



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
COORDENAÇÃO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso

Utilização de Fontes Dendroenergéticas na Substituição da Geração por
derivados de Petróleo

José Kledson Medeiros de Lucena
Kledson.medeiros@terra.com.br

Orientador:
Prof.: Leimar de Oliveira

Campina Grande, Fevereiro de 2007



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

Agradecimentos

A realização deste trabalho é o resultado da dedicação de várias pessoas. Gostaria de agradecer a todos os meus familiares e amigos. Finalmente, agradeço ao meu orientador pela sua compreensão e pela ajuda na elaboração deste trabalho.

José Kledson M de Lucena

Lista de Figuras

- Figura 1 - Variação do PCI com respeito a umidade em base seca
- Figura 2 - Usinas Termoelétricas a Biomassa no Brasil
- Figura 3 - Fração em massa consumida x Temperatura da partícula
- Figura 4 - Disposição do fluxo de ar em uma fornalha à suspensão
- Figura 5 - Ciclo Rankine sem Cogeração
- Figura 6 - Ciclo de Rankine com Cogeração
- Figura 7 – Ciclo de Brayton sem cogeração(a) e com cogeração(b)
- Figura 8 – Ciclo Combinado
- Figura 9 - Turbina a Vapor
- Figura 10 - Componentes Principais de uma Caldeira
- Figura 11 - Modelo de uma central termoelétrica
- Figura 12 - Ciclo de Rankine com superaquecimento
- Figura 13 – Gerador Diesel

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Características técnicas de diferentes tipos de Biomassa em base seca

Tabela 2 - Umidade e PCI de diferentes tipos de Biomassa em base seca

Tabela 3 - Gastos com a Geração a Vapor.

Simbologia

CEAM – Companhia Energética do Estado do Amazonas

CH₄ - Metano

CO₂ – Dióxido de Carbono

LT's – Linhas de Transmissão

Mtep - Milhões de tonelada equivalentes de petróleo

PCI – Poder Calorífico Inferior

PCS – Poder Calorífico Superior

Índice

1. Capítulo 1 : Introdução	02
1.1 Definições	02
1.2 Características dos Recursos Dendroenergéticos	03
2. Capítulo 2 : Cenário Energético Mundial e Nacional	07
3. Capítulo 3 : Tecnologias de Aproveitamento	12
4. Capítulo 4 : Geração de Energia Elétrica a partir de Turbinas a Vapor	16
4.1 Ciclo de Rankine	16
4.2 Ciclo de Brayton	17
4.3 Cogeração	19
4.4 Turbinas a Vapor	20
5. Capítulo 5 : Geração Diesel	25
6. Capítulo 6 : Principais Impactos Negativos da Geração Termoelétrica	27
7. Capítulo 7 : Geração Diesel <i>versus</i> Turbina a Vapor	29
8. Conclusão	32
9. Bibliografia	33

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo apresentam-se as definições básicas com relação a dendroenergia , assim como , a utilização da Biomassa como recurso energético , dando ênfase principalmente ao uso dos Dendrocombustíveis .

1.1 Definições

De acordo com o dicionário *Aurélio*, a palavra “dendro” significa árvore. Portanto, podemos considerar que o termo “Dendroenergia” significa energia das árvores. É importante salientarmos a importância deste tipo de energia para as atividades humanas. Desde o tempo das cavernas, onde as fogueiras aqueciam e iluminavam, até os dias atuais, a lenha tem o seu papel na vida do homem.

O termo Biomassa está relacionado a toda matéria vegetal: resíduos florestais e agrícolas, resíduos animais e também a matéria orgânica contida nos resíduos industriais, domésticos, municipais, etc. Estes materiais contêm energia química que pode ser transformada em outros tipos de energia, ou pode ser convertida em outras fontes de energia mais adequadas , tais como o álcool e o carvão vegetal.

Os Biocombustíveis podem ser classificados em três grupos principais: Dendrocombustíveis (combustíveis das árvores), Agrocombustíveis e os Resíduos Urbanos.

Os Dendrocombustíveis são caracterizados por serem resíduos de madeira proveniente de exploração florestal e resultante do processo de industrialização desta madeira. Os Agrocombustíveis apresentam características semelhantes, porém, diferenciam-se dos Dendrocombustíveis por serem resíduos provenientes de plantações,

colheitas e outros tipos de culturas, como palhas e folhas. Além do mais, os resíduos de subprodutos animais, como é o caso do esterco de aves, bovinos e suínos, são considerados Agrocombustíveis. Por fim, os Resíduos Urbanos caracterizam-se por serem aqueles resíduos provenientes de cidades e vilas.

A crise de energia pela qual passou o Brasil entre 2001 e 2002, foi um fator motivador para estimular o interesse de todos pela pesquisa sobre novas fontes de Energia. Diante do problema, os governos tiveram que tomar medidas emergenciais que afastaram o iminente perigo de “Apagões”. Cabe aos pesquisadores desenvolver alternativas viáveis, a exemplo da utilização do Biodiesel, a retomada do Pró-álcool, a implementação de processos de geração distribuída a exemplo da co-geração especialmente no setor sucro-alcooleiro. Entre diversas alternativas, existe a utilização de resíduos florestais como forma de matéria-prima para geração de Energia Elétrica.

Este trabalho propõe a utilização de Dendrocombustíveis e outros tipos de Biomassas como alternativas viáveis para a produção de Energia Elétrica e também propõe a substituição da Geração Diesel, que é cara e poluente, nos sistemas de geração distribuída.

1.2 Características dos Recursos Dendroenergéticos

Os recursos Dendroenergéticos têm como principais características a Umidade, a Composição Química Elementar, Composição Química Imediata e o Poder Calorífico. A Umidade é a medida da quantidade de água livre na biomassa e que pode ser avaliada pela diferença entre os pesos de uma amostra, antes e após ser submetida à secagem. Podem-se apresentar os valores da umidade em base seca ou úmida, conforme seja a condição de referência adotada, como se apresenta nas expressões a seguir:

Umidade base seca:

$h_s = (P_u - P_s) / P_s$, onde h_s é o peso seco e P_u e P_s correspondem respectivamente aos valores de Biomassa de uma amostra de combustível nas condições de queima úmida e seca , que é o caso da Biomassa secada em estufa a 105°C até apresentar peso constante.

Umidade base úmida :

$h_u = (P_u - P_s) / P_u$, onde h_u é o peso úmido .

Uma situação que pode ocorrer durante a análise de sistemas de combustíveis de Biomassa é a necessidade de converter de uma base de referência até outra, já que usualmente os dados de combustível são apresentados em base seca.

A Composição Química Elementar corresponde ao conteúdo percentual em massa dos principais elementos que constituem a biomassa, geralmente referente à matéria seca , ou seja , sem considerar a presença de água. São geralmente apresentados valores para o Carbono(C) , Hidrogênio(H) , Enxofre(S) , Oxigênio(O) , Nitrogênio(N) e Cinzas(A).Esta última parcela agrega todos os outros elementos não combustíveis.A Composição Química Elementar constitui a base dos cálculos de combustão.

A Composição Química Imediata refere-se ao conteúdo percentual, baseado na massa do combustível , do Carbono Fixo(F) , materiais voláteis(V) e eventualmente umidade(W).O conteúdo dos voláteis expressa a facilidade de se queimar um material e se determina como a fração em massa do combustível que volatiliza durante o aquecimento de uma amostra padronizada, em atmosfera inerte, até temperaturas de aproximadamente 850°C , por 7 minutos. A fração de Carbono que permanece na amostra logo após este aquecimento é chamado de Carbono Fixo ou Coque.

O Poder Calorífico é a quantidade de Calor (Energia Térmica) que se libera durante a combustão completa da unidade de massa ou volume do Combustível (kJ/kg ou kJ/m³).Quando não se considera o Calor Latente de condensação da umidade presente nos produtos de combustão , tem-se o Poder Calorífico Inferior (PCI) e quando esse calor é considerado , tem-se o Poder Calorífico Superior (PCS).

De maneira simplificada , pode-se dizer que o PCI refere-se ao calor efetivamente possível de ser utilizado nos combustíveis , enquanto o PCS é em torno de 10 a 20% mais elevado , resultado de sua avaliação em laboratório. Na Tabela 1 apresentam-se

valores de Poder Calorífico e de Composição Elementar e Imediata para algumas Biomassas de interesse energético , utilizando a simbologia apresentada nessa seção .

Tipo de Biomassa	Composição elementar(%)						Composição Imediata(%)			PCI, MJ/kg
	C	H	O	N	S	A	V	A	F	
PINHEIRO	49,29	5,99	44,36	0,06	0,03	0,30	82,54	0,29	17,70	20,0
EUCALIPTO	49,00	5,87	43,97	0,30	0,01	0,72	81,42	0,79	17,82	19,4
CASCA DE ARROZ	40,96	4,30	35,86	0,40	0,02	18,34	65,47	17,89	16,67	16,1
BAGAÇO DE CANA	44,80	5,35	39,55	0,38	0,01	9,79	73,78	11,27	14,95	17,3
SABUGOS DE MILHO	46,58	5,87	45,46	0,47	0,01	1,40	67,95	8,25	23,8	19,0
CASCA DE COCO	48,23	5,23	33,19	2,98	0,12	10,25	80,10	1,36	18,54	18,8

Tabela 1
Características técnicas de diferentes tipos de Biomassa em base seca
(JENKINS,1990)

A tabela 2 fornece alguns valores do PCI e umidade para diferentes tipos de Biomassas .

Biomassa	Umidade (%)	PCI(MJ/kg)
Lenha Verde	62	5,7
	50	8,2
Lenha seca ao ar	38	10,8
	23	13,8
Lenha seca em estufa	17	15,8
	9	16,8
	0	18,7
Carvão Vegetal	5	30,8
Bagaço de Cana	50	8,4
Cascas de Coco	8	16,7
Palha e casca de arroz	13	13,4

Tabela 2
Umidade e PCI de diferentes tipos de Biomassa em base seca
(ONY,1987)

Através da Tabela 2 , pode-se definir uma curva para a variação do valor calorífico com relação a mudança de umidade.A figura 1 apresenta esta curva.

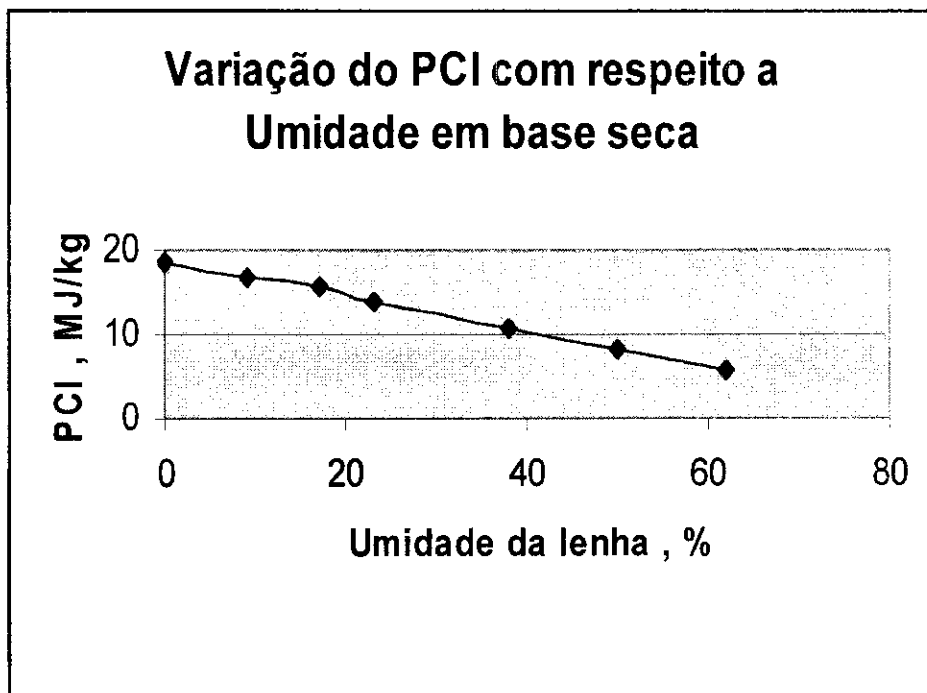


Figura 1 – Variação do PCI com respeito a umidade em base seca

Nos próximos capítulos abordaremos as seguintes questões:

Capítulo 2 – Apresentaremos uma descrição do Cenário Energético Mundial e Nacional , dando enfoque a situação da matriz energética atual , apresentando alternativas que podem ser utilizadas na substituição das atuais fontes de energia ;

Capítulo 3 – No presente capítulo apresentaremos as tecnologias de aproveitamento da biomassa para a geração de energia elétrica , assim como os diversos processos que podem ser utilizados para sua geração ;

Capítulo 4 – Apresentaremos neste capítulo a alternativa Turbinas a Vapor como meio para a geração de energia elétrica ;

Capítulo 5 – Faremos uma breve descrição da geração diesel ;

Capítulo 6 – Apresentaremos os Principais Impactos Negativos que a Geração Termoelétrica ocasionar ;

Capítulo 7 – Neste capítulo faremos um comparativo entre o custo da geração a Turbina a Vapor e a Geração Diesel, tomando como base dados de uma Usina Termoelétrica e de um fabricante de grupo-gerador;

Capítulo 8 - Apresentaremos as conclusões obtidas neste trabalho.

Capítulo 2

Cenário Energético Mundial e Nacional

Se mantiverem as atuais condições de utilização de recursos energéticos, teremos uma crise energética nas próximas décadas, onde haverá o esgotamento dos recursos não renováveis de origem fósseis a exemplo do petróleo, hoje responsável por 34,4% do fornecimento energético mundial, seguido pelo gás natural, 21,2% e o carvão mineral com 24,4%, é de fundamental importância a utilização de novas fontes de energia renováveis.

É neste cenário em que as três principais componentes da matriz energética mundial, responsável hoje, por 80% da energia total do planeta, aproximadamente 8460Mtep/ano, todos de natureza fóssil e não renovável se insere, contribuindo com o aquecimento global através de 24880 milhões de toneladas de CO_2 ou equivalentes em gases geradores do chamado efeito estufa, a exemplo do CH_4 , NO_2 , SO_2 entre outros que somam-se no conjunto do segmento energético, a emissão equivalente a 24983 milhões de toneladas equivalente de CO_2 por ano.

A maioria dos combustíveis fósseis (derivados do petróleo, carvão mineral, gás natural), assim como nucleares (elementos radioativos) é classificada como uma fonte primária não renovável, devido ao enorme tempo necessário para sua reposição pela natureza. Outros podem ser utilizados como fonte renováveis, como a biomassa advinda de plantações manejadas.

Estudos indicam que as reservas disponíveis dos combustíveis fósseis ainda podem durar um longo tempo, se não ocorrerem mudanças drásticas. Todas as previsões de evolução da matriz energética mundial, mesmo nos cenários mais otimistas para o desenvolvimento sustentável, indicam que os combustíveis fósseis preencherão uma porcentagem significativa dessa matriz neste século.

Fonte de energia renovável (quando manejada adequadamente), a biomassa apresenta vantagens ambientais inexistentes em qualquer combustível fóssil. Como não emite óxidos de nitrogênio e enxofre em grandes quantidades, e o dióxido de carbono

lançado na atmosfera durante a queima é absorvido na fotossíntese , apresenta balanço zero de emissões.

Alguns países , especialmente europeus , tem tomado medidas práticas na busca da criação de novas alternativas energéticas de base renovável. Podemos destacar a Dinamarca , pioneira no uso da biomassa (palha e madeira) para a obtenção de aquecimento e eletricidade , bem como o uso do esterco e materiais orgânicos para o biogás , e também ressaltamos a Suécia que apresenta em Vaxjo na região de Kronoberg , considerada como uma das zonas empresariais mais dinâmicas do país , com pouco mais de 75 mil habitantes , é sem dúvida uma das cidades mais importantes do mundo em matéria de bioenergia , já que é considerada a primeira cidade que não usa combustível fóssil(petróleo , gás e carvão mineral) . Todas suas necessidades energéticas são satisfeitas com bioenergia obtida , em maior parte , de biomassa florestal.

O que acontece em Vaxjo é um exemplo para o mundo e em especial para o Brasil . Primeiro porque este logro é fruto de uma política nacional que apóia a utilização de fontes de energia sustentável renováveis , e depois porque utiliza-se a grande riqueza florestal da Suécia , um recurso que também é abundante em nosso País.

Hoje , no entanto , estamos muito longe de Vaxjo. Claro que as coisas estão mudando . Cada vez mais aumenta a consciência a respeito da importância da Bioenergia , em particular da Dendroenergia , como uma das opções para auto-abastecermos de energia necessária para sustentarmos nossas indústrias , iluminar nossos espaços e garantir uma boa qualidade de vida para nossa sociedade.

Em Setembro de 2003 , havia registro de 217 termelétrica a Biomassa em operação no Brasil , perfazendo uma capacidade instalada de 2696 MW.Como ilustra a figura 2, a grande maioria dessas usinas está localizada no Estado de São Paulo , onde se concentra grande parte de setor sucroalcooleiro do país.

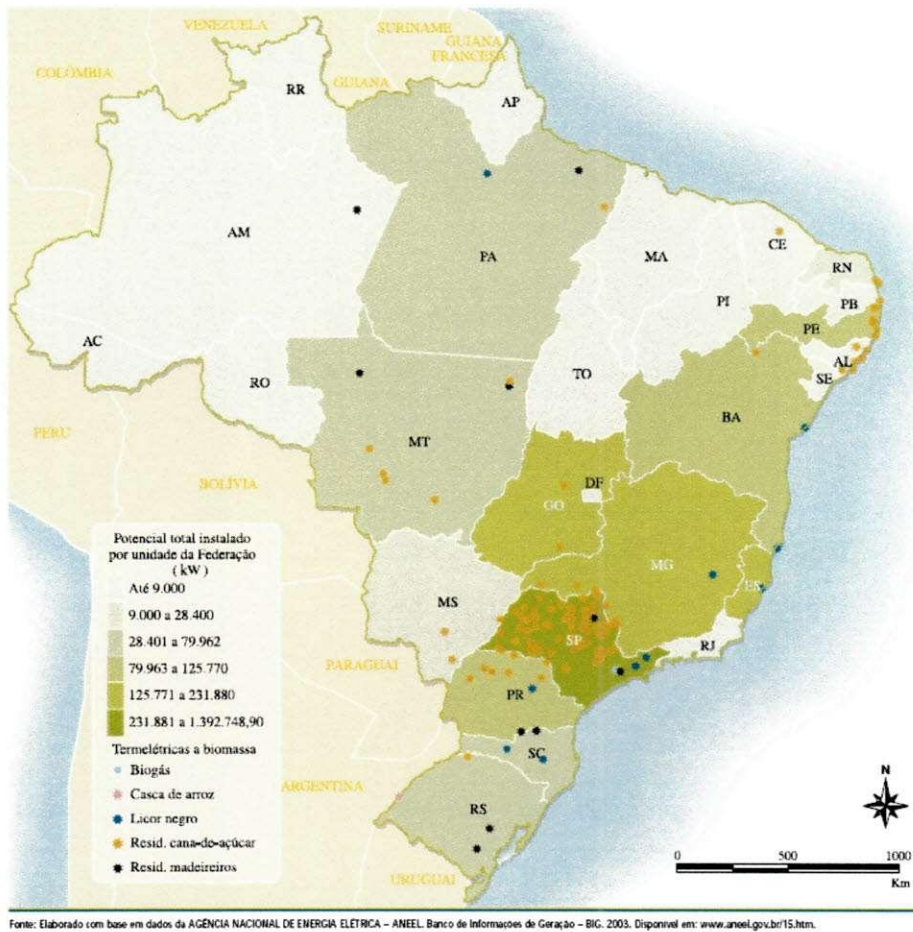


Fig 2 – Usinas Termoelétricas a Biomassa no Brasil

No Brasil o uso mais importante de biomassa se relaciona com o desenvolvimento da frota de veículos a álcool , que veio a criar uma alternativa mais promissora e mais adequada ambientalmente que os derivados do petróleo. O uso da Biomassa para a produção de energia elétrica se apresenta mais promissor com os resíduos da cana-de-açúcar , a biomassa florestal e , mais recentemente , o aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos(lixo).

No Brasil , já existem florestas energéticas implantadas , principalmente para o suprimento das indústrias siderúrgicas do estado de Minas Gerais , colocando o país na vanguarda do conhecimento mundial em tecnologia florestal.

A energia elétrica também pode ser obtida a partir da gaseificação da madeira proveniente de plantações de espécies vegetais de curta rotação , próprias para fins energéticos , em conjunto com a tecnologia de turbina a gás.

O Brasil , graças as suas características topográficas e hidrológicas , possui potencial hidroelétrico teórico aproveitável da ordem de 260.092 MW , sendo 50% desse total concentrado nas bacias hidrográficas do Rio Amazonas (104.061MW) e do Rio Tocantins (26.595 MW). Entretanto, o potencial inventariado é da ordem de 179GW , sendo cerca de 44% na região amazônica e 66% nas demais regiões do país e a potência instalada das usinas em operação em 2004 era de 67.901 MW , quando encontrava-se em construção mais 7.927 MW[fonte: Eletrobrás]

Enquanto a média mundial de geração de eletricidade tem o carvão mineral como o principal componente com 40,1% do total , o gás natural com 19,4% e apenas em terceiro lugar aparecia a hídrica com 15,9% , seguido pela nuclear com 15,8% , no Brasil 91,15% da energia elétrica produzida em 2004 foi de origem hidráulica , 3,0% de origem termonuclear e apenas 5,48% de termoeletricas convencionas , tais como gás , carvão e biomassa .

A preponderância hidráulica na matriz energética brasileira deve ser repensada , pois , apesar da hidroeletricidade ser comumente considerada como a alternativa renovável mais limpa e barata do planeta , ela apresenta uma problemática que é a agressão ambiental . Algumas vezes estas agressões chegaram a ser absurdas , como foram os casos de Tucuruí e Balbina , ambas na floresta amazônica.

Outros agravantes podem ser citados , como é o caso do aspecto social , já que , para a construção de uma hidroelétrica é necessário a remoção de diversas pessoas , através dos quais milhares ou até milhões de pessoas têm que abandonar casas e terras e migrar em busca de novas opções de subsistência.Outro aspecto é a imensa área de terras fertilíssimas , ricas em húmus e demais materiais orgânicos , que foram inundados e portanto perdidas devido a opção hidroelétrica. A área inundada pelos reservatórios hidroelétricos brasileiros é cerca de 30.605 km² , maior que os estados de Alagoas ou Sergipe.

Outra problemática dos sistemas hidroelétricos , é que tanto a transferência regional de grandes blocos de energia quanto a confiabilidade de um sistema de base preponderantemente hidráulica só é conseguido através de um reforçado sistema de interligações regionais , que no caso brasileiro , é de 80.007,7km e de 321 subestações de tensões entre 230kV a 750kV ,que requer entre outras coisas indisponibilidade ou

restrições de áreas , referentes às faixas de servidão de LT's . Tais áreas poderiam destinar-se a outras funções econômicas e sociais.

Tais problemas seriam reduzidos se o sistema elétrico tivesse como característica a descentralização de geração de energia elétrica , ou seja , se existissem reforços de pequenas gerações distribuídas territorialmente . Neste contexto, a Biomassa torna-se uma alternativa para a resolução desta problemática.

Capítulo 3

Tecnologias de Aproveitamento

O aproveitamento da Biomassa para a geração de energia pode ser feito de diversas maneiras. Pode-se utilizar o calor da combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte, etc.), de processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação, etc.) ou processos biológicos (fermentação e digestão anaeróbia).

As principais tecnologias de aproveitamento energético da Biomassa são descritas a seguir:

Combustão Direta: A queima direta, ou combustão direta é a tecnologia de conversão mais antiga e mais difundida comercialmente, aplicando-se fundamentalmente para a madeira e para diversos resíduos agroindustriais como o bagaço de cana e a casca de arroz. A biomassa é um combustível rico em voláteis, que constituem 3/4 de seu peso, como se pode observar de uma análise imediata. A biomassa é composta em sua maior parte de carbono e hidrogênio, variando muito pouco de um tipo de vegetal para outro. De acordo com a composição química imediata, a biomassa é formada do carbono fixo, materiais voláteis e eventualmente umidade. O conteúdo dos voláteis expressa a facilidade de se queimar um material e se determina como a fração em massa do combustível que volatiliza durante o aquecimento de uma amostra padronizada, em atmosfera inerte, até temperaturas de aproximadamente 850°C, por 7 minutos. A fração de carbono que permanece na amostra logo após este aquecimento é chamada de carbono fixo ou coque. Isso faz com que o processo de combustão transcorra em seis etapas consecutivas bem definidas:

- 1.Secagem.
- 2.Emissão dos voláteis.
- 3.Ignição dos voláteis.
- 4.Queima dos voláteis em chama.
- 5.Extinção dos voláteis.
- 6.Combustão do resíduo de carbono(coque)

A figura 3 relaciona a fração em massa consumida e a temperatura que corresponde a cada uma destas etapas para o caso da queima da madeira. Durante o processo de combustão da biomassa , deve ter-se em conta que este processo transcorre primeiramente em uma etapa homogênea(queima dos voláteis) e depois em uma etapa heterogênea(combustão do resíduo de carbono ou coque). De acordo com as condições de fornecimento e mistura do ar ao combustível , geralmente a velocidade das fases iniciais é superior a última fase , quando o combustível queima no estado sólido.

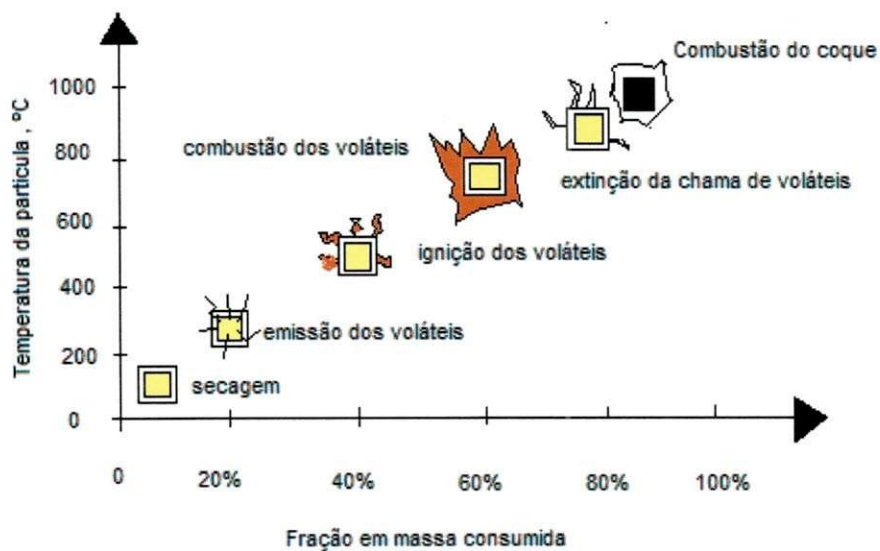


Figura 3 – Fração em massa consumida x Temperatura da partícula

Quando se queima biomassa em leito fixo sobre grelha, os voláteis desprendem e são queimados sobre o leito. Deste modo pode-se entender a conveniência de dividir o fluxo de ar de combustão em duas partes: ar primário, para combustão do resíduo de coque e ar secundário, para a combustão de voláteis, como é feito em sistemas industriais, e mostrado na figura 4. Em alguns sistemas o carbono do combustível se queima no leito somente até CO, concluindo sua combustão até CO₂, juntamente com voláteis.

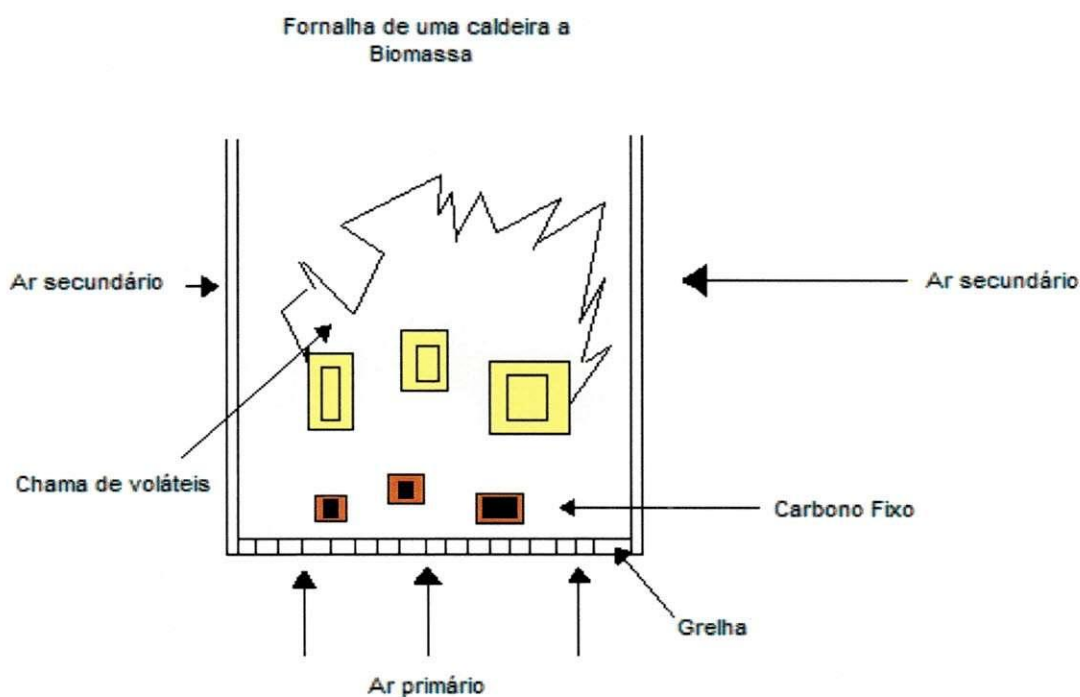


Figura 4 – Disposição do fluxo de ar em uma fornalha à suspensão

Gaseificação: como o próprio nome indica, gaseificação é um processo de conversão de combustíveis sólidos em gasosos, por meio de reações termoquímicas, envolvendo vapor quente e ar, ou oxigênio, em quantidade inferiores à estequiométrica (mínimo teórico para a combustão). Há vários tipos de gaseificadores, com grandes diferenças de temperatura e/ou pressão. Os mais comuns são os reatores de leito fixo e de leito fluidizado. O gás resultante é uma mistura de monóxido de carbono, hidrogênio, metano, dióxido de carbono e nitrogênio, cujas proporções variam de acordo com as

condições do processo , particularmente se é ar ou oxigênio que está sendo usado na oxidação.

A gaseificação de biomassa , no entanto , não é um processo recente. Atualmente , esse renovado interesse deve-se principalmente à limpeza e versatilidade do combustível gerado , quando comparado aos combustíveis sólidos. A limpeza se refere à remoção de componentes químicos nefastos ao meio ambiente e à saúde humana , entre os quais o enxofre. A versatilidade se refere à possibilidade de usos alternativos , como em motores de combustão interna e turbinas a gás. Um exemplo é a geração de eletricidade em comunidade isoladas das redes de energia elétrica , por intermédio da queima direta do gás em motores de combustão interna. Outra vantagem da gaseificação é que , sob condições adequadas , produz gás sintético , que pode ser usado na síntese de qualquer hidrocarboneto.

Pirólise: a pirólise ou carbonização é o mais simples e mais antigo processo de conversão de um combustível (normalmente lenha) em outro de melhor qualidade e conteúdo energético(carvão , essencialmente). O processo consiste em aquecer o material original (normalmente entre 300°C e 500 °C) , na quase-ausência de ar , até que o material volátil seja retirado. O principal produto final (carvão) tem uma densidade energética duas vezes maior que aquela do material de origem e queima em temperaturas muito mais elevadas. Além de gás combustível , a pirólise produz alcatrão e ácido piro-lenhoso.

A relação entre quantidade de lenha (material de origem) e a de carvão (principal combustível gerado) varia muito , de acordo com as características do processo e o teor de umidade do material de origem. Em geral , são necessárias de quatro a dez toneladas de lenha para produção de uma tonelada de carvão . Se o material volátil não for coletado , o custo relativo da carvão produzido fica em torno de dois terços daquele do material de origem.

Capítulo 4

Geração de Energia Elétrica a partir de Turbinas a Vapor

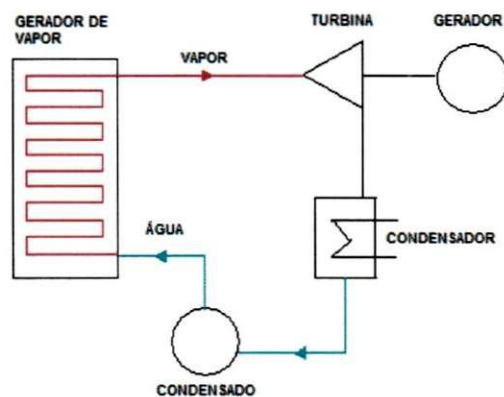
Nesta capítulo , apresentam-se as definições do ciclo de Rankine , do ciclo de Brayton , da Cogeração e por fim , uma descrição do processo de geração de energia através de uma turbina a vapor , utilizando a Caldeira como geradora de vapor.

4.1 Ciclo de Rankine

No ciclo Rankine utiliza-se o calor proveniente da combustão para a geração de vapor num equipamento chamado Caldeira ou Gerador de vapor. A energia térmica obtida a partir do processo de combustão pode ser utilizada tanto no processo de geração de Energia Elétrica , acionando turbinas a vapor acopladas a um gerador elétrico , como pode ser utilizado em processos industriais.O rendimento térmico máximo que pode ser obtido na prática , com este processo , é de aproximadamente 30 a 35% , ou seja , 1/3 da energia do combustível pode ser convertido em energia Térmica.Este tipo de ciclo permite a utilização de resíduos industriais , carvão , lenha , bagaço de cana , e outros recursos dendroenergéticos como fonte .

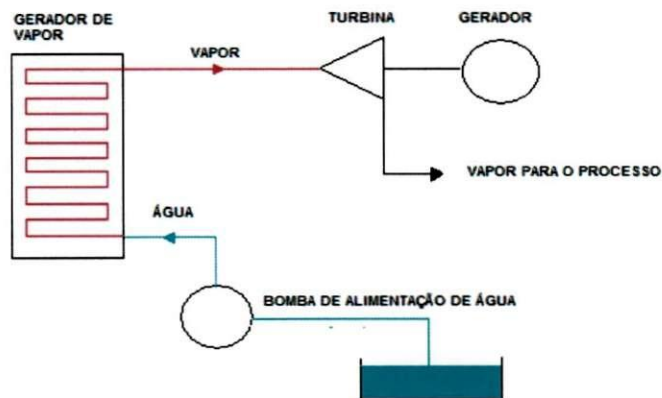
As figuras 5 e 6 ilustram o ciclo de Rankine convencional e com cogeração.A grande vantagem em termos de eficiência energética do processo de cogeração é o fato de que a partir do mesmo combustível se produz energia térmica e energia mecânica (posteriormente convertida em energia elétrica nas turbinas). Sendo assim , o vapor residual do processo , de baixa pressão nas turbinas de contrapressão ou de extração em uma turbina de condensação.

Nos processos em que não existe cogeração , parte do vapor de baixa pressão é utilizado no processo e o restante condensa e volta a ser utilizado como fonte de água para o mesmo.



CICLO RANKINE SEM COGERAÇÃO

Figura 5 – Ciclo Rankine sem Cogeração



CICLO DE RANKINE COM COGERAÇÃO

Figura 6 – Ciclo de Rankine com Cogeração

4.2 Ciclo de Brayton

O ciclo Brayton de turbina a gás vem se tornando um método cada vez mais utilizado para a geração de energia . Neste tipo de máquina , o ar atmosférico é continuamente succionado pelo compressor , onde é comprimido para uma pressão . O ar comprimido entra na câmara de combustão , é misturado ao combustível e ocorre a

combustão , resultando em gases com temperaturas bastante elevadas . Os gases provenientes da combustão se expandem através da turbina e descarregam na atmosfera.

Parte do trabalho desenvolvido é utilizada para acionar o compressor , o restante é utilizado para acionar um gerador elétrico ou dispositivo mecânico.

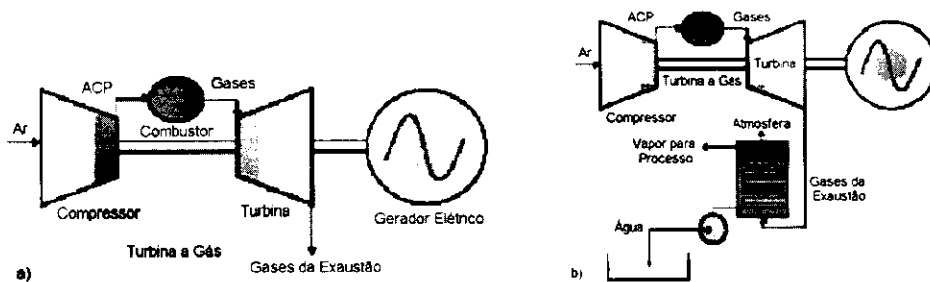


Figura 7 – Ciclo de Brayton sem cogeração(a) e com cogeração(b) (José Lúcio/2003)

A cogeração no ciclo Brayton é implementada através da adição de uma caldeira de recuperação de calor ao ciclo (Figura 7). Neste caso, os gases de exaustão da turbina são direcionados para a caldeira, de modo a gerar vapor. Este é o ciclo proposto para a utilização do gás natural na maioria dos sistemas de cogeração atuais utilizando como combustível o gás natural, que é a tendência atual no Brasil, nas indústrias em que o consumo de vapor é bastante elevado como nas indústrias de papel e celulose e indústrias químicas, onde existe a disponibilidade deste combustível.

O ciclo combinado consiste num processo que gera energia conjugando o ciclo de Brayton com o ciclo de Rankine . Ou seja , o calor recuperado dos gases da exaustão é utilizado para acionar uma turbina a vapor . A figura 8 apresenta um diagrama simplificado de um ciclo combinado.

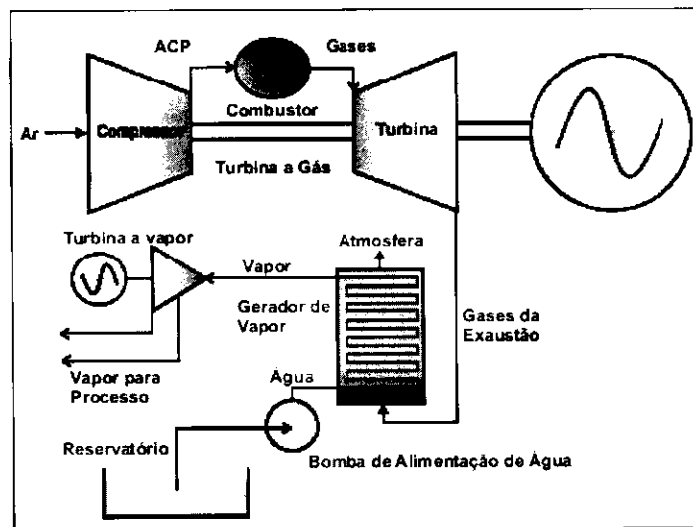


Figura 8 – Ciclo Combinado(José Lúcio/2003)

4.3 Cogeração

A cogeração pode ser entendida como o aproveitamento de uma fonte de energia residual do processo , ou seja , é a utilização da energia que seria perdida , no próprio sistema de geração ou a sua utilização em outro processo que necessite deste tipo de energia.

Os sistemas de cogeração são separados em dois grupos : topping cycle e as do tipo bottoming cycle. Esta classificação é feita em função da seqüência em que a energia é utilizada no processo produtivo.

Topping cycle (ciclo de topo)

Nos ciclos do tipo *topping* , a produção de energia elétrica ocorre em uma etapa anterior à etapa em que o processo produtivo utiliza a energia térmica. Um exemplo de aplicação deste tipo de ciclo é quando o combustível é queimado em um gerador de vapor que é utilizado para gerar potência em um turbo-gerador e o calor rejeitado pela turbina é empregado no processo produtivo.

Este é um tipo de configuração bastante empregada no sistemas dos setores sucro-alcooleiro e na indústria química que utiliza o gás natural.

Bottoming cycle (ciclo de fundo)

Nos ciclos do tipo *bottoming* , o calor é utilizado primeiramente no processo e o calor residual é utilizado para gerar eletricidade . Um aplicação clássica deste tipo de configuração são as indústrias esmagadoras , por exemplo , as esmagadoras de soja , que utilizam o vapor no processo e o excedente de vapor é utilizado para gerar energia elétrica.

4.4 Turbina a Vapor

Dentre as inúmeras formas de geração de Energia Elétrica , apresentamos a Turbina a Vapor , que nada mais é do que uma máquina térmica que converte a energia do vapor em trabalho , e pode ser definida como um rotor dotado de palhetas na periferia que comunicam uma força tangencial ao rotor, como consequência da ação de fluxos de vapor fornecidos por bocais fixos (figura 7) .

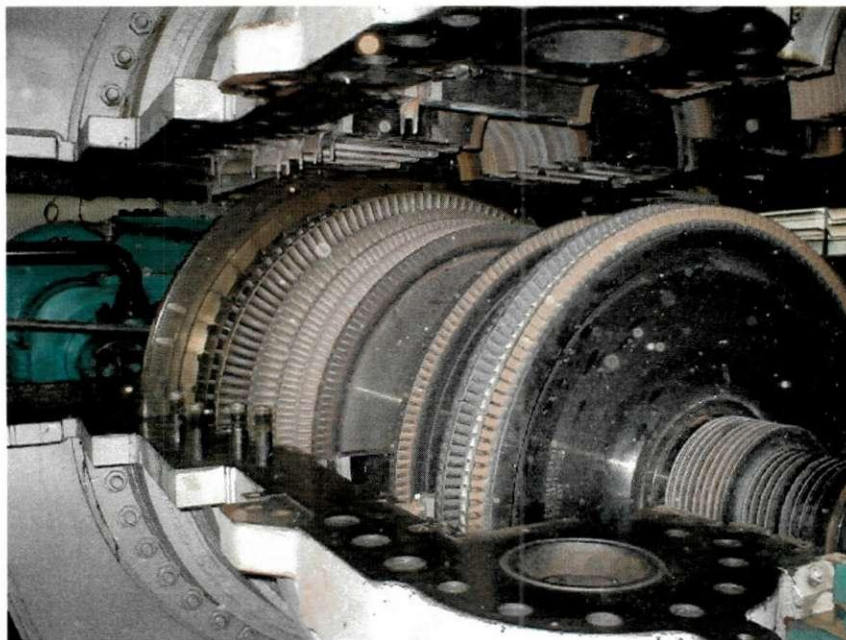


Figura 9 – Turbina a Vapor
(Turbina Dresser-Rand)

As turbinas a vapor podem ser apresentadas nas mais variadas concepções , cada uma selecionada para um tipo específico de aplicação.Em projetos de cogeração emprega-se normalmente a turbina de contra-pressão , modelo em que a pressão de saída é superior a pressão atmosférica e o vapor superaquecido é utilizado em um processo a jusante da turbina.

Uma outra concepção de turbinas é a turbina a Condensação , no qual a expansão do vapor superaquecido se dá até uma condição de leve vácuo com um princípio de condensação no último estágio da turbina. Neste tipo de estrutura o vapor

após sua expansão e realização de trabalho é condensado e desaerado , retornando a forma líquida logo após o bombeamento.Neste último tipo de concepção , cabem diversas variações de construção , podem ser montadas extrações de pressão controlada ou não , retirando-se parte do fluxo de vapor para ser utilizado em processos industriais ou mesmo em aquecedores de condensados do ciclo de RANKINE.

Na expansão do vapor e na transferência de sua energia ao rotor e eixo podem ser adotadas duas concepções: Turbina de ação (Impulso) ou de reação. Na turbina de ação a expansão de vapor realiza-se totalmente no bocal fixo , diminuindo-se aí a sua pressão e temperatura e aumentando-se o seu volume específico , nesta transformação o vapor aumenta sua velocidade de escoamento , sendo lançado a sua roda móvel que reduz a sua velocidade a pressão constante.Na Turbina de Reação a expansão de vapor se dá parcialmente no bocal fixo e nas pás da roda móvel. Neste caso , apenas parte da entalpia do vapor transforma-se em energia cinética , que é transmitida ao rotor .

Para que haja fluxo de vapor a turbina necessita da presença de outro elemento: "a Caldeira" . Caldeiras ou geradores de vapor são estruturas complexas que servem para gerar vapor a partir de um determinada fonte de calor . A fonte de calor pode vir da combustão dos mais variados energéticos como lenha, petróleo e derivados , gás natural , resíduos dendroenergéticos , etc .

As Caldeiras convencionais, usuais em arranjos no ciclo de RANKINE , são empregadas na queima de combustíveis sólidos , como o bagaço de cana , casca de arroz , produzindo vapor superaquecido para acionamento de turbinas a vapor em contrapressão ou extração/condensação.Estes sistemas ao demandarem vapor superaquecido condicionam a utilização do modelo *Caldeiras de Tubos de Água* ou *Aquatubular* (figura 8) de maior rendimento , produzindo vapor e pressão a temperaturas elevadas.

A admissão de combustível pode ser frontal ou tangencial , no entanto , Caldeiras a Carvão Mineral e Dendrocombustíveis , adotam combustão em suspensão com tempos de resistência mais elevados e injetores tangenciais no fundo da caldeira .O fundo da Caldeira apresenta grelhas adequadamente projetadas para o tipo de queima , sendo os dois tipos mais utilizados o de grelhas rotativas e grelhas basculantes.

O primeiro passo para a geração de vapor é o tratamento d'água , que pode ser feito através de um processo de dismineralização da água bruta ou por um sistema de Evaporadores . O sistema de Evaporadores utiliza vapor proveniente da extração para vaporizar a água e depois desaerar (retirar gases) a mesma , impedindo que gases , que

a alta temperatura provocam danos as tubulações , possam vir a danificar as mesmas. Depois de tratada e desaerada , a água então passa por um trocador de calor chamado : Economizador (figura 8) ; que aproveita a temperatura dos gases da chaminé para elevar a temperatura da água de alimentação da Caldeira . A água então é entregue ao tubulões da Caldeira e descem através das paredes d'água para envolver a câmara de Combustão , onde esta água ganha calor e transforma-se em vapor saturado que volta ao tubulão superior e em seguida passa pelo conjunto de serpentinas chamado : *Superaquecedor* (figura 8) ; o vapor agora superaquecido é entregue a Turbina.

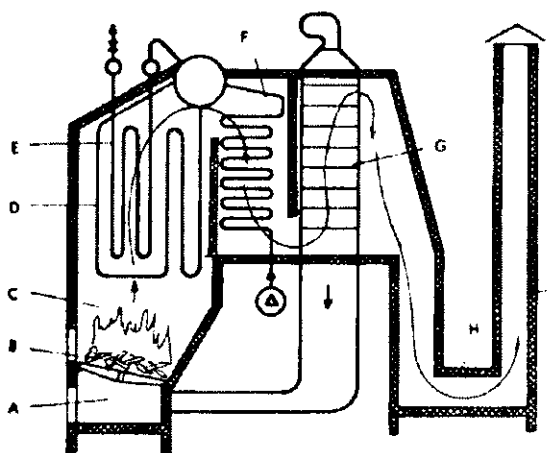


Figura 10 – Componentes Principais de uma Caldeira
(Valdir A. Bizzo)

A – Cinzeiro ; B –Fornalha ; C – Secção de Irradiação
D – Secção de Convecção ; E – Superaquecedor
F – Economizador ;G – Pré-aquecedor de Ar
H – Exaustor ; I - Chaminé

Outro ciclo importante para a geração do vapor é o ciclo do ar . Os gases quentes provenientes da queima da biomassa são arrastados por exaustão . Ou seja , a câmara de combustão trabalha com pressão negativa ou depressão. Como já foi mencionado , os gases trocam calor com os tubos coletores , em seguida com o superaquecedor ,e mais adiante com o economizador . Um outro equipamento que faz a troca térmica é o *pré-aquecedor de ar* , utilizado para aproveitar o calor proveniente da

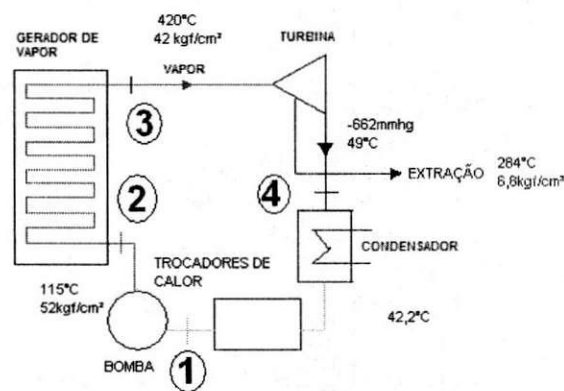
combustão e transferi-lo para o ar de admissão da fornalha .Um ventilador empurra um ar proveniente da atmosfera e o mesmo ganha calor dos gases que serão jogados pela chaminé . O resultado é um ar mais aquecido e conseqüentemente um aumento na eficiência do sistema.

A turbina necessita de um dispositivo chamado regulador para controlar a entrada de vapor , e desta forma produzir a quantidade de torque necessária para ser aplicado no eixo do gerador elétrico , produzindo a quantidade de energia requerida pelo sistema elétrico ao qual o gerador está interligado .

Normalmente , este controle é feito através de atuadores que disponibilizam a quantidade de vapor de admissão adequada para produzir este torque , e possibilitar a estabilidade do sistema elétrico em questão.

O desempenho das termoelétricas a vapor pode ser avaliado através dos ciclos termodinâmicos do vapor d'água , cujas características são usualmente apresentadas em diagramas de estado , como o de Mollier (entalpia *versus* entropia) ou outros similares , como o de *temperatura x entropia* .

O ciclo teórico fundamental aplicável às termoelétricas a vapor é aquele de Carnot e o ciclo base para as aplicações práticas , nesse tipo de geração termelétrica , é o Rankine . As principais relações deste último ciclo com uma central termoelétrica a vapor (figura 11) é apresentado na figura 12 , para sistema com superaquecimento do vapor.



Ciclo de Rankine com Superaquecedor do vapor

Figura 11 - Modelo de uma central termoelétrica

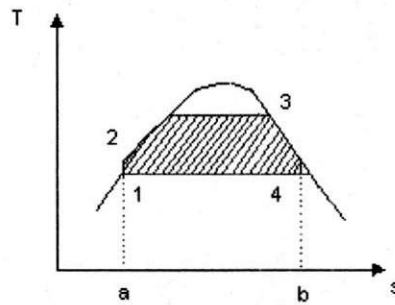


Figura 12 – Ciclo de Rankine com superaquecimento

Ciclo de Rankine:

- 1 – 2 : Bombeamento adiabático reversível ($dQ = 0$)
- 2 – 3 : Troca de calor a pressão constante na caldeira
- 3 – 4 : Expansão adiabática reversível , na turbina ($dQ = 0$)
- 4 – 1 : Troca de calor a pressão constante , no condensador

O ciclo de Rankine , escolhido como o ideal representativo da central termoeétrica a vapor , apresenta duas características importantes que o relacionam com o ciclo ideal:

- Antes do processo de bombeamento , é efetuada a transformação em líquido . Na prática é o que deve ser feito , pois não existe equipamento que aumente a temperatura e ao mesmo tempo transforme essa mistura em líquido apenas;
- Com superaquecimento , o calor é transferido antes de se efetuar a expansão (queda de pressão) , que é o que se pode fazer na prática.As variáveis de controle são a pressão e a temperatura.

Capítulo 5

Geração Diesel

Denominamos grupo Diesel-gerador ao conjunto de motor e gerador de corrente alternada , denominado alternador , convenientemente montados , dotado dos componentes de supervisão e controle necessários ao seu funcionamento autônomo e destinado ao suprimento de energia elétrica produzida a partir do consumo de óleo Diesel(figura 13).



Grupo Gerador Caterpillar de 2.000 kW – UTE Parintins

Figura 13 – Gerador Diesel

Os grupos Diesel-gerador são utilizados largamente em sistemas distribuídos , principalmente na região norte do país . São construídos com características especiais que os tornam apropriados para diversas aplicações.Os fornecedores de grupos geradores tendem a padronizar os seus produtos , evitando os fornecimentos especiais sob encomendas , o que na prática é inviável , pois há situações em que alguns requisitos do ambiente e dos consumidores não podem deixar de ser atendidos . É o caso , por exemplo , dos equipamentos de telecomunicações , que necessitam de tensão e frequência sem oscilações , com baixos fatores de interferência , que somente se consegue , com alternadores especialmente fabricados para esta finalidade.

Outro exemplo são os grupos para uso naval , fabricados sob fiscalização das sociedades classificadoras , que em tudo diferem do que seria considerado um grupo

gerador de uso industrial. Outros fatores , como nível de ruído , capacidade de operar em paralelo com outro gerador ou com a rede local , tempo de partida , capacidade de partida , parada automática , durabilidade estendida do óleo lubrificante , em muitos casos , são exigências inerentes aos consumidores a serem atendidas pelo equipamento. Em todas as situações , uma avaliação criteriosa deve ser feita como parte do projeto da instalação de um grupo gerador.

Hoje em dia , têm-se utilizado geradores diesel no horário de ponta , para suprir a necessidade das instalações durante este período.Em geral a economia resultante pode chegar a 30% da conta de energia elétrica , com a vantagem de eliminação das perdas de produção causadas por eventuais faltas de energia.

Atualmente podem ser adquiridos sistemas totalmente automatizados , com tecnologia digital , capazes de efetuar a partida do grupo gerador e a transferência de cargas sem interrupção do fornecimento de energia , nos horários programados ou nos casos de falha da rede da concessionária.Além de efetuarem a transição das cargas entre as fontes principal e emergência , estes sistemas são dotados de sofisticados controles eletrônicos que fazem a supervisão do funcionamentos do motor Diesel e do alternador , mantendo registros das falhas , possibilitando que todo o processo seja integrado à rede de processamento de dados da empresa , de forma que a operação do sistema possa ser acompanhada por qualquer microcomputador integrante da rede.

Um dos fatores que devem ser considerados para a escolha da geração diesel é o preço do combustível. Motores diesel com consumo específico elevado irão produzir energia mais cara.No entanto essa discussão será feita no próximo capítulo.

Capítulo 6

Principais Impactos Negativos da Geração Termoelétrica

Por operarem a partir da queima de combustíveis , em sua maioria derivados de petróleo ou carvão mineral , as usinas termoelétricas acarretam diversos impactos negativos ao meio ambiente. A geração de energia elétrica pelas centrais termoelétricas é a segunda maior produtora dos gases-estufa e , portanto , de grande influência no aquecimento global , perdendo apenas para o setor de transportes. Os países desenvolvidos são os maiores responsáveis por isso , devido à sua grande dependência da geração termoelétrica. Uma série de discussões e acordos internacionais busca , a redução mundial das emissões . Destes , o mais importante é o Protocolo de Kyoto , que visava estabelecer metas de redução de gases –estufa , permitindo , entre outras ações , a negociação de cotas de emissão , através do bônus associados a projetos redutores desses gases ou seqüestradores de CO₂ .

O dióxido de Carbono é o principal efluente aéreo produzido no mundo , não só pela geração de energia elétrica , mas também pelos transportes , atividades industriais e residenciais . O CO₂ corresponde a 66% das emissões mundiais de gases , dos quais 95% são provenientes do hemisfério norte , ou seja , dos países desenvolvidos.

O principal problema associado ao CO₂ está na queima dos combustíveis fósseis , a qual não apresenta um balanço energético para absorção do efluente , ao contrário da biomassa , que , é uma das alternativas energéticas ao uso de combustíveis fósseis na geração de energia elétrica.

A absorção de CO_2 pelas águas dos oceanos é lenta e não acompanha o ritmo crescente das emissões mundiais . As florestas também não são suficientes para absorver toda a emissão , além de estarem diminuindo mundialmente .

O enxofre presente no combustível transforma-se, durante o processo de combustão , em óxidos de enxofre , principalmente dióxidos de enxofre (SO_2) . Na atmosfera , o SO oxida-se dando origem a sulfatos e gotículas de ácido sulfúrico. As emissões sulfurosas de usinas a óleo combustível são, em geral , superiores àquelas de usinas a carvão e a gás natural , pois os derivados de petróleo possuem normalmente teor de enxofre maior que o carvão mineral .

Uma parte das cinzas , formadas durante o processo de combustão ou presentes no combustível , é arrastada pelo fluxo de gases para a chaminé , sendo lançada para a atmosfera . O material particulado afeta o meio ambiente pelos efeitos decorrentes de sua deposição nos bens imóveis e suas malfeitorias , no sistema respiratório de pessoas e animais , em plantas e vegetais , na ação da visibilidade atmosférica , etc.

Capítulo 7

Geração Diesel *versus* Turbina a Vapor

Este capítulo apresenta um comparativo entre a Geração Diesel e a Geração a partir de um Gerador de Vapor (Caldeira) . Deixemos claro que os dados utilizados foram obtidos a partir de exemplos reais . No caso da Geração Diesel , utilizamos informações de motores Caterpillar e dados fornecidos pela CEAM(Companhia Energética do Estado do Amazonas) , enquanto que no caso da geração a Vapor utilizamos valores fornecidos pela Termoelétrica BK ENRGIA ITACOATIARA LTDA.

6.1 Custo da Geração Diesel

Aproximadamente 80% do custo da Geração Diesel deve-se ao consumo de óleo diesel . Desta forma , o consumo específico do motor utilizado é de fundamental importância . As recomendações técnicas apontam para um limite de 300ℓ por MWh . No entanto o consumo específico é uma variável em função da carga , apresentando seus valores mínimos com cerca de 80% da potência nominal. Os valores ótimos de consumo específico dos motores diesel situam-se na faixa de 220 a 225 l por MWh disponibilizados no volante de acionamento do alternador . Considerando um consumo de 250ℓ por MWh , a um preço de R\$ 1,30 por litro , resulta um valor de R\$ 325,00 / MWh gerado .

Para máquinas acima de 500kW , apontam-se um custo de manutenção de aproximadamente 12,00 dólares por MWh gerado e um custo com lubrificantes de R\$ 4,00 por MWh gerado. Desta forma , o custo geral de manutenção é de aproximadamente R\$ 28,00 por MWh gerado.

Admitindo-se todas as hipóteses mencionadas , chegamos a um custo por MWh gerado de:

R\$ 353,00

É importante que o leitor saiba que tomamos como base sistemas que apresentam vários grupos geradores interligados em paralelo, e que a potência nominal dos mesmos é em torno de 545kW . Outro fato que devemos deixar claro é que não inserimos o custo com operadores nos cálculos acima , já que na geração diesel o número de empregados é bem mais reduzida que na geração a partir de Geradores de Vapor .

Segundo dados fornecidos pela CEAM (o custo da geração de energia no ano de 2003 foi de R\$ 449,00 / MWh , na qual 60,8% do custo desta energia se deu pelo combustível utilizado . Este valor leva em consideração os gastos de manutenção de todo o sistema de geração de energia elétrica , gasto com pessoal , encargos sociais , etc.

6.2 Custo da Geração à Turbina a Vapor

Para esta análise utilizaremos os dados fornecidos pela BK ENERGIA ITACOATIARA LTDA , assim como , assumiremos para esta demonstração todas as peculiaridades do sistema BK , objetivando fazer uma análise real do sistema de geração distribuída existente no interior do estado do Amazonas.

Através de dados fornecidos pela termoelétrica em questão , chegamos a conclusão que são necessárias 2t de resíduos para a geração de 1MWh. Os resíduos da serraria Mil Madeireira são vendidos a BK ENERGIA em média a : R\$ 15,00 / t , ou seja , para gerarmos 1MWh de Energia Elétrica o preço que gastamos com o combustível é de aproximadamente : R\$ 30,00 ; porém devemos inserir neste cálculo o valor gasto para tornar esta biomassa apropriada para ser utilizada na Caldeira. Os valores fornecidos pela BK ENERGIA dão em conta que o custo com pessoal para processar a biomassa é em torno de : R\$ 2,80 / MWh. Agora , para finalizarmos a

questão da biomassa falta-nos considerar os valores gastos com a manutenção dos equipamentos participantes do processo. Chegamos ao valor de R\$ 1,02/MWh.

Através de uma análise de gastos anuais, chegamos aos valores gastos em todo o processo de geração de vapor (custo com pessoal , cursos , benefícios ,etc); este valor está na faixa de R\$ 3,80 / MWh.Os custos com manutenção , lubrificantes , aquisição de equipamentos novos , administração e encargos sociais ficam na casa dos : R\$ 51,14/MWh .

A Tabela 3 , apresenta os valores referentes a geração a partir de Geradores de Vapor.

DESCRIÇÃO DOS GASTOS	VALORES EM R\$/MWh
BIOMASSA	33,82
CUSTO OPERACIONAL	3,80
MANUTENÇÃO , LUBRIFICANTES ,AQUISIÇÃO DE EQUIPAMENTOS , ADMINISTRAÇÃO E ENCARGOS .	51,14
TOTAL	88,76

Tabela 3 – Gastos com a Geração a Vapor.

Desta forma , tomando os valores fornecidos pela CEAM , fica evidente que a diferença de custo entre a geração diesel e a geração a vapor é considerável. Em termos de percentagem podemos concluir que a geração a vapor custa aproximadamente 20% da geração a diesel . Outro fator que devemos considerar é que a geração diesel é bem mais nociva a sociedade , e ao meio ambiente.

8

Conclusão

Conclui-se que a utilização de fontes dendroenergéticas pode ser uma alternativa viável , desde que utilizada de maneira sustentável , na substituição das fontes fósseis como matéria-prima para a geração de energia elétrica .

Outros benefícios que a utilização da biomassa pode trazer são as reduções das emissões de CO₂ , óxidos de enxofre , materiais particulados e outras substâncias que são nocivas a fauna , flora e conseqüentemente a humanidade , contribuindo para o bem estar da sociedade , e garantindo aos nossos descendentes condições favoráveis para a subsistência da nossa sociedade .

Conclui-se que do ponto de vista econômico , a utilização da biomassa pode diminuir os custos de geração das entidades do setor elétrico , proporcionando uma energia mais barata do que aquela obtida a partir da geração diesel , e que se estes recursos forem utilizados por empresas do segmento privado , como alternativas para a diminuição de seus custos , nos horários de ponta , a oferta de energia possivelmente será suficiente para o abastecimento de todos os centros do país , sem a inconveniente medida de “acionamento de energia elétrica”.

Desta forma , podemos concluir que a utilização da biomassa , dentre diversas outras alternativas , pode ser utilizada como fonte de energia para o suprimento do setor elétrico , disponibilizando à sociedade uma energia renovável , limpa e barata.

9

Bibliografia

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL – BIG 2003

Baltic Biorefinery Symposium- 26 a 28/Maio/2005

Gomes , Sérgio Inácio – Análise Preliminar de Viabilidade de cultivos Florestais para Produção de Energia Elétrica. www.copel.br/edições / 08/2006 acessado em 02/2007

Hellwig , www.copel.br/edições /08/2006 acessado em 08/2006

Key World Energy Statistics – International Energy Agency – 2005

Lora , Electo Eduardo Silva ; Horta , Luiz Augusto – Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações - Editora Interciência.

RELATÓRIO ANUAL DE 2004 DO ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – www.aneel.gov.br/2004 acessado em 08/2006

SANCHEZ;LORA;GOMEZ . E. O. Gaseificação. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. S. (Coord.). Tecnologias de conversão energética da biomassa. Manaus: EDUA, EFEI, 1997. cap. 1.

Valdés , Hernán – Biomasa : energía sustentable 2006, marzo. Publicado em: LIGNUM. Bosque, Madera y Tecnología, no.85(2006:Mar.), p. 8-15

www.aneel.gov.br/2004 acessado em 08/2006

www.sotreq.com.br/2006 acessado em 02/2007