do%20tratamento%20termico.pdf>> Acesso em 31/05/2014.

EPE, E. D. P. E. *Aproveitamento energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande*. Rio de Janeiro, 2008.

FRÉSCA, Fábio Rogério Carvalho. *Estudo da geração de resíduos sólidos domiciliares no município de São Carlos, SP, a partir da caracterização física*. 1v. 133p. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-09042008-111912/pt-br.php>> Acesso em 15/05/2014.

HENRIQUES, Rachel Martins. *Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: uma abordagem tecnológica*. 1v. 190p. Tese de Mestrado apresentada à Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em <<http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/rachelh.pdf>> Acesso em 21/05/2014.

LUCKE, Sergio Augusto. *O resíduo sólido urbano como fonte renovável para geração de energia elétrica: aspectos econômicos e sócio-ambientais*. 1v. 437p. Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012. Disponível em <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000905628>> Acesso em 21/05/2014.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 5th Edition, 2006. 1v. 831p.

POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, lei nº12.305, 2010. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Acesso em 15/05/2014.

SCHALCH, V. *Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos*. Notas de Aula, São Carlos, 2012.

Sites:

Disponível em <<http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/lixo/desafios-era-lixo-detritos-transformar-riqueza-urbanidade-sujeira-681764.shtml>> Acesso em 15/05/2014.

Disponível em <<http://www.educacao.cc/ambiental/geracao-de-energia-a-partir-do-lixo/>> Acesso em 15/05/2014.

Disponível em <<http://www.univesp.ensinosuperior.sp.gov.br/preunivesp/2473/use-jogue-fora-ae-e-gere-energia.html>> Acesso em 15/05/2014.

Disponível em <http://engmadeira.yolasite.com/resources/Caldeiras_texto.pdf> Acesso em 26/05/2014.

Disponível em <<http://pessoal.utfpr.edu.br/tarik/arquivos/apostila.pdf>> Acesso em 26/05/2014.

Disponível em <<http://www.babcock.com/>> Acesso em 28/05/2014.

Disponível em <<http://www.lavadorgases.com/>> Acesso em 31/05/2014

Disponível em <http://www.wtert.com.br/home2010/arquivo/publicacoes/usinas_lixo_energia_no_brasil.pdf> Acesso em 31/5/2014

Disponível em <http://www.wastematters.eu/uploads/RTEmagicC_AEB_by_night_web.jpg.jpg> Acesso em 31/05/2014.

Disponível em <<http://wteplants.com/>> Acesso em 02/05/2014.

Disponível em <http://www.cempre.org.br/ft_composto.php> Acesso em 11/05/2014

