UNIVESIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

UMA ANÁLISE DA COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA USANDO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

EESC • USP
Biblioteca
CAMPUS DE S. CARLOS

DEDALUS - Acervo - EESC
31100016651

ANNA CRISTINA BARBOSA DIAS DE CARVALHO

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marino de Oliveira Resende

São Carlos
1997

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida e aprovada em 06-3-1997
pela Comissão Julgadora:

Prof. Doutor. **MARINO DE OLIVEIRA RESENDE (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Doutor **ANTONIO MOREIRA DOS SANTOS**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Doutor **BENEDITO DE MORAES NETO**
(UNESP - Campus Araraquara)

Prof. Tit. **JOÃO LIRANI**
Coordenador da Área de Engenharia Mecânica

JOSE CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

Aos meus pais, Anna Lúcia Barbosa e José Maria Mendes Dias de Carvalho, que sacrificaram suas vidas para que eu pudesse chegar até aqui com tranqüilidade.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que transformou minha vida em algo maravilhoso, protegendo e derramando o seu amor sobre mim de uma forma indescritível.

Ao Prof. Dr. Marino de Oliveira Resende, que durante este período orientou o meu trabalho.

Ao Prof. Dr. Renato Vairo Belhot, que foi amigo, motivador e acreditou no meu potencial sempre dando uma palavra de estímulo.

Ao Prof. Dr. Wilson Kendy Tashibana, que me estimulou na elaboração de trabalhos paralelos.

Ao meus amigos Giovana, Edwin, Iana, Paulo de Tarso, André Ricardo e Luciana, que estiveram próximos "agitando", sem deixar que o desânimo e a saudade me fizessem desistir.

Aos amigos Cláudio Guilhermão Tavares ("o Garga") e Patrícia Krüger, que estiveram comigo desde a minha chegada a São Carlos suportando o mau humor, fazendo companhia, incentivando e estimulando a continuar lutando apesar das dificuldades.

À Margarida, Solange, Kelly, Miriam e Fabíola, que tornaram o ambiente de casa um lugar agradável de estar, incentivando e cuidando para que me sentisse bem.

Aos funcionários do departamento, José Luiz e Luiz Fernando, que estavam sempre dispostos a ajudarem quando eu precisava.

Aos professores do Laboratório de Engenharia de Produção, que participaram dos momentos de crescimento por que passei durante a elaboração deste trabalho.

À Universidade de Fortaleza, instituição a que pertenço, por me propiciar a oportunidade de aprimorar meus conhecimentos através do sustento financeiro.

À CAPES, que forneceu minha bolsa durante todo este período.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS i

ÍNDICE DE TABELAS ii

RESUMO iii

ABSTRACT iv

CAPÍTULO 1 1

O BAGAÇO: UM SUBPRODUTO DA FABRICAÇÃO DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL 1

1.1 INTRODUÇÃO 1

1.2 A USINA COLABORADORA 2

1.3 PROCESSO DE PRODUÇÃO DA USINA 5

1.3.1 Balança 5

1.3.2 Laboratório de sacarose 7

1.3.3 Preparação e moagem da cana 7

1.3.3.1 Preparação 8

1.3.3.2 Moagem 10

1.3.4 Produção de vapor 12

1.3.5 Laboratório de tratamento de água 14

1.3.6 Geração de Energia Elétrica 14

1.3.7 Fabricação de açúcar 15

1.3.8 Fabricação do álcool 18

1.4. MUDANÇA DE OBJETIVOS 19

CAPÍTULO 2 21

A INSERÇÃO DO BAGAÇO DE CANA NAS ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS DO BRASIL 21

2.1 INTRODUÇÃO 21

2.2. RESERVAS ENERGÉTICAS MUNDIAIS E BRASILEIRAS 25

2.2.1 Carvão 27
2.2.1.1 Tipos de carvão 31
2.2.2 Energia Nuclear 31
2.2.3 Petróleo 39
2.2.4 Gás Natural 43
2.2.5 Hidrelétricas 45
2.2.6 Outras fontes de energia 53
2.2.6.1 Xisto 55
2.2.6.2 Gaseificação de carvão Mineral 56
2.2.6.3 Mistura de óleo combustível e carvão (MOC) 57
2.2.6.4 Craqueamento de mistura gás-óleo e óleo vegetal 58
2.2.6.5 Dupla alimentação de diesel e combustível alternativo 58
2.2.6.7 Dupla alimentação Diesel e álcool 59
2.2.6.8 Dupla alimentação diesel e gás pobre 60
2.2.6.9 Carbonização de babaçu 61
2.2.6.10 Gaseificação de biomassa 62
2.2.6.11 Fermentação alcóolica de amiláceos 62
2.2.6.12 Aproveitamento de resíduos industriais e urbanos 63
2.2.6.13 Aproveitamento de baixas quedas de água e pequenas centrais hidrelétricas 64
2.2.6.14 Termelétrica à lenha 64
2.2.6.15 Conversão térmica da energia solar 65
2.2.6.16 Energia Eólica 66
2.2.7 COMBUSTÃO DO BAGAÇO DE CANA 67

CAPÍTULO 3 71

MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS PARA COGERAÇÃO 71

3.1 INTRODUÇÃO 71
3.2 CALDEIRAS 74
3.2.1 Superaquecedores 81
3.2.2 Aquecedores de água 83
3.2.3 Aquecedores de ar 83

3.2.2 Fornalhas *84*

3.3 TURBINAS 88

3.3.1 Funcionamento de uma turbina a vapor *90*

3.3.2 Classificação das turbinas a vapor *91*

3.4 GERAÇÃO DE ELETRICIDADE 93

CAPÍTULO 4 98

EXPERIÊNCIAS DE UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO COMO COMBUSTÍVEL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA 95

4.1. INTRODUÇÃO 95

4.2. EXPERIÊNCIA DA TAILÂNDIA 96

4.3 CASO HAVAÍ 106

4.4 CASO DO MÉXICO 108

4.5 CASO DO BRASIL 109

CAPÍTULO 5 122

CONCLUSÕES 122

5.1 INTRODUÇÃO 122

5.2 PROBLEMAS EXISTENTES PARA IMPLANTAÇÃO DA COGERAÇÃO NO BRASIL .. 125

5.3 SOLUÇÕES POSSÍVEIS 125

5.4 Conclusões finais 131

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 135

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 FACA DO PICADOR COM SOLDA QUE PROTEGE 9
FIGURA 1.2 - EIXO DO DESFIBRADOR 9
FIGURA1.3 -TRANSPORTADORES DE CANA DESFRIBRADA 10
FIGURA 1.4 - ESQUEMA DO DORNELES E SEUS COMPONENTES 11
FIGURA1.5 - ROLO DOS TERNOS COM AS RANHURAS CHEIAS DE BOLINHAS DE SOLDA 12
FIGURA 1.6 FLUXO DO CALDO 17

FIGURA 3.1 CICLO DA TURBINA À GÁS 73
FIGURA 3.2 CICLO COMBINADO DE TURBINA A GÁS E TURBINA A VAPOR 74
FIGURA 3.3 CALDEIRAS VERTICAIS, HORIZONTAIS E MULTIBULARES 76
FIGURA 3.4 CALDEIRA FLAMATUBULAR 80
FIGURA 3.5 SUPERAQUECEDOR 82
FIGURA 3.6 FORNALHAS 84
FIGURA 3.7 TURBINA A VAPOR A CONTRAPRESSÃO 89
FIGURA 3..8 CIRCUITO SIMPLIFICADO DE GERAÇÃO DE VAPOR 91
FIGURA 4.1 - FLUXO TRADICIONAL DA CANA-DE-AÇÚCAR EM UMA USINA TAILÂNDESA 98
FIGURA 4.2 -FLUXO USANDO PALHA DE CANA 102
FIGURA 4.3 -FLUXO USANDO TURBINA DE EXTRAÇÃO E CONDENSAÇÃO 103
FIGURA4.4 - DIAGRAMA DO PROCESSO PELO QUAL O VAPOR PASSA 115
FIGURA 4.5 - ALTERNATIVA A 116
FIGURA4.6 - ALTERNATIVA B 117
FIGURA 4.7 - ALTERNATIVA C 118
FIGURA 4.8 - ALTERNATIVA D 120
FIGURA 5.1 PLANEJAMENTO DE LONGO PRAZO DA ELETROBRÁS 126
FIGURA 5.2 PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DA GERAÇÃO A MÉDIO PRAZO 128
FIGURA 5.3 INTERAÇÕES NECESSÁRIAS NOS ESTUDOS DE CURTO PRAZO 129

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 - PROJEÇÃO DE AUTOPRODUÇÃO ATÉ 2010 24
TABELA 2.2 CLASSIFICAÇÃO DO CARVÃO 31
TABELA 2.3 CENTRAIS NUCLEARES NO MUNDO POR SITUAÇÃO E TIPO 32
TABELA 2.4 - RESERVAS BRASILEIRAS DE URÂNIO 36
TABELA 2.5 CUSTO DE GERAÇÃO EM DIVERSOS PAÍSES 38
TABELA 2.6 CUSTO DE REFERÊNCIA DA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE 38
TABELA 2.7 - PRODUÇÃO ANUAL DE ÓLEO E LGN 39
TABELA 2.8 - DEMANDA DE DERIVADOS (MIL/BPD) 40
TABELA 2.9 - PRODUÇÃO DE ÓLEO, LGN E GÁS 40
TABELA 2.10 -CUSTO DE REFERÊNCIA DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE EM CENTRAIS A ÓLEO COMBUSTÍVEL 42
TABELA 2.11 - DISTRIBUIÇÃO DE CONSUMO DE GÁS NATURAL (10^3 M^3/DIA) 44
TABELA 2.12 - POTÊNCIA INSTALADA ATÉ 1986 48
TABELA 2.13 - POTENCIAL HIDRELÉTRICO BRASILEIRO 48

TABELA 4.1 -ESTIMATIVA DE CUSTO DE INVESTIMENTO DO USO DO BAGAÇO COMO COMBUSTÍVEL E EXTRAÇÃO/CONDENSAÇÃO EM UM TURBO-GERADOR 100
TABELA4.2 - CUSTO APROXIMADO DE OPERAÇÃO NO SISTEMA CEST 101
TABELA 4.3 - RESUMO DA AVALIAÇÃO FINANCEIRA 103
TABELA 4.4- COMPARAÇÃO DAS ALTERNATIVAS SELECIONADAS 105
TABELA 4.5 - COMPARAÇÃO DOS RENDIMENTOS DAS TURBINAS A VAPOR 115

CARVALHO, A. C. B. D. de. *Uma análise da cogeração de energia elétrica usando bagaço de cana-de-acúcar.* São Carlos, 1997.142p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O Brasil alavanca novamente sua economia, o desenvolvimento tão esperado durante as décadas de 80 e 90 é realidade. Esse crescimento exige novas tecnologias, novas pesquisas e uma infra-estrutura que suporte este crescimento. A energia elétrica faz parte dessa infra-estrutura, porém o país não está preparado para esse desenvolvimento.

Surge a possibilidade de cogeração de energia elétrica utilizando o bagaço de cana-de-açúcar. As usinas de açúcar e álcool já possuem essa prática com um volume de geração pequeno, com algum investimento esse volume de geração poderá ser aumentado, acrescentando cerca de 10% à matriz energética nacional.

O objetivo do trabalho é apresentar uma análise da utilização de um subproduto da cana, o bagaço, como cogerador de energia elétrica.

O presente trabalho apresenta a situação energética do país, algumas experiências já implantadas em alguns países no mundo e algumas opções para melhoria dos equipamentos utilizados nas usinas de açúcar e álcool. São mostradas as fontes alternativas de geração de energia elétrica estudadas no país, bem como a forma como a Eletrobrás planeja o programa energético nacional.

O trabalho análisa mais detalhadamente a utilização do bagaço de cana-de-açúcar, que já é utilizado nas usinas do Estado de São Paulo para gerarem energia elétrica. São discutidos os possíveis sistemas viáveis e os problemas para a implantação deste nas usinas de açúcar e álcool.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar; Bagaço de Cana; Cogeração; Energia Elétrica.

CARVALHO, A. C. B. D. de. *Eletric power cogenaration analysis using sugar cane bagasse*.. São Carlos, 1997.142p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Brazil impels its econamy again. A development expected in '80 and '90 years it's real. This growth demands new tecnologies, new researches and bases that bear that growth. Eletric power is in these bases, but Brazil is not ready for that.

Eletric power cogeneration possibility appears, using sugar cane bagasse. Alchool and sugar plants have already that practice working with a low generation volume, with some investiment this volume can be increased, adding about 10% to national energetic matrix.

The aim of this work is present a short time alternative for national eletric matrix.

This work shows country eletric situations, some experiences already implanted in some countries around the world and some options to equipment improvement used in alchool and sugar plants.

It's shown alternatives fonts of eletric power generation studied on Brazil, as well how Eletrobrás projects its National Energetic Program.

It analyses detailed bagasse cane sugar use, wich is working on São Paulo plants to generate eletric power. It's discussed possibles systems and troubles on its implantation on sugar and alchool plants.

Keywords: Sugar cane; Bagasse of sugar cane; cogeneration; eletric energy.

CAPÍTULO 1

O BAGAÇO: UM SUBPRODUTO DA FABRICAÇÃO DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL

1.1 Introdução

A cogeração de energia é um processo pelo qual gera-se energia elétrica utilizando vapor através de um processo de produção da iniciativa privada compartilhado com a distribuidora de energia elétrica. É uma das estratégias usadas por diversos governos para resolver o problema da energia elétrica.

Durante muitos anos, a geração de energia elétrica utilizando as grandes quedas de águas fizeram do Brasil um país confiável do ponto de vista da garantia no fornecimento de energia elétrica. Nossos rios são grandes e passíveis de serem utilizados eficientemente. Além disso, tem-se outras fontes como: o óleo, o carvão e outros combustíveis. O potencial energético existente e a produção de energia elétrica, afastava a ameaça de colapso no consumo, porém na década de 70, a crise do petróleo iniciou uma corrida contra a carência de energia elétrica. Não que o país fosse entrar em um colapso e viver em um eterno *black out*, mas o crescimento econômico

estaria comprometido se novas fontes energéticas não fossem descobertas. Diante desse panorama, vários estudos surgiram.

Um desses combustíveis estudados é o bagaço de cana de açúcar. A cogeração de energia utilizando-o é uma realidade em todo o mundo. Apresentam-se vários casos como experiências que deram certo e transformaram situações de possível colapso em situações de estabilidade. Exemplificando, tem-se o caso do Havaí, Tailândia, México e outros países, que não foram estudados.

Inicialmente, objetivava-se realizar um estudo de viabilização econômica de uma usina de geração de energia elétrica a partir do bagaço de cana de açúcar. Entretanto, devido a inexistência de dados na usina colaboradora que permitissem os cálculos dos custos de investimentos e operação, alterou-se o objetivo, uma vez que o levantamento de dados diretamente do funcionamento do sistema produtivo é uma tarefa de grande envergadura.

Analisando-se os conhecimentos já obtidos e outros possíveis de serem adquiridos, julgou-se viável ter como objetivo a análise dos vários aspectos técnicos e financeiros envolvidos na cogeração de eletricidade tendo o bagaço de cana como fonte de energia.

A experiência foi muito rica em informações e esclarecimentos quanto ao processo, aos problemas, às sugestões das usinas, ao vocabulário do meio alcooleiro e às vantagens em utilizar o bagaço como combustível para gerar energia elétrica. Foi o primeiro contato com o assunto.

1.2 A Usina Colaboradora

A Usina São Martinho é a maior usina da região de Ribeirão Preto em área construída, a segunda na produção de álcool e açúcar e é quarta em rendimento de moagem de cana (90%). É considerada a maior usina do mundo. A capacidade de moagem é de 35.000 toneladas/dia; sua área construída é de 500.000m^2, e possui 76.000 hectares de terra cultivada com

cana em diversas áreas da região. 70% do corte da cana é mecanizado. Trabalha, também, com pecuária em menor proporção. Faz parte de um grupo (Monte Sereno e São Martinho) composto por 18 usinas, além de um setor agro-industrial. Possui 3.000 funcionários. Produz aproximadamente 5 milhões de sacas de açúcar e 300.000 m^3 de álcool. Sua moagem é composta por 3 moendas[1] com capacidade de 400 ton./h em média.

A usina produz também óleo fúsel, bagaço hidrolisado, levedura, vinhaça e outros tipos de adubos. Trabalha com oito caldeiras de média pressão[2] para gerar vapor para o processo. Quatro delas alimentam o processo, três alimentam o turbo gerador e uma complementa o vapor perdido. A usina trabalha no período de safra com capacidade de 90% (maio a novembro)[3] ; no período de entressafra trabalha na manutenção dos equipamentos, modificação de processo e recuperação de peças. Funciona na safra em três turnos; na entressafra, em horário comercial.

A estrutura da usina é boa e organizada. Estão em processo de automação de controle das moendas e de outras partes da produção de açúcar e álcool. Todos os dados são controlados hora a hora através de amostragem no processo e por controles automatizados.

A usina passa por um período de análise dos seus custos e de seu processo de fabricação. Vem trabalhando com frota de caminhões própria, testando a tercerização não só do transporte, mas também do corte da cana.

Na lavoura possui oito frentes que trabalham dois turnos para o corte e queima da cana. Estas frentes se dividem pelas áreas de plantação da usina, recebem ordem de corte da parte agrícola, que faz análise diária da cana que está condições. Percebeu-se preocupação em reduzir custos: diminuindo trabalhos desnecessários, evitando tempo desperdiçado e matéria-prima utilizada inadequadamente. Todos os turnos são integrados, complementando o trabalho um do outro.

---

[1] A quantidade de moendas define a capacidade de produção de açúcar e álcool, pois a partir da moagem é que se obtém o caldo

[2] Vapor de 21 Kgf/Cm^2

[3] A safra começa em maio e vai até final de outubro, começo de novembro

A Usina São Martinho é autônoma em produção de energia elétrica. Durante a safra, a energia gerada é utilizada pela usina e uma parte vendida para a concessionária. Ela tem uma preocupação muito grande em manter-se com um nível aceitável de qualidade, pois convive com a concorrência internacional devido à exportação. Todo o açúcar e álcool produzido é testado, utilizando-se padrões estabelecidos pelo cliente e pela Coopersucar para exportação. O açúcar a ser exportado passa por uma inspeção antes de embarcar.

O processo de fabricação de açúcar e álcool é diferente, mas ambos utilizam a mesma matéria-prima. O vapor é a força motriz que movimenta a usina. As caldeiras geram o vapor, que é utilizado em diversas partes do processo. Por esta razão, existe uma preocupação muito grande com a geração de vapor e com a água utilizada na usina.

A preocupação com a água utilizada nas caldeiras, deve-se ao grande volume utilizado. Ela deve voltar para o rio sem material poluente, o que exige um controle rigoroso das suas características quando utilizada no processo, nas caldeiras e para o consumo humano. Passa por um tratamento antes e depois de utilizada. O controle de qualidade é feito a cada duas horas com exames minuciosos de laboratório.

As turbinas que movem as moendas, os pré-aquecedores, o processo de produção de açúcar e álcool e o gerador de energia elétrica dependem da qualidade do vapor gerado. Qualquer variação que ocorra na pressão do vapor prejudica a produção de cana moída, assim como a produção de açúcar e álcool. Quando a pressão do vapor cai, as moendas deixam passar um bagaço mais úmido, diminuindo o rendimento na queima da caldeira e gerando perda de eficiência.

A São Martinho produz, como subproduto, o bagaço - cerca de 1.500.000 ton. que é utilizado para a geração de energia própria; 20Mw[4] de energia - dos quais 10% são cogerados pela empresa para a distribuidora.

[4] Daria para manter uma cidade de 12.000 habitantes durante um mês

A usina também vende bagaço para empresas de alimentos da região e possui estudos para a extração de lignina , celulose e furfurol; gera a torta de filtro, proveniente do lodo dos decantadores, utilizada como fertilizante orgânico (40 kg por tonelada ou 220.000 ton./safra); a vinhaça (usada para alimentação do biodigestor e como fertilizante) cuja produção é aproximadamente 9 l para cada litro de álcool produzido.

Foram levantados os processos de fabricação de açúcar e álcool; da utilização do bagaço de cana como gerador de vapor para energia elétrica; e os dados de custos da geração de vapor realizada na usina. O acompanhamento do dia-a-dia da usina facilitou o entendimento dos estudos realizados pela Eletrobrás e a Coopersucar sobre cogeração de energia elétrica. Foram ouvidas diversas pessoas com experiência na fabricação de açúcar e álcool que deram informações importantes para a análise dos *"papers"*.

Neste capítulo será vistos todo o processo de utilização da cana até a geração de vapor e todo o processo de fabricação de açúcar e álcool. Serão apresentadas os aspectos práticos para possibilitar a comparação com algumas literaturas encontradas sobre o assunto e toda a estruturação do trabalho de análise de alternativas de cogeração. A experiência na usina deu à autora instrumentos teóricos e práticos para comparar e analisar a alternativa de cogeração utilizando o bagaço de cana como combustível.

1.3 Processo de produção da usina

1.3.1 Balança

A cana entra na usina através da balança, que recepciona os caminhões de transporte.

O objetivo é controlar a entrada de cana na usina no que diz respeito ao volume de cana cortada e a quantidade de viagens dadas pela frota. Os

caminhões e treminhões[5] fazem parte da frota da usina, mas ela estuda a possibilidade de tercerizar o serviço para minimizar custo.

Os caminhões são pesados e identificados através de um sistema de computação integrado por um certificado de pesagem da cana. Consta neste certificado a identificação do fornecedor (fazenda de onde é proveniente, a frente[6] de serviço). Constam também no certificado dados importantes, como: máquina que cortou a cana, operador, motorista que transportou, a frente, o turno e a turma, o código e a placa do veículo; dessa coleta de dados resultam diversos dados, como: os veículos que entraram na usina, quantas viagens fizeram, em que frente estão e a que frente eles podem servir, na volta. Os caminhões não ficam fixos em uma frente, eles prestam serviço às frentes que estejam programadas com volume de corte maior. O controle também é feito através de formulários, em duas vias: uma fica com o fornecedor e a outra com o caminhão. O controle do departamento agrícola é feito diretamente no sistema de computação implantado, de onde é extraído um relatório tirado duas vezes por turno. Passam, em média, 2.500 cargas por turno, contendo cerca de 14 ton. por viagem.

Quando o caminhão sai da usina, é pesado para evitar que materiais estranhos como areia, sejam contabilizados, alterando o peso a ser computado para àquele fornecedor e à frente de serviço.

O certificado é dado por transportador e por julietas[7] .No sistema de controle são acumuladas as viagens dadas pela frota possibilitando a identificação da quantidade de cana em estoque e controle de eficiência do transporte.

O direcionamento da frota é feito pela portaria de entrada, pois ela tem o controle das distâncias e do tempo parado no pátio da usina. Aí se faz, também, uma amostragem de forma aleatória, através do sistema de

[5] Treminhões são caminhões que puxam duas julietas ou duas carretas.
[6] Frente é um conjunto de pessoas, máquinas em uma área determinada para corta e colher a cana
[7] Julietas são carretas que não possuem motor e compõem um treminhão

computação implantado, dos caminhões que serão inspecionados no controle de qualidade. A inspeção é realizada no laboratório de sacarose

1.3.2 Laboratório de sacarose

Este laboratório tem como objetivo identificar a qualidade da cana que está sendo cortada[8] . É feita análise do nível de sacarose e de outros componentes da cana. Esses dados são utilizados para pagamento das frentes, do fornecedor e para a análise da cana que será processada. Além desta atividade ele realiza testes para determinar se a cana está pronta para a colheita e o nível de impureza que está vindo com a cana. Desde 1964, o governo estadual definiu a utilização destes testes para regulamentar o pagamento da cana fornecida e incentivar o produtor a ter uma cana de boa qualidade, porém só em 1982 é que esta lei tornou-se obrigatória.

Existe uma grande variedade de cana. Uma forma de classificação é agrupá-las por períodos de corte: as de 1 ano, que são aquelas cortadas durante o período da safra por 4 anos consecutivos; e as de 18 meses, que são aquelas plantadas em área que saturou e cujo solo precisa ser realimentado para que não percam o seu teor de sacarose. Por isso são plantadas num período diferenciado.

Todos os fertilizantes utilizados na lavoura de cana, além de protegê-la, têm por finalidade a melhoria do teor de sacarose. Na análise são verificados: o Brix[9] , as impurezas, a umidade do bagaço que será extraído. Esta análise inicial ajuda o processo de moagem a se preparar para uma cana boa ou não e para as caldeiras se prepararem para um bagaço com maior ou menor grau de umidade.

1.3.3 Preparação e moagem da cana

[8] A qualidade da cana é importante para que haja uma maior extração, e sua identificação direciona a mudança para novo plantio, assim como o pagamento aos fornecedores
[9] Brix é a unidade usada na usina para medir o nível de sacarose

Após a análise no laboratório de sacarose (para os caminhões que foram analisados) e ser a destilaria, a fabricação de açúcar ou geração de vapor).

1.3.3.1 Preparação

Esta é a primeira etapa do processo de transformação da cana.

Ela pode vir picada (se o corte for mecânico) ou inteira (se o corte for manual). Em nenhuma das condições ela é lavada[10] para que não haja perda no teor de sacarose. Joga-se a cana em uma esteira que a leva para os picadores.

Picadores são rolos formados por aletas e facas montadas alternadamente que quebram a cana sem que ocorra esmagamento e, portanto, extração de caldo. A picagem da cana é feita para facilitar a extração do caldo nas moendas. Os picadores são acionados por turbinas a vapor. Nesta fase, inicia-se a necessidade de vapor para o processo. O picador pesa cerca de 35 ton. e suas facas possuem uma proteção com solda para aumentar a resistência ao desgaste a picagem. A figura 1.1 mostra o corpo de uma faca do picador com a proteção da solda.

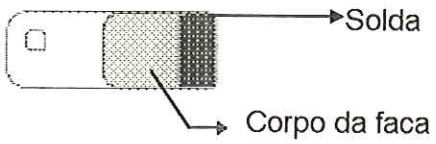


FIGURA 1.1 FACA DO PICADOR COM SOLDA QUE PROTEGE

A cana, uma vez picada, passa por uma máquina que tem a função de abrir ainda mais as fibras da cana. Este desfibrador é, também, acionado por turbina e caracteriza-se por possuir um conjunto de martelos mantidos sobre um eixo de forma oscilante que incidem sobre os pedaços de cana. A figura 1.2 o eixo do desfibrador.

[10] Algumas usinas utilizam a lavagem da cana preservando seus equipamentos de desgaste por abrasão, porém, esta usina em particular, não o faz para não perder sacarose.

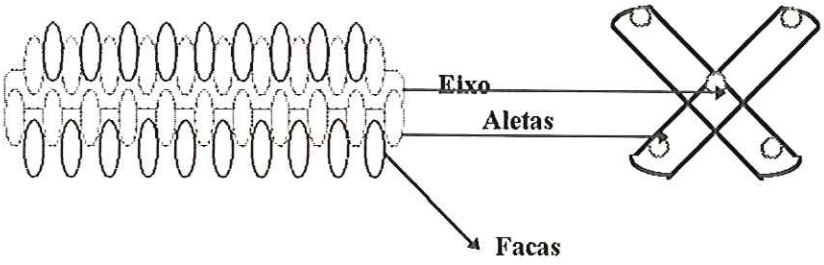


FIGURA 1.2 - EIXO DO DESFIBRADOR

No final do processo, abrem-se 82% das fibras. A inexistência desse processo, dificultaria a moagem, pois a força necessária seria bem maior.

Saindo do desfibrador, a cana passa por um espalhador que tem como função deixar a mistura mais homogênea sobre a esteira 2[4] . No final desta, inicia-se a esteira de cana ou de borracha[11]. Esta leva a cana para os dorneles e possui um eletroimã no tambor do lado de descarga que retira todo objeto metálico que possa ter vindo junto com a cana. A figura 1.3 mostra um esboço desse conjunto de transportadores.

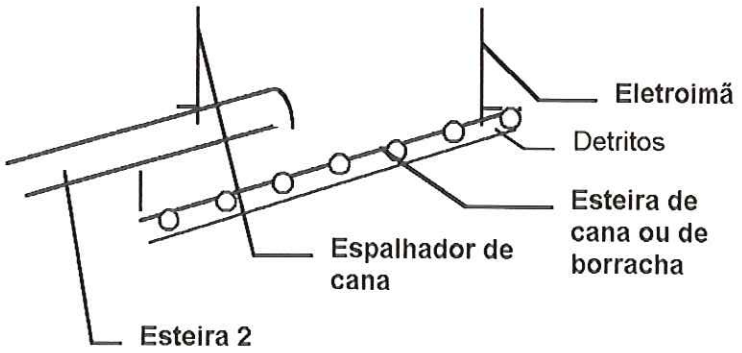


FIGURA 1.3 -TRANSPORTADORES DE CANA DESFRIBRADA

[4] Chama-se esteira 2, pois é a segunda esteira pela qual a cana passa desde o início do processo de sua preparação.

[11] Esteira de borracha é a terceira esteira pela qual a cana passa, já iniciando a entrada nas moendas, e chama-se esteira de borracha porque é o material do qual é constituída.

Passado pelo eletroímã, a manta de cana é jogada em uma esteira dentada, que já faz parte do conjunto do dorneles, iniciando o processo de moagem.

1.3.3.2 Moagem

A moenda possui 6 ternos[12] e 6 dorneles. Cada terno tem uma regulagem diferente, esmagando progressivamente a cana, de tal forma que, na última passagem, todo o caldo tenha sido extraído e a umidade do bagaço esteja entre 45 e 50%.

As moendas são o coração da usina. Trabalham com o objetivo de extrair o máximo possível de caldo e com isso produzem bagaço com umidade satisfatória para a queima nas caldeiras. Quando ocorre um problema nas moendas, as conseqüências são graves, como: queda de pressão na caldeira devido à umidade do bagaço, aumento dos custos de geração de vapor, diminuição do volume de caldo para o processo de açúcar e álcool, perda do teor de sacarose da cana, perda de eficiência no processo devido à queda de pressão. Produzem-se nas moendas o combustível para manter a usina em funcionamento e a matéria-prima para a fabricação de açúcar e álcool.

Duas das moendas da Usina São Martinho moem 450 ton.c/h e uma delas 600ton.c/h[13] . As três moendas possuem sistemas de acionamento diferentes. As duas com capacidades menores possuem uma turbina para cada dois ternos e a última possui uma turbina para cada terno, o que dá a esta uma capacidade de moagem maior. A modificação foi feita como experiência para aumentar a capacidade de moagem e a utilização de novos redutores. Este tipo de experiência é uma constante na usina.

Os dorneles são formados por uma esteira dentada, 4 rolos e uma bagaceira. A figura1.4 mostra um esquema de um dornele.

---

[12] Ternos são os conjuntos de dorneles e os rolos que compõem a moenda
[13] Toneladas/cana/hora

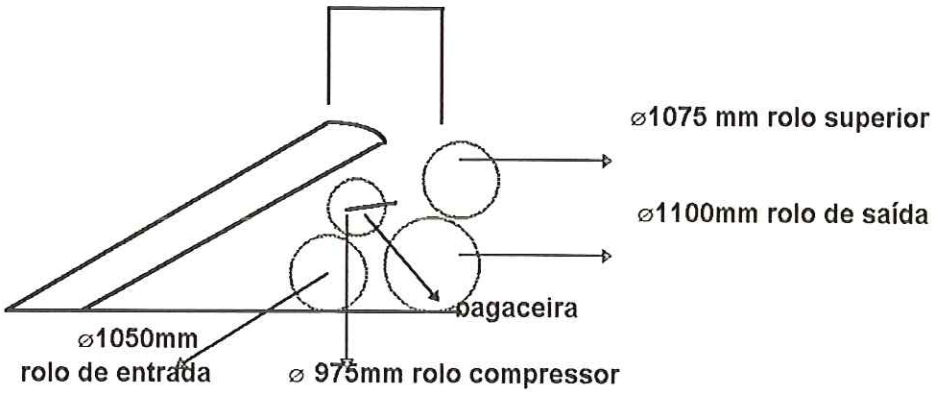


FIGURA 1.4 - ESQUEMA DO DORNELES E SEUS COMPONENTES

Os rolos são dentados para ajudar a aderir melhor a cana já picada facilitando a extração do caldo. O desgaste dos rolos é muito grande devido ao volume de cana moído diariamente. O desgaste no final da safra varia entre 20 e 30 mm. Para evitá-lo, são feitos cordões de solda nos gumes com pingos de solda e sendo as mesmas seguras com solda nos lados. Elas ajudam na conservação do rolo e na aderência da cana. Durante a safra ocorre desgaste deste cordão e por isso é mantido um homem chapiscando solda nos rolos o tempo inteiro. A figura 1.5 mostra um rolo com os pingos de solda em dimensões menores.

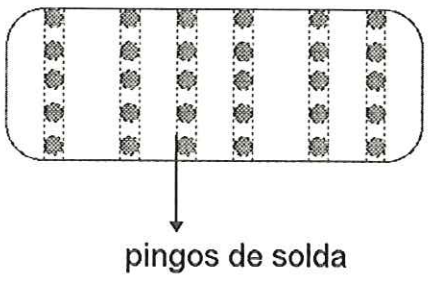


FIGURA1.5 - ROLO DOS TERNOS COM AS RANHURAS CHEIAS DE PINGOS DE SOLDA

O bagaço entra no dornele pela esteira dentada, cai no rolo de entrada que possui 1050 mm de diâmetro. Entre um conjunto de rolos e outro, existe um pente que não deixa o bagaço voltar. O bagaço (ou a cana se for no primeiro terno) é comprimido e passa entre o rolo superior e o de saída. No rolo de saída, fica a bagaceira[14], que limpa o rolo evitando misturar bagaço com o caldo.

O rolo superior é flutuante; ele se ajusta ao colchão de bagaço[15] e chega a ter uma variação de 30mm. O mecanismo utilizado é um cilindro hidráulico com pressão de 2.500 lb/pol^2 de óleo sobre a cabeça do cilindro superior que exerce uma força contrária através do colchão de bagaço de 1.800 lb. A distância entre o rolo de saída e o superior varia entre 12 e 18mm. Todas estas medidas são rigorosamente inspecionadas antes da safra e durante a safra; quando ocorre parada, são verificadas também. As moendas são classificadas pela dimensão dos rolos (comprimento e diâmetro da camisa).

1.3.4 Produção de vapor

A usina possui 8 caldeiras. Quatro caldeiras da marca CBC e quatro Conterma. As caldeiras CBC são mais novas e possuem uma eficiência maior. As Contermas são mais antigas; estão em funcionamento apenas três unidades com uma produçào de vapor capaz de suprir as necessidades. A quarta só é acionada quando ocorre problema no sistema para completar a carga necessária ou para ajudar na estação de redução de pressão de vapor que alimenta os pré-evaporadores.

As caldeiras CBC possuem capacidade de produzir 150 ton de vapor por hora, enquanto as Contermas produzem 50 a 70 ton de vapor por hora(KVH).

---

[14] A bagaceira é uma espécie de pente que fica entre o rolo de saída e a esteira de arraste evitando a volta do bagaço

[15] Colchão de bagaço é a expressão utilizada para a quantidade de cana moída

As caldeiras CBC possuem grelha suspensa e as Contermas possuem fornalhas. Em ambas, o bagaço é queimado em suspensão. Ele é o principal combustível utilizado, embora algumas vezes seja usado álcool de segunda qualidade para manter a pressão quando existe falta de bagaço ou a caldeira teve uma queda de pressão.

O combustível é alimentado através de esteiras que passam sobre os alimentadores. Estes estão ligados ao corpo da caldeira que jogam o bagaço no corpo da caldeira. Ocorrendo problemas, eles são fechados para cortar a alimentação.

As caldeiras são do tipo aquatubular onde a água passa por dentro dos tubos e o calor de aquecimento por fora. A água utilizada na caldeira precisa ser tratada antes de entrar no processo para evitar encrustração e problemas nos tubos por onde irá passar, pois isso prejudicaria o funcionamento normal da caldeira.

Diariamente são realizados testes na água para a observação do teor de ferro, sólidos em suspensão e Ph para que os problemas sejam identificados antes que se tornem maiores. As grelhas e as fornalhas das caldeiras são limpas quatro vezes ao dia, para evitar acúmulo de cinzas diminuindo a capacidade geradora de calor. Também são acompanhados, através de testes: a pressão da caldeira, a umidade do bagaço que entra na caldeira e o retorno do condensado que volta a alimentar o ciclo térmico.

O vapor alimenta as turbinas das moendas, dos desfibradores, do turbo gerador, os pré-aquecedores, o termol e a estação de redução de potência, que alimenta a fábrica de açúcar e álcool.

A água utilizada nas caldeiras é desmineralizada, decantada, tratada com soda, antiespumante, coagulante; é pré-aquecida e entra no processo de geração de vapor.

Os gases da combustão são jogadas na atmosfera após serem lavados. As partículas em suspensão são retiradas, tratadas em uma máquina conhecida como cuchi-cuchi. O resíduo é transportado para áreas que não estejam sendo plantadas.

As caldeiras são uma preocupação constante, pois a queda de pressão provoca parada em quase toda a usina, aumentando os custos de produção.

1.3.5 Laboratório de tratamento de água

A estação de tratamento de água tem por objetivo a análise e tratamento de toda água que entra na usina. A principal preocupação é evitar desgaste das caldeiras, mantendo-as alimentadas.

São coletadas amostras do vapor, de água de alimentação, do condensado, da água dos poços artesianos, de água desmineralizada e de outros pontos.

A água que alimenta as caldeiras recebe dosagem de soda, antiespumante, coagulantes e eliminador de gás. A água é clarificada antes de ser desmineralizada. São mantidos pontos de reserva com tanques de 500 m^3 que abastecem a caldeira quando o volume do condensado começa a falhar.

O laboratório de água faz análise de dureza, Ph, turbidez, cloro, potássio, sulfitos e cloretos.

1.3.6 Geração de energia elétrica

O vapor é gerado nas caldeiras. É utilizado nas turbinas das moendas, no desfibrador, no processo de fabricação de açúcar e álcool e na turbina que aciona o gerador de energia elétrica. A usina possui cinco geradores: quatro com potência maior e um mais antigo que completa a necessidade de energia. Eles produzem cerca de 20 Mw/dia, sendo que a usina utiliza 90% da energia gerada para o consumo próprio e os 10% são vendidos à CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz).

Durante a safra, a cogeração é feita através de barramentos da CPFL na usina. A Usina é isolada da CPFL quando a usina tem problemas

com as caldeiras e na entressafra, que a usina passa a utilizar os serviços da CPFL. Durante a entressafra não é produzido energia elétrica, devido à falta de equipamento e estrutura para a geração. Para a produção de energia elétrica na entressafra, seria necessário modificar algumas caldeiras e comprar novos equipamentos. A Usina realizou alguns estudos para a modificação de suas caldeiras. Algumas alternativas foram levantadas para que as modificações feitas já gerassem energia na entressafra. Estas modificações foram estudadas pela Coopersucar para que a usina modificasse suas caldeiras prevendo a possibilidade de produção de energia na entressafra.

A principal modificação possivelmente adotada seria a transformação da potência das caldeiras Contermas para produção com pressão de 60kg/cm^2. Essa potência e a compra de um sistema de condensação fariam com que a usina pudesse passar a produzir energia na entressafra.

1.3.7 Fabricação de açúcar

O caldo é extraído das moendas por tubulações diferenciadas, pois em cada uma é extraído um pouco. É depositado em um tanque com capacidade para 30.000 litros. O objetivo deste tanque é tornar o caldo o mais homogêneo possível para facilitar o processo de fabricação do açúcar e do álcool. É depositado, também neste tanque, o caldo que vem dos filtros rotativos para reaproveitamento. Antes de ser depositado o caldo passa por uma peneira para filtrar a sujeira que possa ser arrastada durante o transporte, ou na extração. Este tanque é conhecido como tanque pulmão. A figura 1.7 mostra todo o fluxo de preparação para entrar na fabricação propriamente dita. Na linha do tanque-pulmão, existem seis bombas que distribuem o caldo para a fabricação de açúcar e álcool. Quatro delas puxam o caldo para a fabricação de açúcar e as outras duas, para a destilaria.

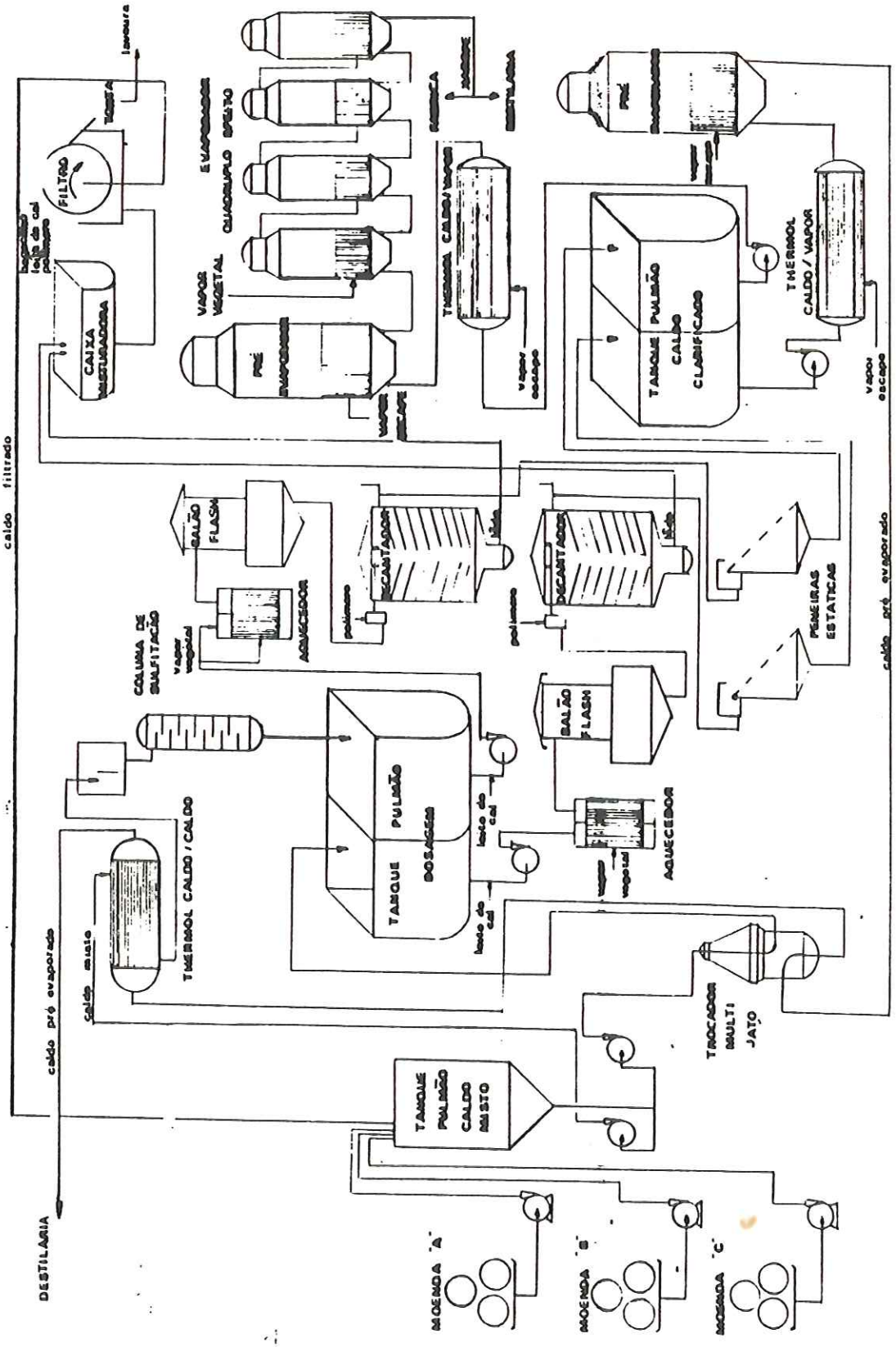


FIGURA 1.7 FLUXO DO CALDO

FIGURA 1.7 FLUXO DO CALDO
Fonte: Usina São Martinho

O caldo bombeado vai para os trocadores de calor, conhecidos como termol. O objetivo do termol é começar a preparar o caldo para o processo de transformação. O caldo entra com temperatura de 35°C e sai com 105°C se for para a fabricação de açúcar. No caso do álcool, entra com 35°C e sai entre 68°C e 78°C. O volume de caldo é maior que a capacidade do termol; por esta razão, o excesso fica acumulado na caixa selada onde os pré-aquecedores mantêm a temperatura constante até a entrada do termol. O pré-aquecedor faz circular o caldo pelos tubos, aquecendo-o e preparando-o para o processo.

Após o termol, o caldo passa novamente por uma caixa de distribuição para ser homogeneizado e limpo. Esta caixa serve como depósito para esperar o volume que está sofrendo processo de sulfitação. Esta ocorre quando o caldo vai caindo de uma peneira a outra, misturando-se com o cal reagindo com o enxofre. Esta parte do processo constitui-se da clarificação do caldo, preparando-o para a fabricação do açúcar. O cal é adicionado para baixar o Ph, evitando incrustações no caldo.

O caldo sulfitado passa por um conjunto de três aquecedores para retirar a água. Ele é aquecido com vapor vegetal produzido nos pré evaporadores. A cada estágio dos aquecedores, a temperatura aumenta para que a água seja completamente extraída. O processo seguinte é a retirada de ar do caldo, feito no balão *flash*. O caldo cai no balão sobre uma mesa contida dentro dele. O balão *flash* diminui a temperatura, retira o ar e novamente homogeneiza o caldo. As impurezas saem através de uma porcelana que as filtra. O caldo passa para a caixa distribuidora, que o distribui de forma aleatória nos decantadores.

Aí é retirado o restante da sujeira remanescente. A sujeira extraída é levada para o filtro rotativo. Novamente, o caldo é misturado para ser homogeneizado e passa nas peneiras para se retirarem sujeiras com granulação menor. Após as peneiras, novamente é misturado e passa pelo pré-aquecedor.

Os pré-aquecedores utilizam vapor de escape das turbinas para elevar a temperatura do caldo a um nível entre 115 e 116°C. Aquecido, o caldo entra nos pré-evaporadores para perder a água ainda restante e concentrar o caldo. Esta troca gera o vapor vegetal, que é utilizado nos evaporadores. O caldo complementa seu processo de extração de água, tendo como produto o xarope, que é homogeneizado antes de passar para os cozedores, onde ocorre a formação dos cristais. Os cristais formados vão para as centrifugadoras, que separam o açúcar do mel, que é considerado impureza na fabricação do açúcar. O mel separado vai à destilaria e o açúcar separado é homogeneizado para ser ensacado terminando assim o processo de sua fabricação.

1.3.8 Fabricação do álcool

O processo de fabricação do álcool ocorre paralelamente ao de açúcar. O processo inicia-se na fermentação que ocorre no reator, onde é depositado o fermento e o mel, que se chamará de mosto vindo da fabricação do açúcar. Dentro do reator, ocorre o processo de fermentação a uma temperatura média de 30°C. O material fermentado passa às dornas para que a extração de açúcar ocorra. Através de tubulações, a mistura fermentada vai às centrífugas, que extraem a levedura, usada no biodigestor. Passada esta etapa, separa-se a vinhaça do vinho numa proporção de 9 para 1, sendo gerado o vinho centrifugado. A vinhaça é armazenada em um tanque-pulmão para alimentar o biodigestor e para adubar a lavoura. O vinho centrifugado passa por um trocador de calor para perder água e entra na coluna de destilação.

A fermentação alcoólica provoca a formação de cinco produtos: etanol, vinhaça (soma de vinhoto e flegmassa), álcool de segunda, óleo de alto e óleo fúsel. Os três últimos têm uma grande multiplicidade de componentes. Para fracionamento do vinho (mosto fermentado) é necessário

um sistema de separação complexo: colunas de destilação, condensadores, resfriadores, decantador de óleo fúsel.

1.4. Mudança de objetivos

Todo o processo descrito acima foi acompanhado passo a passo na própria usina. Esta foi a fase inicial do trabalho, pois sem ela não seria possível entender os termos utilizados e o funcionamento em si da usina. É difícil discutir sobre um processo que está interligado em todas as suas fases. Foi necessário conhecer todo ele para um entendimento melhor das variações que poderiam ocorrer com uma mudança.

Durante a pesquisa na usina, levantaram-se dificuldades enfrentadas em nível operacional. Como: levantamentos de custos (hoje a usina se preocupa em gerenciar seus custos não mais contabilmente, mas utilizando programas e formas onde os próprios gerentes possam controlá-los e diminuí-los); mudança na maquinaria, que é antiga, sendo necessário substituir algumas para aumento de produtividade; automação, que é outra preocupação grande da empresa, além de outras em nível estratégico.

A princípio o trabalho tinha o objetivo de fazer uma análise econômica da geração de energia a partir do bagaço de cana. Percebeu-se, porém, que o esforço seria grande sem que com isso o objetivo fosse atingido no prazo estabelecido.

O trabalho passou, então, a ter um caráter de análise das possíveis alternativas de cogeração e das possíveis alternativas para gerar energia. A dúvida atual a respeito de um possível colapso no fornecimento de energia elétrica, e vivenciada pela Ministério das Minas e Energia há muitos anos e por órgãos não governamentais que trabalham com energia elétrica, tornou a idéia ainda mais atraente e justificada.

Passou-se, então, à grande pergunta que deu origem ao trabalho: O bagaço de cana é ou não uma alternativa viável de geração de energia elétrica? A partir deste ponto, pesquisou-se, também, outros países que já

utilizam o bagaço como gerador de energia e as vantagens da sua utilização para o país, cujas experiências serão expostas neste trabalho.

CAPÍTULO 2

A INSERÇÃO DO BAGAÇO DE CANA NAS ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS DO BRASIL

2.1 Introdução

A capacidade de geração de energia do Brasil está em processo de estagnação. A disponibilidade de recursos para investimento governamental está esgotada devido aos investimentos mal sucedidos, como foram os casos de Angra I, Angra II e outros, além de incontáveis problemas econômico-financeiros de diversas origens.

O país precisa se preparar para crescer depois de tantos erros. Para isso a geração de energia elétrica deve ser ampliada num curto espaço de tempo. O situação energética nacional exige atenção.

Existem diversas formas de energia em uso no país, porém, a energia elétrica é, em grande parte, o maior problema, pois representa 34% da energia consumida no país.

O Brasil é o oitavo produtor de energia elétrica do mundo ocidental, com 208 bilhões de quilowatt/hora. O perfil de consumo revela que se destinam à indústria 56,6% desse total, significando que temos, em relação a esse insumo, um alto grau de dependência.

Existem razões para temer a insuficiência de oferta, a médio prazo, em níveis compatíveis com as necessidades do país. Afinal, para atender à demanda nacional, o governo precisa promover investimentos da ordem de seis bilhões de dólares anuais, e mal tem atingido metade desse valor. (Eletrobrás, plano 2010)

O Brasil está se aproximando de uma capacidade instalada de 50 milhões de quilowatts. É uma quantidade significativa que pode ser comparada com a Itália e a Grã-Bretanha.

O consumo de energia na área residencial em 1990 aumentou 9,6% a. a.. Na área industrial, entre 1950 a 1990 o crescimento foi de cerca de 9,7%a.a. Na área comercial, no mesmo período , teve o consumo aumentado em 8,9% a. a. O consumo na área rural é responsável por um aumento de consumo de 16,8% entre 1970 a 1990. Está divisão é feita pela eletrobrás para controle de consumo e melhoria do consumo (Plano 2015, Eletrobrás).

A situação, hoje, preocupa a todos, pois os atrasos que estão se verificando, devido à falta de investimentos no programa do setor elétrico, eleva o risco de "déficit" a valores muito acima dos 5% ou 6%, que seriam razoáveis. O Sudeste já vive um risco de "déficit" desde 1993, da ordem de quase 10%.

A evolução do aproveitamento do potencial hidroelétrico mostra que por volta do ano 2000 o potencial disponível economicamente terá sido praticamente todo utilizado no Nordeste, no Sudeste e no Sul, e a Amazônia será a única fonte de energia hidroelétrica em grande escala. Quanto à utilização maciça de energia da Amazônia, que é estimada em cerca de 100 milhões de KW de potencial, haverá muitos problemas de transmissão a longa distância, ambientais e sociais .

Segundo relatório geral do plano nacional de energia elétrica 1987/2010, a previsão de mercado é fortemente condicionada ao desempenho global da economia e à composição qualitativa dos

indicadores demográficos e sociais, tornando-se, portanto, essencial dispor de variáveis que expressem estas condições.

Cabe ressaltar que o uso das variáveis macroeconômicas está condicionado ao horizonte de aplicação. A curto prazo, o impacto da entrada de novas cargas de grande porte e de programas de expansão nas redes de distribuição influencia decisivamente a evolução do mercado. A longo prazo, a única referência disponível no atual estágio das aplicações metodológicas é o crescimento dos grandes agregados macroeconômicos e demográficos, embora se saiba que, a partir da implementação de políticas de conservação de energia, atualmente em desenvolvimento, os estudos de previsão deverão ser por elas influenciados.

Com a queda dos governos autoritários no Brasil, instalou-se um compromisso na vida política, econômica e social do país com o objetivo de mudá-lo. A necessidade do crescimento econômico para manter o país competitivo internacionalmente provoca tomadas de decisões de longo prazo.

No campo econômico, a principal meta é tornar a economia competitiva e controlar a inflação; no campo social, o combate à pobreza com o aumento da oferta de emprego. Melhoria no nível de renda provoca investimentos bem altos no campo industrial e comercial.

Para planejar este crescimento a fim de que ocorra de forma equilibrada, surgiu o I Plano Nacional de Desenvolvimento da Nova República em 1986/1989. Inicialmente, fixou metas de crescimento para o País com taxas de 6% ao ano, a partir de 1986. Depois, alterou-se o plano de metas para 6,8% ao ano. Com o plano de metas também foi estimado um crescimento do PIB a longo prazo, coerente com as modificações estruturais ocorridas no período de 1986/1990. Ao longo dos anos foram feitos ajustes nesse plano.

O desenvolvimento econômico, evidentemente, trás consigo o aumento do consumo de energia elétrica. A produção pelo próprio usuário já é uma realidade em diversos setores.

A projeção de geração (Mw) de autoprodutores até 2010, realizado pelo departamento de mercado da Eletrobrás, consta na tabela 2.1 abaixo:

TABELA 2.1 - PROJEÇÃO DE AUTOPRODUÇÃO ATÉ 2010

Região/Ano	1985	1990	1995	2000	2005	2010
Norte + MA	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Nordeste-MA	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5
Sudeste+C.Oeste-MS	5,5	6,2	6,3	6,5	6,7	6,7
Sul+MS	1,2	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5
Brasil	8,7	10,5	10,7	11,0	11,3	11,3

Fonte: plano 2010 da Eletrobrás

Concretamente, segundo o plano 2010 da Eletrobrás, o potencial de cogeração de energia elétrica através da utilização do bagaço de cana por si já altera as perspectivas da autogeração.

O aumento dos níveis de autoprodução poderá não só diminuir as compras pelas distribuidoras, mas também gerar excedentes que podem ser absorvidos por elas.

A indicação dada pela Eletrobrás é o incentivo para continuar pesquisando sobre a autoprodução, pois seria, para o governo, a alternativa de curto prazo.

Existe uma perspectiva de crescimento econômico do País; para isto será necessário um período de ajustes para que não haja perdas no processo. A longo prazo, as incertezas quanto ao crescimento são grandes. Porém, caracterizada a tendência a um aumento do mercado em relação ao previsto, dentro de um horizonte que se estende até meados da próxima década, será necessário, diante da impossibilidade de se promover a antecipação das obras previstas, a implantação de planos de curto prazo como o incentivo maior à conservação e à autogeração.

Segundo a Eletrobrás, o setor elétrico está atento às mudanças no comportamento do mercado de energia elétrica, para que sejam ativados os planos correspondentes.

2.2. RESERVAS ENERGÉTICAS MUNDIAIS E BRASILEIRAS

Na década de 70, o Brasil vivenciou a crise do petróleo. Ela provocou uma série de estudos de novas alternativas energéticas. Não era possível submeter-se aos novos preços e aumentos sucessivos provocados pela OPEP. O preço do petróleo chegou a U$34/ barril (Resende,1983).

A dependência do petróleo e a insegurança de ter ou não o produto contribuíram para o surgimento de novas alternativas de geração de energia. Neste período, começam a surgir os estudos sobre potencial energético como: carvão, álcool, xisto, gás natural , biogás e outras fontes que ajudassem a evitar o colapso.

O Brasil criou o programa nacional do álcool como uma alternativa de natureza política e estratégica. Acreditava-se que o desenvolvimento e a absorção de tecnologia provocariam a redução de custos de produção do álcool, fazendo com que o mesmo viesse a ser competitivo com a gasolina em termos econômicos (Mendes, et al, 1994).

A demanda mundial de energia poderá mais que duplicar até o ano 2025, à medida que a população crescer e os países pobres se industrializarem.

A "insegurança energética" é o resultado deixado pela crise de 70. A utilização de combustíveis fósseis e não fósseis para a geração de eletricidade foi uma das conseqüências desta insegurança. O preço destes combustíveis pode subir bastante se a demanda crescer a um ritmo mais rápido do que o do fornecimento, mesmo que no fim o aumento do preço incentive os produtores a ampliar a produção. (Gazeta Mercantil, 1995).

O mundo diante de suas limitações territoriais e a crise que o petróleo os inseriu, também buscou novas fontes de geração não só de energia elétrica, mas combustíveis de uma maneira geral. Pode-se citar a Alemanha com a energia eólica, o Japão com a energia solar, a Holanda com energia eólica e solar, a França com energia nuclear, os Estados Unidos com uma variedade de novas tecnologias que evitam a dependência da energia elétrica proveniente de hidrelétricas ou do petróleo. As empresas mundiais passaram a preocupar-se com a contenção de custos e a conservação, sendo privilegiadas aquelas que consumissem o mínimo possível de energia elétrica, além dos equipamentos eletrônicos passaram a ter dispositivos com consumo menor de energia.

A maioria das indústrias tem obtido melhor eficiência no seu processo produtivo, reduzindo o desperdício e economizando racionalmente a energia. Com este fato o país consegue aumentar suas reservas energéticas para tentar superar a crise. As dificuldades econômicas decorrentes de um processo extremamente recessivo e já longo, cria oportunidades e induz a descoberta de novos caminhos na busca de uma maior competitividade e de novas alternativas.

O Brasil é rico em reservas diversificadas que possibilitam uma série de alternativas energéticas. Pensar nelas há alguns anos era algo absurdo. Porém os economistas começaram a falar de custos e as empresas não podiam mais esperar surgir uma nova crise para mudarem.

Os combustíveis fósseis atendem a 75% das necessidades energéticas do mundo. Grande parte dos restantes 25% utiliza combustíveis do mundo pobre, como: madeira, resíduos de colheitas agrícolas e esterco.

Na energia exigida para o transporte, o petróleo ainda reina, fornecendo 97% do combustível utilizado. Só na produção de eletricidade as alternativas para os combustíveis fósseis produziriam algum impacto. A energia nuclear fornece 17% da eletricidade do mundo e a hídrica, 18%. As novíssimas energias renováveis, como a energia solar e eólica, fornecem menos de 1% da energia elétrica do mundo (Gazeta Mercantil, 1995).

A seguir apresentam-se algumas destas fontes utilizadas pelo Brasil e pelo mundo como alternativas de geração de energia elétrica e outros tipos.

2.2.1 Carvão

Sendo o carvão mineral a fonte primária objeto de análise, devem-se adotar cuidados especiais na avaliação de sua participação, pois no nosso País, não existe tradição de uso intensivo deste energético a despeito de ser a mais abundante fonte não renovável de energia disponível (Araújo, 1990).

As reservas mundiais de carvão mineral, avaliadas por volta da metade do decênio passado, foram estimadas em cerca de 10 trilhões de toneladas, cabendo à Rússia, Europa e Ásia 53% destas reservas (Pera, 1991).

O carvão mineral é um combustível natural fóssil resultante da transformação da madeira de extensas florestas soterradas há centenas de milhões de anos, sujeitas à ação da pressão, temperatura e bactérias.

O grau de pureza é definido a partir do processo de mistura dos materiais celulósicos com as substâncias minerais por ocasião das modificações na crosta terrestre.(Pera, 1991).

O carvão é composto por percentagens de carbono, hidrogênio, enxofre, nitrogênio e oxigênio.

Para caracterizar o carvão, Pera classificou algumas informações importantes:

- *Umidade* - é o primeiro valor que se determina na amostra do carvão. Ela varia de acordo com a procedência. É obtida através da secagem em estufa a 110ºC.
- *Materiais voláteis* - são determinadas na amostra seca, submetendo-se 1g de carvão a uma temperatura de 925ºC. Quanto maior o teor de voláteis, mais fácil é a ignição do carvão e mais satisfatória sua combustão. Estas substâncias

minerais são isentas de hidrogênio, enxofre, nitrogênio e oxigênio. Retirando-se os minerais, resta o chamado carbono fixo, que, passando por um processo de queima, gera as cinzas.

- *Cinzas* - são resultantes da queima completa do carvão. Os carvões com alto teor de cinza devem ser submetidos a um tratamento mais elaborado, para eliminar tanto quanto possível inconvenientes de queima.
- *Moabilidade* - O conhecimento do índice de moabilidade permite avaliar a maior ou menor dificuldade de moagem do carvão.
- *Friabilidade* - mostra a tendência que o carvão tem de se partir em pedaços menores.
- *Granulometria* - é o tamanho que o carvão assume ou pode assumir.

As reservas de carvão no Brasil estão nas seguintes regiões:

a) Bacia Meridional;

b) Bacia do Piauí;

c) Bacia do Tocantins;

d) Bacia do Rio Fresco;

e) Bacia do Alto Amazonas.

Outro segmento estudado foi a siderurgia. O II Plano Siderúrgico Nacional serviu de referência para a identificação da demanda do carvão metalúrgico para a preparação do coque. O consumo do carvão metalúrgico deverá ser da ordem de 21 milhões de toneladas e pode-se estimar uma participação da ordem de 15% de carvão nacional, correspondendo assim a cerca de 3 milhões de toneladas.

A siderurgia a coque no ano 2000 consumiria 1890 mil tEP.

Carvão importado: seria necessário importar 18 milhões de toneladas, relativos a 13 milhões e 194 mil tEP. O total de carvão

necessário ao projeto siderúrgico, já tomando a tEP como denominador comum, seriam 16 milhões 331 mil tEP: 3 milhões 137 mil tEP de carvão mineral e 13 milhões 194 mil tEP de carvão importado.

A hipótese considerada foi a de que ocorra a progressiva substituição de carvão usado pela indústria cimenteira no Nordeste e Centro-Oeste por outros energéticos, ficando a área de influência do carvão apenas no Sul e Sudeste. A tendência é que a indústria use carvão com 35% de cinzas e eventualmente menos. O consumo levantado pelo GT(MME portarias 139 etc/1986) foi de 5.2 milhões de t no ano 2000.

Outros consumos: sob este título estão agrupados diversos setores, como cerâmica, alimentos, setor petroquímico, papel, celulose e outros, cuja participação relativa é de pequena expressão no total do consumo. A previsão para o ano 2000 é um consumo da ordem de 2.1 milhões em t dos carvões do tipo CE-4700(RS) e CE-5200(SC). O consumo em tEP será da ordem de 945 mil.

O consumo de carvão energético nacional teve um crescimento entre 1980 e 1986. Isso se deveu ao advento após o segundo choque do petróleo, dos programas feitos pelo governo para substituírem óleo combustível por carvão mineral. Para o ano 2000, segundo os dados consolidados mostrados anteriormente, o total em tEP a ser consumido será da ordem de 27 milhões e 112 mil tEP, sendo 13 milhões e 918 mil tEP de carvão nacional e 13 milhões 194 mil tEP de carvão importado. O consumo de carvão energético deverá crescer a 10.6% ao ano de 1986 a 2000. É de se notar que de 1980 a 1986 já houve um crescimento de 16% ao ano. Porém, o carvão apresenta alguns inconvenientes com relação ao meio ambiente e a saúde das populações próximas. Segundo diversos estudos realizados, chegou-se à conclusão de que um dos maiores causadores da chuva ácida é a queima do carvão. A chuva ácida é um problema enfrentado por muitos países em vários lugares do mundo. Ela é causada por uma produção de SO_2 na atmosfera e ela prejudica as plantações, a saúde do homem e ecossistemas agrícolas.

Em caldeiras, o carvão é moído até atingir uma consistência parecida com a do talco, para então ser soprado para as fornalhas onde sofre combustão. Os poluentes gerados durante a combustão incluem, entre outros, o dióxido de enxofre, os óxidos de nitrogênio e os materiais particulados. O controle destes poluentes requer a utilização de precipitadores eletrostáticos ou filtros para a eliminação de parte dos materiais particulados, como as cinzas. Para a remoção do dióxido de enxofre utilizam-se purificadores de gases ou modifica-se a combustão. O custo para a redução de poluentes é semelhante ao custo operacional. Estes controles podem significar um aumento de 15 a 25% nos custos de construção de uma usina, e entre 10 a 15% da produção de energia elétrica. O processo de eliminação dos poluentes é caro e o problema não é resolvido, apenas transferido para o ar, água ou solo devido aos efluentes e acúmulos de resíduos.

Além das substâncias já citadas, dependendo do carvão, outros poluentes mais pesados podem ser jogados na natureza, como os valores citados pela Conferência Mundial de Energia:

Arsênio	90 kg/Mw
Bário	300kg/Mw
Cádmio	10 kg/Mw
Cloro	20kg/Mw
Cobre	30 kg/Mw
Chumbo	70 kg/Mw
Manganês	70 kg/Mw
Mercúrio	20 kg/Mw
Níquel	130 kg/Mw
Vanádio	140 kg/Mw
Zinco	220 kg/Mw

2.2.1.1 Tipos de carvão

A classificação do carvão é feita a partir da análise de suas características. A American Society of Testing Material propôs a classificação apresentada na tabela 2.2.

TABELA 2.2 CLASSIFICAÇÃO DO CARVÃO

Classe	Grupo	Carbono Fixo %	Materiais Voláteis %	P.C.S Kcal/Kg	Características aglomerantes
Antracito	Meta Antracito	98	2	-	Não aglomerantes
	Antracito	92 a 98	2 a 8	-	
	Semi-Antracito	86 a 92	8 a 14	-	
Betuminoso					
	Baixo teor de M.V.	78 a 86	14 a 22	-	-
	Médio teor de M.V.	69 a 78	22 a 31	-	Comumente aglomerante
	Alto Teor de M.V.				
	Tipo A	69	31	3.530	
	Tipo B	-	-	3.530 a 3280	
	Tipo C	-	-	3.280 a 2776	aglomerante
Sub-betuminoso	Tipo A	-	-	3.280 a 3530	
	Tipo B	-	-	2.776 a 2.400	não aglomerantes
	Tipo C	-	-	2.400 a 2.100	
Outros	Lignito				
	Tipo A	-	-	2.100	
	Tipo B	-	-	2.100	

Fonte: Classificação de Carvões Minerais segundo ASTMD-388 in Geração de vapor. Pera, Hildo. 1991.

2.2.2 Energia Nuclear

A energia nuclear é uma alternativa que utiliza uma tecnologia segura e controlada de produção de resíduos.

A utilização da energia produzida por centrais nucleares, gerenciadas e operadas de modo apropriado, pode evitar poluição séria.

Comparada com o carvão, uma usina nuclear produzindo 1.300 Mw libera as seguintes quantidades de poluentes:

- 2000 toneladas de material particulado;
- 12.000 toneladas de SO_2;
- 6.000 toneladas de No_x;
- 8,5 milhões de toneladas de CO_2.

Em 1985, a energia nuclear foi responsável por 15% da produção mundial de eletricidade. Em 4 países (França, Bélgica, Tailândia e Suécia) esta percentagem foi superior a 40%, sendo que, na França , chegou a 65%. Em maio de 1986, existiam 359 centrais em condições de operação, com uma potência total de 245.901 MW. Além de 154 centrais em construção, com uma potência total de 139.210 MW.

As centrais do tipo PWR (reator a urânio enriquecido, pressurizado, moderado e refrigerado a água leve) e do tipo BWR (reator de urânio enriquecido a água fervente, moderado e refrigerado a água leve) foram desenvolvidos, inicialmente, nos Estados Unidos e União Soviética, para o acionamento de submarinos nucleares.

TABELA 2.3 CENTRAIS NUCLEARES NO MUNDO POR SITUAÇÃO E TIPO

TIPO	OPERAÇÃO		CONSTRUÇÃO		TOTAL	
	No	POTÊNCIA	No	POTÊNCIA	No	POTÊNCIA
PWR	88	1147.513 60%	06	1 100,747 72,4%	294	248,260 64.5%
BWR	8	759,796 24.3%	6	115,536 11,2%	94	75,332 19,6%
GCR	3	3 6,712 2,7%		- -	33	6,712 1,7%
AGR	0	1 5,232 2,2%		53,130 2,2%	15	8,362 2,2%
PHWR	5	213,343 5,4%	3	1 7,871 5,7%	38	21,214 5,5%

LWGR	9	1 11,667	4,7%		8 9,100	6,5%	27	20,767	5,4%
FBR		4 1,160	0,5%		4 2,495	1,8%	8	3,655	0,9%
HTGR		1 330	0,1%		1 296	0,2%	2	626	0,2%
HWLWR		1 148	0,1%		1 35	0,0%	2	183	0,0%
TOTAL	59	245,901	100%	54	1 139,210	100%	513	385,111	100%

Fonte: Listagem de Centrais Nucleares no Mundo, situação em maio de 1986 - Nuclebrás, 1986

Mais recentemente, observou-se uma preponderância quase absoluta dos reatores PWR, sendo que somente o Japão persistiu na manutenção da linha BWR.

As centrais GCR (reator a urânio natural, refrigerado a gás e moderado a grafite) foram construídas principalmente na França e Inglaterra. As centrais AGR constituem uma evolução desta linha, porém, hoje ambas estão definitivamente abandonadas.

As centrais PHWR (reator a urânio natural, pressurizado, moderado e refrigerado a água pesada) conseguiram grande espaço no passado pelo interesse de vários países, inclusive o Brasil.

Desenvolvidas principalmente no Canadá, elas foram construídas também na Índia, Argentina, Paquistão, Coréia e Romênia. Apesar de ainda haver interesse neste tipo de usina, os planos são muito modestos.

As centrais LWGR (reator a urânio levemente enriquecido, refrigerado a água leve e moderado a grafite) foram construídas exclusivamente na União Soviética e provavelmente serão progressivamente abandonadas no futuro. A central de Chernobyl é deste tipo.

Outros tipos de usinas não passaram do protótipo como:

- Os FBR (reatores regeneradores rápidos);
- Os HTGR (reatores a alta temperatura refrigerados a gás e moderados a grafite).

A energia nuclear tem passado por uma profunda crise. As encomendas de centrais nucleares vêm decrescendo desde 1984. Em 1985, houve um crescimento modesto para o porte da indústria nuclear mundial.

A crise não se deve somente às baixas taxas de crescimento do mercado de eletricidade observadas nos países desenvolvidos e às dificuldades dos países em desenvolvimento na obtenção dos fundos necessários ao financiamento destas centrais. Existem razões ligadas ao crescimento dos custos e dos movimentos de opinião pública.

A primeira utilização da energia nuclear na geração comercial de eletricidade nos Estados Unidos foi realizada pela central de Shippingport, tipo PWR, que começou em 1957.

A partir de 1993, a Jersey Central Power & Light Company anunciou a compra de uma central de 515 MW da General Eletric. Ela geraria eletricidade a custos inferiores ao de qualquer outra fonte energética, sem a necessidade de subsídio. Veio um clima de otimismo com Westinghouse com centrais PWR e a General Electric com centrais BWR. A partir daí, só houve crescimento desta área. Cresceram as subsidiárias americanas.

A crise do petróleo só veio consolidar a energia nuclear. Após alguns anos, iniciou-se um movimento de recuo das concessionárias americanas. As causas foram uma elevação generalizada de crescimento do mercado e a diminuição das taxas de crescimento do mercado de eletricidade devido à crise econômica. Em 1979, ocorreu o ocidente de Three Mile Island com muitas conseqüências nos Estados Unidos. A situação foi piorando ano a ano, com centrais em construção sendo paradas e projetos sendo cancelados.

Assim como nos Estados Unidos, a utilização da energia nuclear na França teve início nos anos quarenta. As primeiras centrais nucleares utilizadas na geração de eletricidade eram do tipo GCR e foram desenvolvidas a partir dos reatores destinados à produção de plutônio, matéria-prima dos artefatos nucleares. Na década de 50 e 60, foram construídas 7 centrais com potência total de 1300 MW.

Por volta de 70 e 73, foi iniciada a construção de 6 centrais PWR, de 900 MW. Com a crise do petróleo foi lançado um programa de proporções maiores. Foram construídas de 4 a 6 centrais por ano até 1982. O governo e

a sociedade francesa ajudaram bastante no crescimento da energia nuclear. Porém em 1983 a quantidade de usinas a serem construídas diminuiu bastante. Isto foi causado exclusivamente pelas baixas taxas de crescimento do mercado de eletricidade nos últimos anos.

A França, hoje, tem um excesso de capacidade instalada e as últimas centrais foram decididas com o objetivo de preservar a tecnologia.

Além dos Estados Unidos e da França, outros países também possuem um programa nuclear estruturado como: Japão, Alemanha, Inglaterra, Suécia e Canadá. Porém as dificuldades encontradas são mais ou menos as mesmas. A situação atual e as perspectivas para o futuro de seus programas nucleares são extremamente modestas.

A Suécia e o Canadá estão com as centrais em construção suspensas. No Canadá, o excesso de capacidade instalada e as baixas taxas são a grande motivação para evitar a construção; aí foi votado um plebiscito para a desativação das usinas existentes até 2010, quando se teriam novas opções de energia elétrica.

Na Inglaterra, o desenvolvimento da energia nuclear foi bastante tumultuado principalmente devido às centrais AGR utilizadas. Com os altos custos, passaram a usar as centrais PWR.

A Alemanha é a que tem uma estabilidade maior na área da energia nuclear. Pela característica descentralizada do governo, problemas de protestos são decididos nos tribunais. Atualmente, a Alemanha tenta se reestruturar para depois definir o que fazer com seu plano de desenvolvimento nuclear.

O Japão possui problemas com sua densidade populacional, problemas de abalos sísmicos e os problemas de traumas da população devido às bombas que deixaram feridas ainda sentidas nas famílias.

Além destes países, a Espanha, Bélgica, Coréia do Sul, Taiwan e União Soviética têm um desenvolvimento da energia nuclear, mas não muito expressivo.

Nas grandes potências ocidentais, o descaso pela energia nuclear, mesmo sem a desativação das centrais em operação ou em construção, terá sérias implicações, pois a maioria delas não possui alternativas mais econômicas para a geração de eletricidade. A alternativa mais próxima é o carvão que está sujeito ao controle ambiental.

O Brasil possui reservas de urânio sempre associadas com outros minérios. A utilização do urânio encontra-se restrita àquelas ocorrências de maior concentração. Como a concentração é baixa, é necessária a manipulação de uma grande quantidade de matéria mineral, o que torna antieconômico o seu transporte.

As reservas brasileiras estão registradas na tabela 2.4 abaixo:

TABELA 2.4 - RESERVAS BRASILEIRAS DE URÂNIO

RESERVAS BRASILEIRAS DE URÂNIO			
		(103T 3O8)	
Reservas Geológicas	**Medidas e indicadas**	**Inferidas**	**Total**
Itataia/Ce	91,20	51,3	142,50
Lagoa Real/Ba	61,80	31,4	93,20
Poços de Caldas/MG	20,00	6,80	26,80
Quadrilátero Ferrif./MG	5,00	10,0	15,00
Espinharas/Pb	5,00	5,00	10,00
Figueira/PR	7,00	1,00	8,00
Amormópolis/Go	2,00	3,00	5,00
Rio Preto/Go	0,50	0,50	1,00
Total	192,5	109,00	301,5
Reserva Recuperável			120,1

Fonte: Nuclebrás apud plano 2010

As pesquisas realizadas até hoje não foram suficientes para a identificação de todo o potencial existente , nem para cobrirem todo o território nacional. Talvez o valor das reservas seja bem maior do que o já demonstrado.

A única reserva brasileira que se encontra em produção é a de Poços de Caldas, com uma capacidade de 100t de U_3O_8 por ano, devendo ser aumentada para 500t.

A estimativa de potencial de geração de eletricidade nuclear utilizaram alguns parâmetros. São eles:

- vida útil da usina: 25 anos;
- reservas de recuperação de urânio: 120.100 t U_3O_8;
- perda na conversão: 0,5%;
- perda na fabricação: 1,0%;
- rejeito do processo de enriquecimento: 0,30%;
- potência líquida da unidade de referência: 1245 Mw;
- fator de capacidade médio anual: 60%;
- consumo total na vida útil: 5666t U_3O_8;
- duração das recargas: 2 meses;

ciclo operacional: 1o ciclo - 15 meses;demais ciclos - 12 meses;

enriquecimento - 1a carga - 1,9%;2,5%; 3,0% de U_{235};recarga - 3,2% de U_{235};

massas: 1a carga: 103,06t de UO_2;recarga -34,35t de UO_2.

A capacidade possível de ser instalada chega em torno de 26.000 MW, correspondendo a 21 unidades líquidas de 1.245 MW de potência líquida.

O Brasil possui uma central nuclear em operação e duas em construção. Tem sido difícil estimar os custos de geração de eletricidade nuclear, pois o que se percebe até nas grandes potências é uma falta de padronização na tecnologia a ser empregada na construção das usinas nucleares.

O custo da geração de eletricidade em outros países é bastante expressivo como mostra a tabela 2.5 abaixo:

TABELA 2.5 CUSTO DE GERAÇÃO EM DIVERSOS PAÍSES

	Custo de Geração de eletricidade em centrais PWR (US$)			
País	Investimento US$	Custo de Operação	Combustível e Manutenção	Custo final de geração US$/KW
Alemanha	29	5	7,3	41,3
EUA (centro)	36	4,8	7,1	47,9
EUA(oeste)	54,6	4,8	7,1	66,5
França	17	4	7,3	28,3
Reino Unido	30,8	5,5	8,8	45,1

Fonte: La Planification et les études de Faisabilités des projects nucléo - électriques - Baumier, J. - Institut National des sciences et Techniques Nucleaires.

Abaixo encontram-se as hipóteses adotadas dos custos do Brasil para a geração de energia elétrica em Centrais PWR:

TABELA 2.6 CUSTO DE REFERÊNCIA DA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

Discriminação	
Custo de investimento	36 US$/Mwh
Operação e Manutenção	6 US$/Mwh
Combustível	8 US$/Mwh
Custo final de geração	50 US$/Mwh
Dados básicos utilizados:	
Custo de construção	1400 US$/Kw
Juros durante a construção	600 US$/Kw
Custo de investimento	2000 US$/Kw

Taxa de atualização anual 10%	
Vida útil	25 anos
Fator de capacidade	70%
Central de Referência	
Potência bruta	1300 Mw
Potência líquida	1245 Mw

Fonte: Plano 2010 da Eletrobrás

2.2.3 Petróleo

A produção de petróleo conseguida pela Petrobrás em 1992 foi de 653 mil barris/dia de óleo e 19 milhões de m^3 por dia de gás natural .

As reservas provadas de petróleo somam 4,5 bilhões de barris equivalentes de óleo. No Brasil, são 11 refinarias que processam cerca de 1.300 mil barris por dia, dos quais 1.200 mil barris/dia, em média, são destinados ao mercado interno e o restante é exportado.

O custo médio efetivo de refino da Petrobrás sem a depreciação era de US$ 2,01/barril em 1991. O custo médio do barril total era de US$ 4,32 (Auditoria Petrobrás 93).

O Brasil depende do petróleo para fornecer 33% da energia de que necessita. Importa 500.000 barris por dia de petróleo. Se não houver investimento na produção, passará a importar valores crescentes até atingir 1.200.000 PD até 1997 (Petrobrás, 1993).

TABELA 2.7 - PRODUÇÃO ANUAL DE ÓLEO E LGN

Anos	Média	Pico de produção
1993	700	730
1994	750	800

1995	800	830
1996	850	940
1997	1050	1075

Fonte: Produção Nacional X Importação - Petrobrás -1993

TABELA 2.8 - DEMANDA DE DERIVADOS (MIL/BPD)

Ano	**BPD**
1993	1308
1994	1336
1995	1375
1996	1417
1997	1498

Fonte: Produção Nacional X Importação - Petrobrás -1993

TABELA 2.9 - PRODUÇÃO DE ÓLEO, LGN E GÁS

Ano	**Óleo/LGN (Mil BPD)**	**Gás Milhões M3/dia**
1993	700	23.7
1994	750	25.1
1995	800	26.5
1996	850	27.3
1997	1050	30.4

Fonte: Produção Nacional X Importação - Petrobrás -1993

Em 1997, a demanda deverá passar de 1.308 mil BPD para 1498 mil BPD, o que leva a uma importação média de petróleo na faixa de 500.000 a 600.000 BPD.

A produção de petróleo no país ainda se mostra vantajosa comparada com a importação. A visão da Petrobrás é não deixar o país vulnerável aos cartéis da área de petróleo como ocorreu na década de 70. Por mais investimentos que sejam feitos nesta área, a Petrobrás não conseguirá suprir a demanda já que a mesma será de 1.500 mil BPD e a produção chegará em 1997 a 1050 mil BPD.

Com a crise do petróleo de 79, o país organizou-se e desenvolveu um modelo energético que valoriza a produção de petróleo, carvão mineral,

as biomassas, a eletrotermia e o álcool. Houve um crescimento de 253% na produção de 1979 até 1986 e mais 10% até 1992 (Petrobrás, 93).

O esforço nacional para diminuir as importações de petróleo e seus derivados provocou uma grande mudança no consumo. Foram adotadas para isso política de importação e exportação de petróleo e seus derivados, a introdução de alterações no parque de refino, através da modificação de unidades já existentes e a construção de novas unidades.

O óleo *diesel* e o óleo combustível são os derivados de petróleo tradicionalmente utilizados na geração de energia elétrica. O óleo *diesel* é utilizado em grupos diesel e em turbinas a gás. O óleo combustível é principalmente utilizado nas centrais termelétricas convencionais.

Com o esforço de mudança no perfil de oferta de derivados de petróleo, com o objetivo de aumentar a produção de óleo diesel, foram ofertados resíduos do petróleo com preços 70%,50% e 40% abaixo. São eles resíduos de vácuo (RV), resíduos asfáltico(RASF) e coque de petróleo.

Algumas centrais termelétricas estudam a possibilidade de utilizarem estes resíduos como combustível.

Existe muita insegurança quanto ao custo do óleo combustível para a geração de energia elétrica. Uma central termelétrica tem vida útil de 25 anos; logo, o custo adotado para o óleo combustível deve ser representativo do valor médio esperado durante a vida útil da central.

Termelétricas convencionais a óleo combustível são centrais tipicamente destinadas a operar em complementação térmica. Neste tipo de operação é possível baixar-se o custo de 69,7 US$/Mwh para 50 US$/Mwh, custo semelhante ao da energia nuclear e maior que o do carvão.

TABELA 2.10 -CUSTO DE REFERÊNCIA DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE EM CENTRAIS A ÓLEO COMBUSTÍVEL

Discriminação	**US$**
Custo de investimento	19.6 US$/Mwh
Operação e manutenção	1.4 US$/Mwh
Combustível	48.7 US$/Mwh
Custo de geração	69.7 US$/Mwh
Dados básicos utilizados	
Custo de construção	1.000 US$/Kw
Juros durante a construção	250 US$/Kw
Custo de investimento	1.250 US$/Kw
Taxa de atualização anual	10%
Vida útil	25 anos
Fator de capacidade	80%
Tempo de construção	5 anos
Potência líquida da central de referência	400 Mw
Poder calorífico do óleo combustível	10.000 Mcal/ton.
Rendimento da usina	35%
Preço do óleo combustível	200 US$/t
Preço internacional do petróleo	30 US$/b

Fonte: Plano 2010 da Eletrobrás

A utilização destes resíduos trás com eles alguns problemas:

- o custo de instalação das usinas aumentará;
- o seu alto teor de enxofre implicará ou no afastamento das centrais dos grandes centros consumidores ou na instalação de equipamentos para dessulfurização dos gases de combustão, provocando aumento de custo na geração;
- as usinas deverão estar próximas às refinarias.

Estuda-se a possibilidade de utilizar centrais de ciclos combinados em substituição às usinas convencionais. O ciclo combinado apresenta um custo de geração inferior, devido a um menor investimento unitário e a um maior rendimento global da central. Porém, esta alternativa também apresenta alguns problemas:

• limitações na utilização de derivados pesados, que necessitam de tratamento especial para eliminação de metais e outros componentes, ou a adição de uma grande quantidade de óleo diesel;

• limitações quanto ao regime de operação, havendo dúvidas sobre as possibilidades de utilizá-las em regime de base, como é usado no Brasil.

A utilização em larga escala de derivados de petróleo nos grandes sistemas interligados não é viável pelo plano 2010. A primeira razão é que o custo de geração seria superior ao das hidroelétricas. É preciso considerar também que as perspectivas da produção nacional de petróleo não permitem supor a auto-suficiência do país. Assim, seria muito arriscado lançar grandes programas de construção de centrais deste tipo.

2.2.4 Gás *natural*

As reservas brasileiras de gás natural cresceram em relação à produção de petróleo, porém ainda representam um crescimento modesto em relação às reservas de petróleo. São equivalentes a 580 milhões de barris de petróleo, o que representa cerca de 25% das reservas de petróleo.

A produção brasileira de gás natural veio a se desenvolver a partir de 1986, quando atingiu 15,6 milhões de m^3 cúbicos por dia, o que eqüivale a 98 mil barris por dia. 86% deste valor correspondem ao gás associado à produção de petróleo.

Atualmente a maior parte do gás é queimada por não ter aproveitamento, mas espera-se que com o incentivo do uso possa vir a crescer muito mais. A tabela 2.11 mostra o destino que é dado ao gás produzido.

As perspectivas futuras de utilização do gás no Brasil é de uma produção de 35 milhões de m^3/dia.

O plano Nacional do gás estabeleceu três hipóteses:

1. considerar somente os campos já descobertos;

2. considerar além da produção da bacia de Santos, um adicional de 10 milhões de m^3/dia proveniente do campo gigante considerado como o de Albacora;

3. consideram novas descobertas.

TABELA 2.11 - DISTRIBUIÇÃO DE CONSUMO DE GÁS NATURAL (10^3 M^3/DIA)

Destino	10^3 m^3/dia	(%)
Reinjeção e consumo próprio	4.643	28,9
Uso em caldeiras e fornos	4.478	27,9
Queima sem aproveitamento	3.035	18,9
Matéria-prima para Amônia e Uréia	1.453	9,0
Produção de GLP e Gasolina	1.113	7,0
Produção de gás de rua	572	3,6
Matéria-prima para petroquímica	378	2,4
Redutor siderúrgico	365	2,3
Total	16.037	100,0

Fonte: Plano Nacional do Gás - CNE, 1987

O custo da geração de energia elétrica a gás será considerado aproximadamente igual ao do óleo combustível, segundo o plano do ano 2010. É justificado não só porque a tecnologia utilizada nas usinas que utilizam gás é semelhante a de óleo e os preços costumam evoluir da mesma forma. Entretanto, as perspectivas de se continuar utilizando o gás natural para gerar energia são pequenas, devido a seu custo e à disponibilidade do produto. Ele poderá ser utilizado em diversas regiões no futuro com outras finalidades que não a geração de energia.

2.2.5 Hidrelétricas

O setor elétrico brasileiro teve seu impulso inicial com a instalação de grupos estrangeiros que aqui aplicaram recursos financeiros e tecnológicos na geração, transmissão, distribuição e utilização de energia elétrica. Autorizada a operar no Brasil a partir de 1899, a The São Paulo Railway, Light and Power Company Limited firmou contrato com a prefeitura de São Paulo, que lhe concedeu a produção, utilização e venda de eletricidade, implantação e operação de linhas férreas, telegráficas e telefônica. Dois anos depois, em 1901, essa empresa inaugurou a primeira represa, de grande porte para a época: a usina hidroelétrica de Parnahyba, no rio Tietê.

A Eletrobrás foi criada em 1961 com o objetivo de coordenar uma política de crescimento do setor que passava por sérias crises. Sua importância foi destacada, pois a partir da sua criação se organizou melhor o processo de investimento, custos e desenvolvimento do setor. A Eletrobrás passou a coordenar outras empresas que trabalhavam em diversas regiões com eletricidade como: Furnas, Eletronorte, Chesf, Eletrosul e outras.

A Eletrobrás delimitou as áreas de atuação das diversas empresas regionais voltadas para a geração e transmissão de energia. O conjunto de empresas que constitui o setor elétrico brasileiro é formado por 60 empresas locais ou estatais e quatro regionais.

A hidreletricidade é a base do suprimento energético do Brasil, produzida por usinas de grande porte, situadas freqüentemente distantes dos centros consumidores. A escala dos empreendimentos e o volume da energia a transmitir são consideráveis e exigem um investimento elevado. A construção de uma usina e de suas linhas de transmissão, por outro lado, requer em prazos, desde a decisão pela obra até o início da geração,

superiores a cinco anos. Isso impõe planos de longo alcance ao setor para programar, a tempo, os suprimentos energéticos.

A energia hidráulica é transformada em energia elétrica, empregando a força das águas de um rio ou reservatório para girar as turbinas hidráulicas que acionam os geradores.

Para gerar uma produção constante de energia elétrica dois componentes são importantes:

a) um reservatório de acumulação de água capaz de reter as águas no tempo de chuvas para uso nos períodos de escassez;

b) um sistema de controle nas turbinas, para ajustar o caudal às demandas de energia solicitadas pelos consumidores.

Através de condutos forçados, túneis e canais, a água chega até as turbinas, que se encontram junto dos componentes hidráulicos, mecânicos e elétricos onde está a casa de força.

O potencial hidráulico do Brasil é muito grande. A experiência da Eletrobrás tem mostrado que, além do potencial já inventariado, existem outras fontes que poderiam ser acrescentadas.

A hidreletricidade se destaca por ser "extraída" da água, um recurso renovável, não poluente, sem resíduos e reutilizável a jusante, para o mesmo fim. A energia hidrelétrica é um dos sistemas que melhor se enquadra no conceito de desenvolvimento sustentável.

Em 1978, a Eletrobrás chegou ao número de 106.705 Mw/ano de potência, sendo que 24.500 Mw/ano em operação ou construção, 82.200 Mw/ano, numa parte inventariado e noutra estimado (Müller, 1996). Até 1991, esse potencial era de 129.111.397 Mw/ano, sendo que 24% em operação, 36% em fase de inventário, viabilidade e projeto e 40% estimados.

O plano do ano 2015 da Eletrobrás prevê o início de operação de 45 novas usinas de capacidade instalada elevada, aumentando para 73.988 MW a capacidade de geração de energia.

A história das grandes barragens brasileiras é relativamente recente. Até 1950, só havia, no Brasil, 67 barragens, das quais 31 atendiam à regularização de vazão e abastecimento de água no Nordeste, 26 para a geração hidrelétrica e dez para outras finalidades.

Entre 1960 e 1980, foram postas em operação mais de 66 barragens hidrelétricas, enquanto 101 serviam para outras finalidades.

Em 1990, eram 343 com aproveitamento hidráulico e 124 destinadas à geração de energia elétrica, quatro para navegação, 72 para abastecimento, 37 para irrigação, 3 para piscicultura, 76 para serem regularizadas, 12 para o controle de cheias e mais 15 barragens destinadas a usos diversos, como a proteção ambiental (Müller, 1996).

Os 37,9% das barragens de concessionárias de energia elétrica acumulam 95% de todo o volume de água represado no Brasil.

Os reservatórios de cerca de 60 das maiores hidroelétricas brasileiras inundam uma área de 24 mil km^2 que corresponde a 0,28% do território nacional.

O parque gerador de energia elétrica é constituído por usinas hidrelétricas, que correspondem a 90% da potência instalada. As usinas termelétricas são utilizadas atualmente para suprir os requisitos de localidades isoladas ou para a completamentação do sistema nos períodos hidrologicamente secos.

O sistema elétrico brasileiro é constituído por dois grandes subsistemas interligados, sudoeste-centro-oeste-sul e nordeste-norte. Deste se destacam Manaus e os estados de Rondônia e Acre.

As principais características que distinguem o sistema elétrico brasileiro são:

➔ disposição de grande potencial hidroelétrico para a sua ampliação;

➔ grandes distâncias entre as usinas e os principais centros de carga, características que deverão se acentuar no futuro;

➔ grande volume de armazenamento dos reservatórios, que permite a regularização dos reservatórios plurianual;

→ diversidade hidrológica entre as bacias hidrográficas.

A potência instalada, em 31 de dezembro de 1986, atingiu 42.710 MW, distribuídos conforme tabela 2.12 :

TABELA 2.12 - POTÊNCIA INSTALADA ATÉ 1986

Região	**Total**		**Hidráulica**		**Térmica**	
	(MW)	(%)	(MW)	(%)	(MW)	(%)
Norte	3.015	7,1	2.049	4,8	966	2,3
Nordeste	6.216	14,6	5.652	13,2	565	1,3
Sudeste	23.762	55,6	21.843	51,1	1.919	4,5
Sul	6.268	14,7	5.581	13,1	687	1,6
C. Oeste	649	1,5	554	1,3	95	0,2
Itaipu	2.800	6,5	2.800	6,6	-	-

Fonte: Plano 2010 Eletrobrás

O volume máximo atinge 324.790 milhões de metros cúbicos permitindo um grau elevado de regularização, capaz de manter as afluências médias, sem a contribuição das vazões naturais, por um período de 4,4 meses. A tabela 2.13 apresenta algumas das usinas existentes no Brasil geradoras de energia elétrica.

TABELA 2.13 - POTENCIAL HIDRELÉTRICO BRASILEIRO

Usina	Estado	Potência Instalada (Mw)
Balbina	AM	250
Coaracy Nunes 1	AP	40
Funil	BA	30
Paulo Afonso 1	BA	180
Paulo Afonso 2A	BA	215
Paulo Afonso 2B	BA	228
Paulo Afonso 3	BA	800
Paulo Afonso 4	BA	2.460
Sobradinho	BA	1.050
Moxotó	BA/PE	400
Mascarenhas	ES	123
Suiça	ES	34
Cach. Dourada	GO	448

Itumbiara	GO/MG	2.228
Camargos	MG	48
Emborcação	MG	1.192
Furnas	MG	1.312
Itutinga	MG	54.5
Jaguara	MG	412
Marimbondo	MG	1.488
Peixoto	MG/SP	478
Nova Maurício	MG	32.1
Porto Colômbia	MG	328
Sá Carvalho	MG	48
Salto Grande	MG	102
Três Marias	MG	396
São Simão	MG/GO	1.680
Volta Grande	MG/SP	380
Curuá-Una	PA	30
Tucuruí 1	PA	3.890
Itaparica	PE/BA	1.500
Boa Esperança	PI	216
Foz da Areia	PR	1.676
Guaricana	PR	36
Itaipu (Binacional)	PR	6.300
Júlio Mesquita Fo.	PR	50
Parigot de Souza	PR	252
Salto Ósorio	PR	1.050
Salto Santiago	PR	1.332
Fontes Nova	RJ	123
Funil	RJ	222
Ilha dos Pombos	RJ/MG	159
Nilo Peçanha 1	RJ	380
Pereira Passos	RJ	100
Samuel	RO	86.4
Canastra	RS	42.5

Itaúba	RS	500
Jacuí	RS	180
Passo Fundo	RS	220
Passo Real	RS	140
Alecrim	SP	72
Álvaro de S. Lima	SP	144
Americana	SP	34
Armando Laydner	SP	97.8
A.S.Oliveira	SP	32.2
Barra Bonita	SP	140.8
Caconde	SP	80.4
Estreito	SP	1.104
E. de Cunha	SP	108.8
Fumaça	SP	35.2
Henry Borden 1-2	SP	880
Ibitinga	SP	132
N. Avanhandava	SP	303
Paraibuna	SP	86
Promissão	SP	264
Salto Iporanga	SP	36.3
Água Vermelha	SP/MG	1.380
Ilha Solteira	SP/MS	3.230
Jupiá	SP/MS	1.414
Capivara	SP/PR	640
Lucas N. Garcez	SP/PR	72
Rosana	SP/PR	80
Xavantes	SP/PR	416
Total		45.756

Fonte: Plano 2015, Eletrobrás,1993

As condições hídricas favoráveis do território brasileiro, aliadas à indisponibilidade de outras fontes energéticas, como o gás natural, o carvão

e derivados de petróleo, levaram-nos ao maior vulto de investimentos na implantação de hidrelétricas.

Um outro tipo de potencial citado por Müller e levado em conta pela Eletrobrás no potencial hidrelétrico do país são as pequenas centrais hidrelétricas PCH. Elas foram definidas em 1982 com as seguintes características pela legislação:

1. operação em regime de fio d'água ou de regularização diária;
2. provisão de barragens e vertedoros com altura máxima de 10 m;
3. sistema adutor formado apenas por canais a céu aberto e/ou tubulações, não utilizando túneis;
4. suas estruturas hidráulicas de geração devem prever, no máximo, uma vazão turbinável de 20 m^3/s;
5. lotação de unidades geradoras com potência individual de até 5 Mw;
6. potência instalada total de até 10 Mw.

As pequenas centrais podem ser de fio de água ou acumulação e podem ser instaladas quando:

* a vazão mínima do rio é maior do que a descarga necessária para atender à demanda de energia elétrica.

E elas podem ser de acumulação quando a vazão do curso de água não for suficiente para suprir a descarga do sistema gerador.

O potencial brasileiro aproveitável através das pequenas centrais hidrelétricas é de cerca de 7 Gw, que representam 5% da capacidade instalada. Este número é significativo em sistemas isolados.

Desde a década de 80, quando os problemas climáticos começaram a surgir de forma mais séria, as grandes cidades começaram a se preocupar com o efeito estufa, com a poluição galopante de rios e lagos; o governo também começou a se preocupar com a criação de grandes hidrelétricas, que além do custo econômico, tinham um custo social elevado. A criação de novos projetos não levava em conta somente o potencial econômico que

possuía o rio, mas os problemas sociais e ambientais que poderiam ser causados com a criação de um grande lago na região.

Os reservatórios, além de produzirem energia elétrica, precisam contribuir para a melhoria de vida da região. Esta foi uma decisão já normalizada, que é utilizada pelas empresas responsáveis pelos projetos de construção de hidrelétricas, para evitar grandes variações no ambiente em que o reservatório vai ser instalado. Este fato trás algumas implicações no projeto, como por exemplo, aumento de custo.

As diferenças entre os rios e reservatórios são bem marcantes desde sua origem básica. Levá-las em conta é importante, pois as mudanças provocadas pela criação de um reservatório no ecossistema são bem significativas. Alguns acham que o fato de fazer um lago só trás benefícios para a comunidade, mas existem conseqüências que serão apresentadas a seguir.

Os rios possuem correntezas que acumulam matéria orgânica em suas margens e fundo. Possuem baixos teores de nutrientes na nascente. As populações que vivem nos rios se adaptam às mudanças do meio ambiente, tornando o nicho ecológico mais amplo. Ao longo do rio ocorre uma maior estabilidade à medida que se aproxima de sua foz.

Os lagos são sistemas fechados, de grande estabilidade, com profundas interações físicas, químicas e biológicas. As características físicas das águas sofrem, da superfície para o fundo uma graduação, de acordo com a penetração da luz, o que determina conseqüências químicas e biológicas.

A tendência de todos os lagos é desaparecer devido à deposição de materiais diversos no fundo. A luz só penetra até uma determinada profundidade. O material depositado no fundo do rio é mineralizado nas camadas sedimentares. O aumento da matéria orgânica em certas condições de temperatura e baixa troca das águas do lago propicia novos estágios evolutivos, que aceleram o seu desaparecimento pelo assoreamento orgânico (Müller, 1996). Esta seria uma situação que

ocorreria ao longo de algum tempo sem se levar em consideração a poluição.

Com a poluição industrial e de diversos esgotos que são depositados nos rios que formam o conjunto de abastecimento dos lagos das usinas hidrelétricas, o processo de sedimentação é acelerado.

As grandes hidrelétricas causam muitos problemas no meio ambiente. Os cuidados e os custos para a fabricação de uma nova unidade cresceram ainda mais com os vários efeitos no meio ambiente. O custo de construção cresce devido à variação no sistema econômico, além do problema social comunidades inteiras são retiradas de suas casas, terras, padrões sociais e climáticos para viverem em outra realidade.

2.2.6 Outras fontes de energia

Outras formas de energia vêm sendo estudados em vários países do mundo. Os resultados destes trabalhos estão sendo aplicados à medida que se desenvolvem, como é o caso da energia eólica e solar. Existem diversos inconvenientes quantificados e que poderão ser superados com a descoberta de novas tecnologias.

As energias do vento, do sol e das ondas parecem bem mais limpa do que as concorrentes. Excetuando-se a energia solar, elas não oferecem riscos de catástrofe ambiental, não ocupam espaços. Segundo o Banco Mundial, a energia solar poderia, teoricamente, suprir entre cinco e dez vezes o atual consumo de eletricidade de todos os países em desenvolvimento, e ocuparia uma área menor do que as usinas hidrelétricas de hoje. Logicamente, o preço da produção precisa estar abaixo da produção de energia por combustíveis fósseis.

Na geração de energia elétrica, as fontes renováveis parecem ter melhores perspectivas. O custo da eletricidade termal solar - a que usa a luz do sol para aquecer o ar ou a água - está caindo. O mesmo ocorre com a

energia da biomassa, produzida pela queima de fibras vegetais. Mas as tecnologias mais animadoras são as células fotovoltaícas e a energia eólica.

As células fotovoltaícas (dispositivos com semicondutores que geram eletricidade diretamente dos raios solares) foram usadas pela primeira vez na década de 50, para fornecer energia a estações espaciais. Hoje, abastecem dezenas de milhares de lares em regiões rurais de países pobres como Quênia, África do Sul e Brasil, freqüentemente, sem subsídios governamentais. Uma combinação de ciência avançada e economia de escala reduziu o custo de módulos de células fotovoltaícas em 5% do que custavam na década de 1970(Gazeta Mercantil, 1995).

Cada quilowatt-hora(Kwh) de eletricidade gerada pelas células ainda é bem mais caro do que o Kwh produzido numa usina termelétrica, queimando um combustível fóssil.

As células fotovoltaícas são, muitas vezes, competitivas porque seus custos de distribuição são muito menores. Instalar uma rede de transmissão ligando as usinas termelétricas aos novos consumidores pode exigir custo muito elevado. Mas os módulos de células fotovoltáicas podem ser instalados diretamente nas residências.

A energia eólica possui um custo quase igual ao dos combustíveis fósseis. Nos últimos 20 anos, seu preço caiu de cerca de US$ 0,30 por Kwh para aproximadamente US$0,05 nas melhores localizações. As turbinas eólicas tornaram-se maiores e as pás foram projetadas de modo a captar o vento com mais eficiência (Gazeta Mercantil, 1995).

A energia eólica costumava depender de subsídios, especialmente na Califórnia, que tem mais da metade da capacidade mundial de turbinas eólicas ligadas a uma rede de transmissão. Hoje, as melhores usinas eólicas já são competitivas, afirma Roger Booth, chefe de energias renováveis da Califórnia.

No Brasil, vários estados vem desenvolvendo estudos sobre a utilização da energia eólica. O Ceará tem um projeto em desenvolvimento em parceria Japão e governo estadual para o desenvolvimento de torres de

geração de energia. O projeto hoje atua com quatro torres de geração, gerando 7,2 Mw/dia. A tecnologia utilizada está sendo conhecida e é de fácil domínio, estudos paralelos como o estudo dos ventos (velocidade, direção) são alguns dos estudos preliminares antes da montagem das torres de geração propriamente ditas.

A Petrobrás tem desenvolvido diversas pesquisas com o xisto, carvão, *Diesel* e outros tipos de compostos para a geração de novos combustíveis. Abaixo apresentamos as pesquisas que estão sendo realizadas pela Petrobrás e Eletrobrás.

2.2.6.1 Xisto

A utilização do xisto deve ocorrer, principalmente, através dos processos:

- retortagem;
- retortagem de superfície de granulados;
- retortagem de superfície de finos;
- combustão direta;
- retortagem "in situ".

A alternativa tecnológica de retortagem do xisto em retortas de superfície apresenta maior interesse devido às características de capeamento das principais jazidas de xisto conhecidas.

A retortagem na boca da mina é realizada com material granulado para xistos com alto índice de friabilidade; assume grande importância a retortagem com o material fino.

A grande vantagem na utilização do xisto através da retortagem é produzir um óleo semelhante ao petróleo, não implicando em alterações no parque de refino brasileiro.

O planejamento da Petrobrás para a industrialização do xisto prevê a produção de 200.000 b/d de óleo de xisto até o ano 2000, com a construção escalonada de usinas de xisto nas jazidas de São Mateus do Sul/PR, Rio

Negro e Rio Iguaçu/Pr, Paponduva- Três Barras/SC e São Gabriel - Dom Pedrito/RS, considerando-se plantas de retortagem Petrosix, plantas de retortagem de finos e plantas de combustão de xisto retortado.

2.2.6.2 Gaseificação de carvão mineral

Destaca-se como fonte energética devido à queima direta, por exemplo, na geração de energia elétrica; à gaseificação, para a geração de gás combustível, ou gás de síntese, ou sua liquefação para a obtenção de hidrocarbonetos líquidos.

A forma mais difundida e de uso mais extensivo, há muitas décadas, tem sido a queima direta. A gaseificação, contudo, transforma o carvão num combustível preferido pelas facilidades técnicas e operacionais de uso, transporte e controle ambiental.

A qualidade do gás de carvão é função do processo de gaseificação. O gás pode ser classificado, de acordo com seu poder calorífico, em: de baixo ou gás pobre, de médio e alto poder calorífico (SNG). Seus usos são determinados da seguinte maneira:

- Gás de baixo poder calorífico (1000 a 2200 Kcal/Nm^3). Na obtenção deste gás, o agente gaseificador é sempre a mistura ar/vapor; seu uso é para aquecimento industrial, secadores, motores, fornos, caldeiras, etc..
- Gás de médio poder calorífico (2200 a 5000 Kcal/Nm^3). É o gás obtido pela gaseificação com oxigênio e vapor, sendo usado como gás de cidade, gás de síntese, gás para redução direta, etc..
- Gás de alto poder calorífico ou gás natural sintético (8500 a 9000 Kcal/ Nm^3). É obtido pela metanação do gás de médio poder calorífico e usado como combustível industrial e municipal.

Os projetos em desenvolvimento, uma vez concluídos, produzirão conjuntamente 2.320.000 Nm^3/d de gás que eqüivaleria à substituição de 3.000 bep/d aproximadamente.

A prioridade estabelecida pelo Ministério das Minas e Energia é a de promover a utilização do carvão mineral em substituição ao óleo combustível, e neste sentido a alternativa tecnológica de gaseificação do carvão mineral assume particular significancia por representar uma oportunidade mais imediata - logo abaixo da queima direta - e que, em contra partida, trás a vantagem de não exigir a substituição de considerável investimento de capital já realizado com base no uso do óleo combustível.

2.2.6.3 Mistura de óleo combustível e carvão (MOC)

Através de pesquisas têm-se desenvolvido um produto que permite substituir óleo combustível queimado em fornos e caldeiras, com as seguintes vantagens:

- utilização de matéria-prima de custo inferior (carvão);
- utilização da mesma infra-estrutura existente para o transporte de óleo combustível;
- utilização, com pequenas modificações, dos mesmos equipamentos projetados para óleo combustível e nos quais não se pode queimar diretamente carvão pulverizado;
- permitir a conversão parcial para uso de carvão dos usuários que, por limitações de espaço físico para estocagem e manuseio de sólidos, estariam alijados do uso de energia alternativa.

As perspectivas são utilização do MOC em:

- caldeiras de pequeno porte (correspondem a 40% das caldeiras brasileiras) cuja freqüência operacional permita eventuais paradas para a remoção manual das cinzas acumuladas;

- indústrias de cimento (correspondente a 30% das consumidoras de óleo combustível) que incorporam a cinza ao clínquer;
- indústrias siderúrgicas, nos equipamentos de geração de calor em que a presença de cinzas não comprometa a qualidade dos produtos.

2.2.6.4 Craqueamento de mistura gás-óleo e óleo vegetal

A tecnologia envolve processamento de óleos vegetais puros ou em mistura com gás-óleo em unidades de craqueamento catalítico da Petrobrás, cuja capacidade instalada é de 45.000 m^3/d, para a obtenção de hidrocarbonetos comerciais. Foram realizados testes no CENPES e em unidades industriais, adotando-se temperaturas de reação e catalisadores usualmente utilizados no craqueamento do gás-óleo. Os resultados obtidos permitem concluir que o craqueamento de 10% de óleo de soja em mistura com gás-óleo não modifica substancialmente os rendimentos por produto obtido, qualidade dos produtos e condições de operação, quando comparados com a operação com gás-óleo.

2.2.6.5 Dupla alimentação de diesel e combustível alternativo

O óleo diesel constitui uma das frações do petróleo, e é consumido predominantemente em veículos de transporte de cargas, e coletivos, providos de motores de ciclo diesel.

As alternativas, usando a substituição do óleo diesel, são as seguintes:

- Mudança na estrutura de refino do petróleo. Esta alternativa já tem sido posta em prática pela Petrobrás no que se convencionou chamar projeto de "fundo de barril", que consiste no craqueamento de óleos pesados de forma a

aumentar a fração diesel. Os resultados já alcançados elevaram este percentual de 21% para 32% em 1982.

- Utilização dos óleos vegetais. Seu uso já foi definido pela Comissão Nacional de Energia como um substituto adequado ao diesel.
- Dupla alimentação diesel e combustível alternativo. Os combustíveis alternativos que são objetos de pesquisa e desenvolvimento neste processo são: álcool, gás natural e gás pobre.

2.2.6.7 Dupla alimentação diesel e álcool

Consiste no fornecimento simultâneo ao motor desses dois combustíveis, através de sistemas independentes: o de óleo diesel, já disponível no motor original, e o de álcool, especialmente projetado para o fornecimento deste combustível.

O objetivo principal é a verificação da viabilidade de substituição parcial do óleo diesel consumido pela frota nacional circulante, por meio de um processo simples e econômico, que não modifique as características de desempenho e concepção dos motores originais.

No processo, o sistema de alimentação de álcool é acoplado ao motor através de válvula dosadora no sistema de admissão de ar. O consumo apresentado aumenta em cerca de 15% devido à diferença do poder calorífico do diesel e do álcool.

Nos testes iniciais:

- a adaptação da alimentação de álcool, que é feita sem grandes mudanças no motor, trás a vantagem de poder ser incorporada ou retirada, sem prejudicar o motor;
- o sistema funciona com bons resultados quando se trata de tráfego livre, sem paradas e arranques múltiplos. Nas

estradas, a eficiência é boa, mas o mesmo não se dá nos casos do tráfego urbano;

- em quaisquer aplicações, o desempenho do motor duplo alimentado será tanto mais eficiente quanto maior for o aperfeiçoamento do dispositivo de controle de alimentação de álcool.

O sistema desenvolvido com apoio do CNP possibilita a redução de cerca de 25% do volume de óleo diesel consumido para o funcionamento do motor, sem alterar a geometria do mesmo.

2.2.6.8 Dupla alimentação diesel e gás pobre

- Gaseificador de fluxo vertical ascendente - Este tipo de gaseificador tem seu emprego voltado apenas para a produção de gás de utilidade térmica, quando emprega a lenha diretamente, tendo em vista sua impropriedade para a destilação dos ácidos pirolenhosos e do alcatrão.
- Gaseificador de fluxo vertical descendente - Foi projetado especialmente para craquear o alcatrão e os demais subprodutos da gaseificação da madeira. O equipamento é apropriado ao emprego na geração de eletricidade, através de máquinas de combustão interna, utilizando lenha como combustível.
- Gaseificador de fluxo cruzado - Embora alcance temperaturas elevadas, de aproximadamente 2000º C, não é indicado para ser alimentado por combustível contendo hidrocarbonetos pesados. É o equipamento que oferece os melhores resultados para a geração de eletricidade a partir da gaseificação do carvão vegetal.

O programa da Eletrobrás tem como objetivo aferir os desempenhos indicados dos gaseificadores disponíveis no mercado através de testes e da verificação de operações em regime contínuo, com simulações de cargas reais, incluindo ainda o projeto e a construção de um gaseificador aperfeiçoado.

Procurando-se critérios para a definição destas famílias no estabelecimento das potências individuais necessárias ao atendimento das demandas de energia das comunidades isoladas, seguidos do levantamento das potências dos grupos diesel-elétricos já instalados e em operação, chegou-se aos seguintes números representativos, padronizados também pelos fabricantes: 60 Kva, 150 Kva, 250 Kva e 500 Kva.

O potencial de substituição pode ser avaliado se considerarmos o consumo de cerca de 400.000 m^3 /ano de diesel registrado em 1981, para a geração de energia elétrica e força motriz. Aproximadamente 20% deste consumo pode ser substituído por gás pobre até o ano de 1985, o que eqüivale a uma substituição de 1.300 bep/d.

2.2.6.9 Carbonização de babaçu

É um sistema de processamento do coco de babaçu para a produção de carvão e aproveitamento dos gases condensáveis. Para tanto instalou-se em Teresina-PI uma usina piloto com duas linhas de produção: a primeira com capacidade instalada de 250 t/mês, totalizando 1000 t/mês de carvão vegetal.

No processo de carbonização, há uma grande produção de vapores que podem ser condensados obtendo-se um líquido que se chamou de " alcatrão combustível", que na realidade é uma mistura de alcatrão, metanol, acetato, etc. A quantidade produzida deste "alcatrão combustível" na primeira linha é de 150 t/mês, totalizando 600 t/mês nas duas linhas.

O rendimento aproximado é de 25% de carvão e 20% de alcatrão em relação à casca de babaçu utilizada a 20% de umidade.

O carvão produzido nesta usina tem um alto teor de carbono fixo, maior que 80%, e um baixíssimo teor de enxofre, menor que 0,1%, o que torna apto para usos nobres como em siderurgia fina.

O "alcatrão combustível", que é um subproduto da carbonização da casca do babaçu, está sendo utilizado pelas indústrias localizadas próximas à usina-piloto. O poder calorífico superior do alcatrão utilizado é da ordem de 5.500 Kcal/Kg.

2.2.6.10 Gaseificação de biomassa

A gaseificação de biomassa é um processo bastante antigo utilizado para converter um combustível sólido em combustível gasoso, que apresenta melhores características de transporte, maior eficiência na queima, maior facilidade de armazenamento e melhor adaptação aos combustores e motores existentes atualmente. Elas podem ser agrupadas em:

- leito fixo co-corrente;
- leito fixo contracorrente;
- leito fixo cruzado;
- leito fluidizado.

2.2.6.11 Fermentação alcóolica de amiláceos

A tecnologia de produção de etanol a partir de material amiláceo pode ser empregada em substituição ou complementação à de produção de etanol a partir de materiais sacaríneos, e dependendo da matéria-prima processada, pode ser utilizada em âmbito nacional ou regional.

Baseando-se em tecnologias desenvolvidas, a implantação de usinas produtoras de álcool a partir de amiláceos, tem como vantagem principal diversificar a matéria-prima utilizada.

Essa diversificação possibilita o emprego de cultura como a da mandioca, que ocorre em todo o território nacional, devido à sua condição de adaptabilidade a climas e solos diferente, o que possibilita o uso de terras com pouca fertilidade.

2.2.6.12 Aproveitamento de resíduos industriais e urbanos

Os resíduos orgânicos já participaram do balanço energético nacional (BEN), através dos autoprodutores de energia elétrica como as cimenteiras, em substituição ao óleo combustível, e em indústrias de papel e celulose num total superior a 10.000 bep/d. Os principais problemas para o uso dos resíduos orgânicos estão relacionados com sua disponibilidade e concentração.

São as seguintes as tecnologias que estão atualmente em uso no Brasil: digestão anaeróbia, combustão direta, gaseificação e carbonização.

- Resíduos industriais - Diversos resíduos orgânicos têm sido utilizados: vinhoto, lodo de esgoto, resíduos decorrentes de matadouros, frigoríficos e indústrias correlatas. Dentre estes, o vinhoto assume importância tanto pela concentração de grandes volumes como pelo seu efeito poluidor.
- Resíduos urbanos - Para fins energéticos, tem sido dispensada maior atenção à combustão direta para a geração de calor, com ou sem processamento prévio do lixo coletado.

O processamento prévio conduz a uma separação das frações combustíveis, as quais podem ser utilizadas no seu estado natural de agregação, nas imediações do local de processamento, ou em forma de briquetes, quando seu uso se dá em locais mais distantes.

Os resultados dos estudos efetuados de caracterização do lixo como combustível e da viabilização de implantação de um sistema de usinas termelétricas com o lixo no município de São Paulo evidenciaram entre outros aspectos:

- que é a solução de longo prazo mais adequada para a eliminação do lixo de grandes cidades.

2.2.6.13 Aproveitamento de baixas quedas de água e pequenas centrais hidrelétricas

Como alternativa ao suprimento de energia elétrica às pequenas comunidades remotas ou isoladas, Comumente atendidas por meio de unidades termelétricas consumidoras de óleo combustível ou diesel, abriu-se, entre outras, a possibilidade do aproveitamento dos pequenos desníveis dos cursos de água próximos dessas pequenas comunidades. Ocorrem com freqüência condições favoráveis ao aproveitamento para fins energéticos.

O aproveitamento do potencial das baixas quedas está dirigido para a conversão da energia em eletricidade. Os estudos envolvem a busca de novas tecnologias no sentido de viabilizar, técnica e economicamente, esta conversão.

A implantação destas usinas, em maior escala, viria estimular a indústria nacional na fabricação de equipamentos específicos, com consideráveis benefícios técnicos econômicos e sociais.

2.2.6.14 Termelétrica à lenha

Existem aproximadamente 210 usinas diesel-elétricas instaladas e operando na Região Amazônica e nos Estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Maranhão, com potência variando entre 25 a 2.900 KVA.

As alternativas apresentadas para a substituição deste sistema são as de unidades geradoras de vapor, a partir dos resíduos da biomassa, em particular a lenha, acopladas a um turbo-gerador.

2.2.6.15 Conversão térmica da energia solar

Dentre as diversas tecnologias de aproveitamento da energia solar direta, os sistemas que utilizam coletores planos são os mais desenvolvidos.

Existe uma elevada diversificação de tipos e dimensões adotados pelas empresas que os fabricam. A fabricação dos equipamentos nessas empresas teve por base a experiência anterior adquirida da indústria térmica.

O mercado produtor brasileiro de equipamentos de transformação de energia solar é constituído essencialmente por empresas de iniciativa privada.

Uma das aplicações com maior potencial para o uso da energia solar é o aquecimento a baixa temperatura (até 80°C), basicamente de água, substituindo-se óleo combustível, gás liqüefeito do petróleo, e numa pequena escala, energia elétrica.

A secagem de produtos agrícolas em silos armazenadores de pequeno porte, com ar forçado e aquecimento por energia solar, permite obter melhor qualidade de grãos, menores perdas agrícolas e menor consumo de combustível.

Outra maneira de aproveitamento da energia solar é a dessalinização para a correção da insuficiência da água potável no Nordeste, que é salobra na região. Isto leva esta aplicação da energia solar a ser também considerada como de relevante importância, não tanto pela economia de derivados de petróleo, mas principalmente pelos aspectos sociais de sua utilização.

2.2.6.16 Energia eólica

A energia eólica é a energia cinética contida nos deslocamentos das massas de ar, basicamente provocadas pelo aquecimento desigual da atmosfera resultante da incidência dos raios solares conjugada com a orientação e movimentos da terra. Esta forma de energia na natureza se caracteriza principalmente por ser renovável, de baixa densidade energética e de natureza intermitente.

O aquecimento desigual estabelece um gradiente de pressão atmosférica, e o efeito combinado deste gradiente com o movimento de rotação da terra é a formação de correntes de ar livres a grandes altitudes. Já em altitudes menores, até cerca de 100 m, existe uma camada turbulenta onde, por ser o ar um fluído e ter viscosidade, a velocidade do vento varia com a altitude (devido ao atrito com a superfície) e com o gradiente vertical de temperatura. Assim, o gradiente vertical de velocidade do vento é função do relevo, ou rugosidade do terreno, e do gradiente vertical de temperatura, o qual varia com o tempo. Daí a necessidade de medições do gradiente vertical de velocidade do vento, feitas com torres móveis e anemógrafos.

A influência do relevo é importante mesmo em uma única região. Os ventos tendem a ser canalizados no sentido de vales, estuários e cursos d'água. Tais variações topográficas são particularmente importantes nas proximidades do litoral, onde o contorno litorâneo pode influenciar as condições de vento. É importante ressaltar que até mesmo em uma região considerada de baixo potencial eólico alterações no relevo (um vale sinuoso, por exemplo) podem provocar mudanças significativas nas condições locais dos ventos.

A intermitência com que estes sopram influi fortemente no modo de captação, conversão e aproveitamento da energia eólica, inclusive nos custos da energia gerada. O vento raramente flui a uma velocidade

constante nas proximidades da superfície e, devido à baixa viscosidade do ar, torna-se turbulento a baixas velocidades, o que contribui para a fadiga das máquinas eólicos e influi diretamente na vida útil das mesmas.

Outra caracterísicas é que a densidade do ar, por ser muito baixa, leva à necessidade de se interceptar uma grande área de corrente de ar para que se possa captar uma quantidade razoável de energia disponível(Plano 2015, Eletrobrás).

Vários países europeus, EUA, Rússia vem estudando a força dos ventos e utilizando o potencial de seus países para gerarem energia alternativas. Essas tentativas estimularam o Brasil que também tem realizado estudos em diversos estados do Nordeste, como Pernambuco, Ceará, Fernando de Noronha, Bahia, Campo Grande e outros Estados. Os investimentos tem sido grandes e espera-se ter resultados em curto prazo.

2.2.7 Combustão do bagaço de cana

O bagaço de cana, com poder calorífico inferior de 1.700 Kcal/Kg, com 50% de umidade, tem um grande potencial de aplicação como combustível, uma vez que a produção de álcool no país vem crescendo rapidamente nos últimos anos para atender às metas estabelecidas pelo governo.

As destilarias e usinas anteriormente instaladas no país foram projetadas levando em consideração uma sobra teórica de apenas 30% de bagaço, sendo que este valor pode chegar a 50% em decorrência da introdução de equipamentos mais modernos que otimizariam o balanço destes empreendimentos e contribuiriam com uma parcela de bagaço, com possibilidade de ser empregado na substituição do óleo combustível.

Levando em consideração que o poder calorífico do óleo combustível é de 10.200 Kcal/kg, serão necessárias, aproximadamente, 5,6 toneladas de bagaço de cana com 50% de umidade na substituição de uma tonelada deste óleo.

O uso do bagaço de cana na geração de eletricidade e principalmente na geração de vapor vem sendo praticado por diversas empresas com êxito.

A substituição do óleo combustível pelo bagaço de cana apresenta apenas algumas restrições quanto à sua viabilidade econômica. Estas restrições têm por origem, principalmente, o problema resultante das distâncias a serem vencidas para o transporte de bagaço de cana, dos centros produtores aos centros consumidores. Sendo o bagaço de cana um combustível de baixa densidade energética, desenvolveu-se uma série de tecnologias que permitem aumentar sua densidade, adaptando sua forma física ao tipo de utilização.

O bagaço é um dos vários subprodutos retirados da cana de açúcar. Ele além de permitir à indústria uma auto suficiência energética, gera uma produção excedente do produto, o que permite o uso deste para alimentação de bovinos - bagaço hidrolisado, como fonte de fibra para a indústria do papel e combustível para outras usinas. Ele possui diferentes partículas cuja média está em torno de 2,5mm, sendo produzido ao redor de 25 a 30% do peso da cana.

Componentes do bagaço:

Fibra% de bagaço	40 a 47%
Sólidos solúveis	01 a 08%
Sólidos insolúveis	02 a 03%
água (Umidade)	45 a 52%
Pol (sacarose)	01 a 04%

Os sólidos insolúveis de natureza inorgânica são compostos por terra e outras matérias estranhas. Os sólidos solúveis formam a fração que se dissolve em água, composto fundamentalmente por sacarose, cuja extração depende das condições técnicas da unidade industrial.

A composição química do bagaço é constituída por:

Celulose	41 a 44%
Hemicelulose	25 a 27%
Lignina	20 a 22%
Sólidos solúveis	02 a 05%
Cinzas	02 a 03%

Do ponto de vista industrial, faz parte da composição do bagaço principalmente o teor de fibra e a sua natureza. A umidade % bagaço, condiciona seu poder calorífico e consequentemente a capacidade de geração de vapor vivo para o processo industrial. Seu poder calorífico é relativamente baixo ao ser comparado com outros combustíveis tradicionais, porém constitui um valioso potencial energético. O bagaço quando comparado a outros combustíveis, observa-se o seguinte:

Óleo BPF	9.500Kcal/Kg(PCI)
Bagaço 50%U	1.800 Kcal/Kg (PCI)
Bagaço 35%U	2525 Kcal/Kg (PCI)

Seu poder calorífico superior (PCS) = 50% umidade é igual a 2540Kcal/Kg de bagaço. O poder calorifico inferior (PCI) = em função dos teores de umidade % do bagaço:

U% Bag	Kcal/Kg Bag.	Kg Vapor/Kg Bag
50%	1.789	2,00
45%	2.032	2,43
40%	2.274	2,83
35%	2.517	3,21

O teor ideal para geração de energia é entre 48 a 52%.

Reduzindo-se a umidade do bagaço poderá se ter um menor consumo de bagaço na geração de energia elétrica.

A disponibilidade de materiais fibrosos é cada dia menor, o que potencializa o produto como matéria-prima na indústria de derivados em seu caráter renovável.

O bagaço pode através da prensagem sofrer enfardamento, o que facilita as operações de transporte e armazenamento, intimamente, ligado a viabilização econômica.

Com uma sobra de 7 a 15%, cerca de 7 milhões de toneladas de bagaço, foram conduzidos trabalhos, inicialmente, na Alemanha e depois no Brasil, a introdução da hidrolização é feita para facilitar a digestão já que o bagaço é um alimento extremamente grosseiro.

O bagaço também pode ser usado para obtenção de celulose, corrugados, fufural e para melhorar a produtividade do solo. No Hawai, se usa já o processo de cogeração de energia elétrica.

CAPÍTULO 3

MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS PARA COGERAÇÃO

3.1 Introdução

Com o desenvolvimento de novas tecnologias para o setor elétrico, a indústria de equipamentos vem atendendo de forma eficiente o setor. O parque supridor do setor elétrico, segundo a Eletrobrás, passou por duas fases: a primeira iniciou-se com a produção dos primeiros equipamentos elétricos e hidromecânicos de grande porte, que ocorreu entre a década de 70 e 80, quando houve a implantação de novas e modernas fábricas e ampliação das demais. Esta foi uma fase em que o país alcançou um nível de produtividade e qualidade capaz de competir com o mercado externo. Atualmente, estamos sem um período de estabilidade causada pelas mudanças feitas pelo governo.

Os equipamentos para a geração de energia elétrica a partir do bagaço de cana são simples. São caldeiras e turbinas que formam um conjunto com os geradores de energia elétrica. À frente apresentam-se resumidamente, as características de alguns destes equipamentos, com base na experiência vivida em uma usina de açúcar e álcool.

No setor de papel e celulose, o processo de cogeração aparece como de fundamental importância; nele, além da produção de energia elétrica (de origem termelétrica) a ser consumida no processo, gera-se vapor necessário

(energia térmica). A situação atual de cogeração no setor de papel e celulose é ainda reduzida (apenas 15,4% das indústrias possuem geração própria, correspondente a 40,8% da energia elétrica total consumida, média brasileira 1991) e depende do tipo de indústria; a maioria das fábricas com autogeração emprega geração térmica, com produção simultânea de eletricidade e vapor (88%); outras utilizam hidroeletricidade, mas o potencial instalado é relativamente pequeno (apenas 12% da energia total gerada no setor são obtidos em hidrelétricas). A geração de energia elétrica, utilizando o vapor do processo, é efetuada de forma independente, em caldeiras.

Nas indústrias de papel, a maior parte da eletricidade consumida é comprada das concessionárias (98% em 1990), pelo fato de não haver disponibilidade de combustíveis na planta. Em geral, a cogeração é efetuada a partir de óleo combustível e/ou lenha queimados em caldeiras de baixa pressão (10 a 12 atm.). O vapor expande em turbinas de contrapressão até 4 atm., em média, para ser utilizado na máquina de papel. Na simulação efetuada para uma indústria de 400 t/d de papel, nas condições mencionadas, o déficit de energia elétrica é elevado: 825 Kw/t/h papel, para um consumo de 930 Kw/t/h.

A curto prazo, as tecnologias disponíveis para aumentar o rendimento do processo de cogeração envolvem aumento de pressão nas caldeiras, e a introdução de turbinas de condensação (pressão abaixo de 1 atm. na saída, com condensador). Apesar das perdas introduzidas pela condensação, a maior potência produzida pela turbina aumenta o rendimento do processo. O vapor é extraído em pressões intermediárias, conforme as necessidades do processo. Neste caso, seria necessária a troca das caldeiras de baixa ou média pressão por caldeiras de alta pressão.

A médio prazo, existe a possibilidade de introdução de turbinas, permitindo aumento considerável no rendimento do processo. As turbinas a gás seriam alimentadas com gás natural; neste processo, os gases de saída podem ser aproveitados para produzir vapor de alta pressão, expandido na turbina. A figura 3.1 mostra um ciclo de uma turbina a gás. Existem também as turbinas a gás com injeção de vapor, também com elevado rendimento.

A mais longo prazo, existe a possibilidade de utilização de turbinas a gás com combustíveis gaseificados, como a lixívia ou a madeira gaseificada.

1a) possibilidade: Aumento de pressão nas caldeiras para a produção de vapor de 60 atm, 450° C; extração para o processo de fabricação de papel a 3,6 atm; introdução de condensado (0,3atm), obtendo-se assim um ciclo CEST (condensing extraction steam turbine). O combustível utilizado no modelo foi lenha (biomassa) por motivos ambientais, em lugar de combustíveis fósseis.

Numa fábrica produtora de 400t/d de papel, com este processo obtém-se uma potência instalada de 14MW, correspondendo a 660 Kwh/tp, além do calor de processo.

2a) possibilidade: Foi considerada a adaptação de turbinas movida a gás natural, utilizando-se os gases de exaustão para gerar o vapor (12 atm) alimentado, na turbina a vapor existente. Neste caso, foi mantida a turbina atual (de contrapressão) apenas substituindo-se a caldeira convencional pelo gerador de vapor que utiliza os gases de exaustão da turbina a gás, ainda a alta temperatura.

Para a fábrica de 400 t/d de papel, a eletricidade gerada aumenta para 22 MW, com o mesmo calor de processo. A produção de energia elétrica neste caso atinge 1.051 Kwh/t de papel, gerando um excedente de 121 Kwh/tp, a ser exportado pela fábrica.

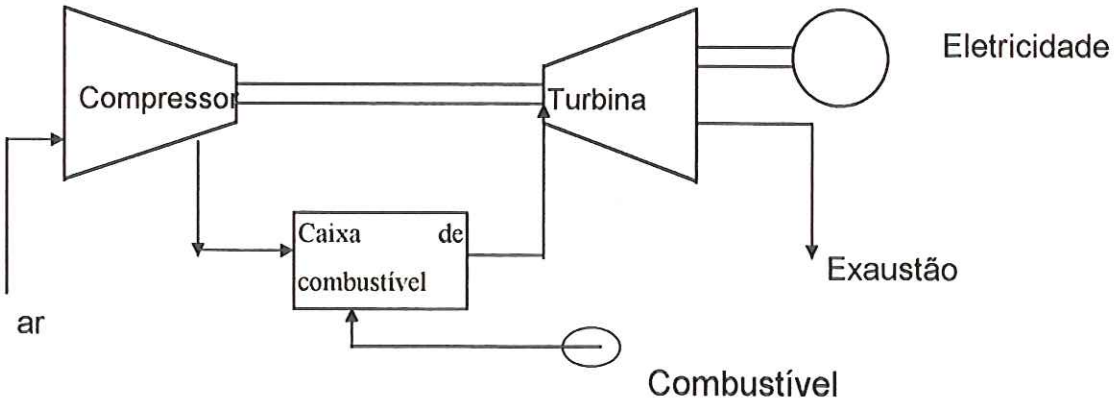


FIGURA 3.1 CICLO DA TURBINA À GÁS

Fonte: Coelho, apud Lloyd,1991

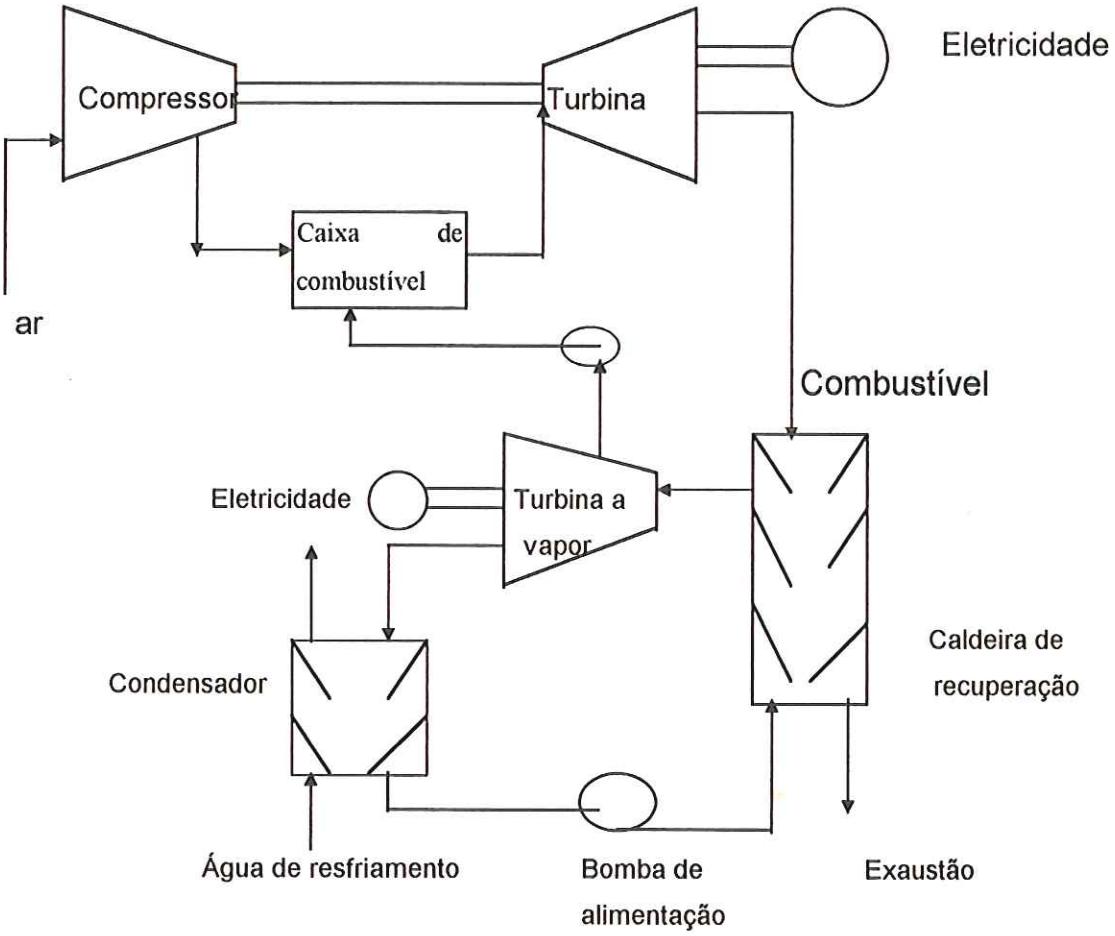


FIGURA 3.2 CICLO COMBINADO DE TURBINA A GÁS E TURBINA A VAPOR
Fonte: Coelho, apud Llyod, 1991

3.2 Caldeiras

Segundo Pera, este tipo de equipamento surgiu a partir da ansiedade do homem de fazer movimentos usando o vapor. O casamento entre a geração de energia e a calefação de processos fez surgir a primeira caldeira.

As caldeiras que serão vistas neste item são aquelas aplicadas nas usinas de açúcar e álcool. Uma classificação antiga de caldeiras divide em dois tipos: caldeiras a tubos de fumaça e caldeiras a tubos de água. Uma classificação mais nova em: aquotubular e flamotubular.

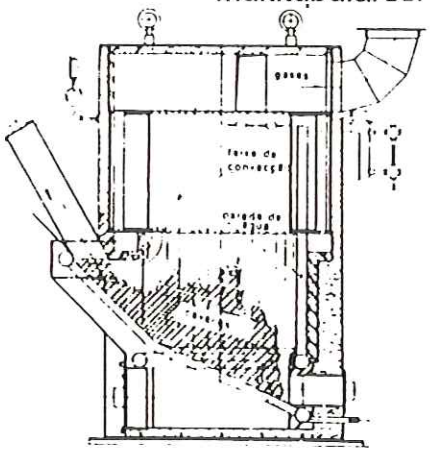
a) Caldeiras flamotubulares são encontradas inicialmente nas locomotivas a vapor. Elas são formadas por um cilindro de grande diâmetro,

fechado por chapas nas extremidades, conhecidas como espelhos. De um espelho a outro até uma determinada altura são colocados tubos de aço. Os gases quentes passam sobre a parte inferior do cilindro e em seguida no interior dos tubos. A água cobre todos os tubos. Os gases quando passam pelos tubos perdem carga. A relação volume de água/superfície de aquecimento é grande, da ordem de 50 lts/m^2. Este fato provoca a demora na elevação da pressão.

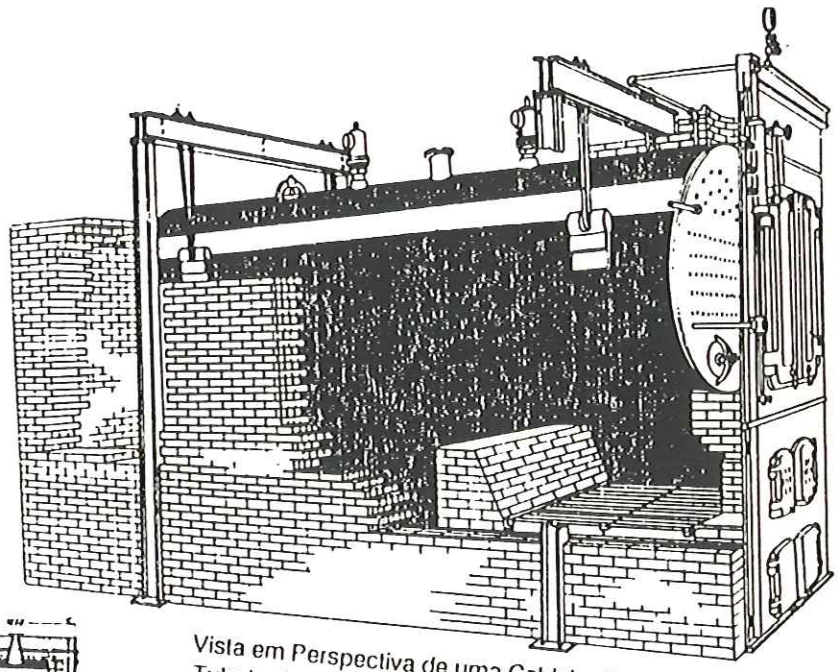
As caldeiras possuem um poder acumulador alto, que é definido como o tempo necessário para que uma demanda de mais de 1% do vapor faça cair a pressão na caldeira de 1% com as condições de combustão mantidas constantes. Para Pera, as caldeiras flamotubulares são classificadas em verticais e horizontais, ambas permitindo receber fornalhas internas ou externas.

- As caldeiras verticais são constituídas de corpo cilíndrico, fechado nos extremos por placas planas, chamadas espelhos, as quais recebem todos os tubos verticais no interior dos quais circulam os gases quentes desde a fornalha até a chaminé. A água permanece no corpo da caldeira, molhando a superfície externa dos tubos, mantendo-se no nível graças à alimentação constante pela conexão correspondente. Elas operam com rendimento em torno de 65% e sua superfície de aquecimento gira em torno de 2 a 30 m^2 para pressões não superiores a 10 kgf/cm^2.
- As caldeiras horizontais foram as primeiras unidades horizontais que não possuíram tubos de pequeno diâmetro, mas somente tubulões internos através dos quais circulavam os gases quentes da combustão. O calor se transferia à água através da superfície de contato deste tubulão e da parte da superfície externa do corpo em contato com o retorno dos gases quentes, circulando por um canal formado de alvenaria e do próprio corpo da caldeira. Possuíam grande volume de água e exigiam considerável tempo para atingir as condições de operação.

• As caldeiras multitubularas são unidades equipadas com inúmeros tubos fixados aos espelhos do corpo cilíndrico. Os gases de combustão circulam através destes tubos, que são banhados pela água contida no corpo da caldeira. Não existe fornalha interna, ela é construída fora da própria caldeira. A fornalha fica abaixo do corpo da caldeira, recebe o aparelho de combustão próprio para queimar o combustível desejado, sendo possível o emprego de grelhas planas, inclinadas ou qualquer outro tipo, inclusive queimadores de óleo. A figura 3.3 mostra alguns exemplos de caldeiras verticais, horizontais e multitubulares.



Caldeira Vertical de Concepção Mista Aquo-Fogo-Tubular para Queimar Resíduos (Cortesia Conservit)



Vista em Perspectiva de uma Caldeira Flamo Tubular Tipo Multitubular Emparedada

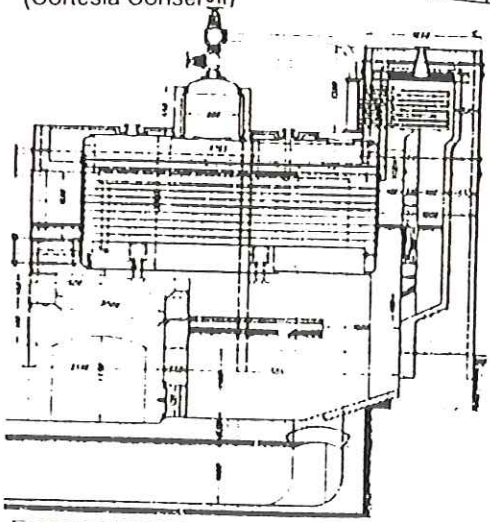


FIGURA 3.3 CALDEIRAS VERTICAIS, HORIZONTAIS E MULTIBULARES

Fonte: Pera, Hildo Geradores de vapor

Os gases produzidos pela combustão entram primeiro em contato com a parte inferior do corpo, dão uma volta na face posterior da caldeira, entram no interior dos tubos, e saem pela frente, diretamente na chaminé. Em outros casos, ainda na parte frontal, os gases voltam lateralmente, estabelecendo contato com a parte do corpo externo e descem na parte posterior para o canal da chaminé, dando a terceira volta de chama.

Os combustíveis líquidos e gasosos vêm sendo responsáveis pela permanência deste tipo de caldeira. Sua capacidade atinge a marca das 20 TV/h. Enquanto as pressões se mantêm no limite de 16 kgf/cm^2, unidades deste tipo, graças à alta performance dos queimadores e à confiabilidade nos controles automáticos, tornaram-se insubstituíveis para processos industriais de baixas temperaturas.

Uma outra vantagem deste tipo de caldeira é a fácil substituição da tubulação, apesar do inconveniente de dificultar a eliminação de incrustações acumuladas sobre a superfície externa dos tubos, quando o usuário descuida do tratamento da água de alimentação.

As caldeiras que queimam combustível sólido desprendem apreciável quantidade de fuligem, que acompanha os gases de combustão. Uma porção deste material se deposita ao longo do percurso da caldeira, outra se desprende pela chaminé, representando uma contribuição para o agravamento dos problemas de poluição.

b) Caldeiras aquatubulares - O aumento da capacidade de produção de vapor só foi possível quando este tipo de caldeira passou a ser utilizado. Esta elevação ocorreu devido a água passar por dentro dos tubos. Os tubos ficam fora do corpo da caldeira, a ela se unindo para constituírem um feixe tubular de água que permite a obtenção de superfícies de aquecimento praticamente ilimitadas. No interior dos tubos, circula a água que se tornará vapor com o aquecimento, proporcionado pelos gases quentes que atravessam o conjunto por fora dos tubos. As caldeiras possuem um balão superior com capacidade grande, ligado a dois caixões coletores, unidos por feixes de tubos. Os tubos são ligeiramente inclinados da frente para trás. Na frente de cada tubo, são colocadas tampas, permitindo a mandrilagem desses tubos nos caixões. Esta estrutura facilita a limpeza ou reparo dos

tubos. Os tubos são de 3" ou 4" de diâmetro. A perda de carga dos gases, ao contrário do que ocorre na flamatubular, é pequena. Sua capacidade entrada de água chega até 1500 m^2 . Sua pressão máxima é de até 25 kg/cm^2. A pressão varia dependendo do tipo de caixão: quadrado ou retangular. As taxas de evaporação geralmente obtidas são de 20 a 30kg de $vapor/m^2$, dependendo da existência de aquecedores de água e ar. A relação de volume de água/superfície é da ordem de 40 (Coopersucar). Segundo Pera, a temperatura de superaquecimento está em torno de 450 ou 500°C.

Pera classifica tais caldeiras em três tipos:

- caldeiras de tubos retos;
- caldeiras de tubos curvos e
- caldeiras de circulação positiva.

As caldeiras de tubos retos são as construídas na seqüência histórica, as flamatubulares, que possuem capacidade de 3 a 30 TV/h, com pressões limitadas a 45 kgf/cm^2. Características listadas por Pera:

- fácil substituição e limpeza dos tubos retos;
- amplos espaços tornando possível a limpeza de depósitos de fuligem por fora dos tubos;
- a dispensa no rigor do tratamento de água: mesmo água com resíduos em suspensão tem sido utilizada nestas caldeiras sem constituir riscos de operação, a não ser sensível queda de rendimento;
- possuem apreciável volume de água, fator ainda admitido como vital e indispensável por considerável número de usuários;
- dispensam chaminés elevadas ou tiragem forçada por provocarem pequena perda de carga no circuito dos gases;
- uma desvantagem observada é a quantidade de aberturas em frente de cada tubo.

As caldeiras de tubos curvos são muito encontradas e deverão ser utilizadas em lugar de outras. Enquadram uma série de modelos com as que contêm quatro ou mais tambores. Podem ter os tambores

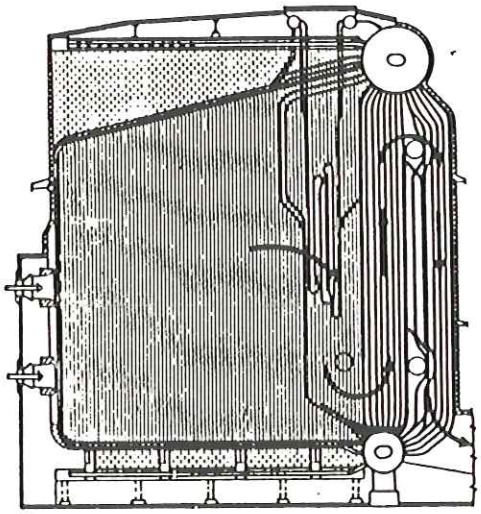
transversais alinhados verticalmente ou inclinados. São constituídas de dois balões, um superior e um inferior, os dois ligados por feixes de tubos que saem radialmente. Os diâmetros dos tubos são semelhantes aos dos outros tipos de caldeiras. Suas características básicas: pressão entre 12 kg até mais de 250 kg/cm^2; capacidade de área de 250 m^2 a milhares de m^2; volume de água de 30 l/m^2 a 50l/m^2; se o número de balões aumentar, este fator pode ser aumentado; a taxa de evaporação é de 20 kg/m^2 a 40 kg/m^2.

As caldeiras de circulação positiva possuem recursos para manter a água circulando exclusivamente num único sentido, seja pela aplicação de uma bomba (conhecidas como caldeiras de circulação forçada) seja pelo princípio construtivo (conhecidas como caldeiras de circulação positiva natural).

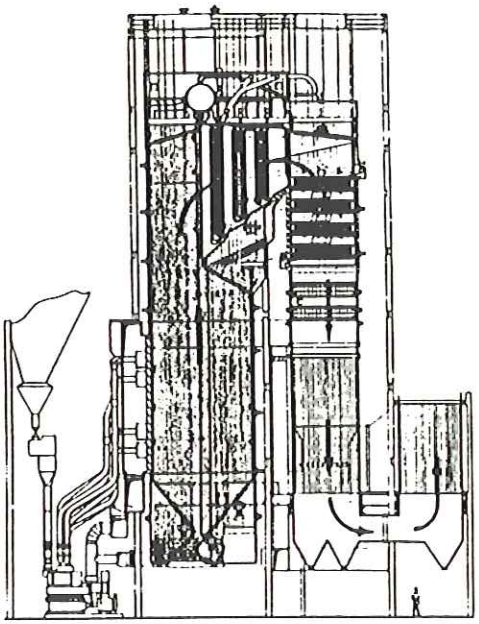
Uma das características deste tipo de caldeira é a exigência de garantir a completa queima do combustível, determinando a execução da câmara de combustão suficientemente ampla. É utilizada para queima de cavacos de madeira. A capacidade deste modelo está limitada a 20 TV/h, pressão até 42 kgf/cm^2.

Este processo de troca térmica que ocorre nas caldeiras é conhecido como convecção forçada. Dentro da superfície interna ocorre ebulição, e a velocidade de transferência do calor é muito pouco influenciada pela velocidade do líquido no tubo. Porém, se o vapor produzido não for removido rapidamente, encherá o tubo e não haverá transferência do tubo para água. É necessário que haja circulação de água, ou mais exatamente, mistura de água-vapor para não interromper a ebulição. Evidentemente que, quanto maior a ebulição, maior a velocidade de circulação da água.

Nas caldeiras flamotubulares, o volume de água é grande, mas a taxa de cooperação é baixa; a circulação efetua-se sem agitação. O lodo é decantado para ser jogado pelos tubos de purga. A figura 3.4 mostra exemplos de caldeira flamotubular.



Protótipo de Caldeira com Dois Tambores



- Esquema de uma Caldeira de Único Tambor

FIGURA 3.4 CALDEIRA FLAMATUBULAR
Fonte: Pera, Hildo Geradores de Vapor

Nas caldeiras tipo Striling, a água circula dos balões superiores para os balões inferiores, pelos tubos traseiros das caldeiras; e dos balões inferiores aos balões superiores pelos tubos dianteiros. O lodo decanta nos balões inferiores onde ocorrem as purgas.

A mistura água-vapor chega ao balão da caldeira através dos tubos da frente. Essa mistura é projetada na superfície livre de água, e desce pelos tubos traseiros. A separação não é perfeita pois gotículas de água são arrastadas junto com o vapor.

Na parte superior do balão da caldeira, são fixadas as válvulas de segurança que podem ser de peso ou de mola.

As caldeiras possuem uma quantidade de componentes que a fazem um equipamento de transmissão e geração de vapor. Falaremos sobre estes componentes a seguir:

3.2.1 Superaquecedores

São simplesmente trocadores de calor tubulares, nos quais se transfere o calor do gás quente que passa no exterior dos tubos para o vapor que passa no interior. O tipo de superaquecedor usado nas usinas é o aquecido pelos próprios gases da caldeira; outros tipos são: os aquecedores que utilizam outras fontes e aqueles aquecidos por radiação.

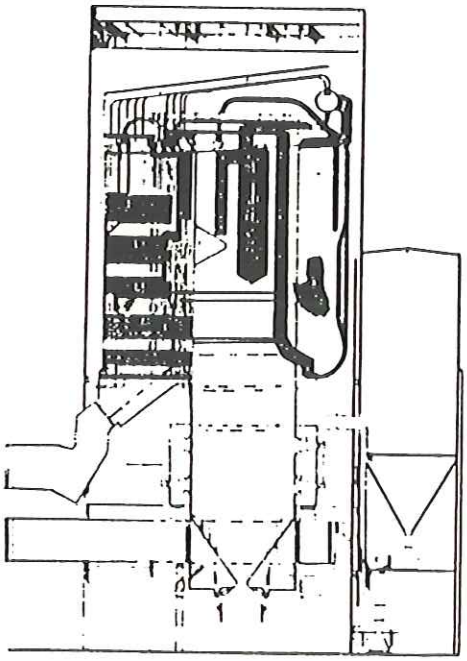
São usados para construção de Superaquecedores, tubos de aço estriados sem solda. Para os coletores, usam-se tubos soldados de seção circular ou quadrada, de 120 a 180 mm interno. Esses coletores devem estar fora do circuito dos gases quentes, ou então isolados.

Os tubos são fixados por mandrilhamento. São feitas por abertura na parede oposta fechada por bujões. Os arranjos dos tubos podem ser verticais ou horizontais. Os horizontais facilitam a drenagem da água condensada quando das paradas da caldeira. O tipo vertical diminui os riscos de aderência de escórias.

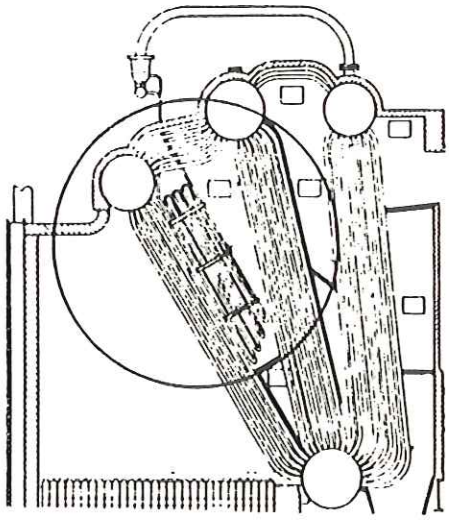
O superaquecedor deve ser colocado numa região onde os gases quentes chegam a 700 ou 800 °C. Geralmente, essa temperatura se encontra entre o primeiro e segundo passo dos gases nas caldeiras. Se o vapor chega com uma temperatura muito alta, para que ele se resfrie é necessário que seja feito um circuito paralelo onde ele e o gás passem um pelo outro. O superaquecedor deve ser projetado para não estrangular os gases quentes, sendo importante deixar espaço entre os tubos, além de fácil acesso ao local onde for construído para ajudar a limpeza.

- vapor do balão superior da caldeira sai úmido. O peso de água representa cerca de 2 a 5% do total do vapor produzido; com ela vai o calor sensível, que representa perda na caldeira. O vapor saturado ou úmido condensa muito facilmente em contato com as paredes. É interessante que o vapor transportado tenha uma elevação de temperatura, tornando-se superaquecido. Os

superaquecedores são importantes para a conservação das máquinas. Eles reduzem as perdas por ação de parede, como é chamado o processo de condensação do vapor em contato com as paredes. Geralmente, o superaquecimento não deve passar de 50 ° C devido a problemas de resistência dos tubos. Em tubos de aço comum, a temperatura máxima para o vapor é de 425°C. Com o aço-carbomolibidênio pode-se chegar a 468 °C. Com o aço cromo-molibidêndio, pode subir até 509 °C, e acima desta temperatura somente com aço inoxidável. A figura 3.5 mostra exemplos de superaquecedores.



Superaquecedores Irradiantes



Superaquecedor a Convecção

FIGURA 3.5 SUPERAQUECEDOR

Fonte: Pera, Hildo Geradores de vapor

Os tubos dos superaquecedores são finos e de forma mais ou menos complicada, não há possibilidade de limpeza no seu interior. Eles não sofrem incrustações internas, pois recebem, quase exclusivamente, vapor.

3.2.2 Aquecedores de água

São formados de tubos, no interior dos quais passa a água de alimentação e no exterior, os gases ainda quentes saindo da superfície de convecção da caldeira.

Os gases que saem do último circuito da caldeira, antes de seguirem para a chaminé, têm uma temperatura relativamente alta.

A troca de calor eficiente deve ser feita, como a manutenção de uma boa diferença de temperatura entre os gases e os tubos. Caso contrário, teremos uma superfície enorme para um pequeno ganho de calorias e a operação torna-se antieconômica. Um bom projeto de caldeira deixa os gases saírem com temperatura de 100 °C a mais que a temperatura da água nos tubos.

Surgiu a idéia de aproveitar esses gases ainda quentes para aquecer a água de alimentação, ou o ar necessário à combustão. Como os dois são relativamente frios, permitem uma queda de temperatura razoável, assegurando uma boa eficiência das superfícies de transferência de calor.

Antes de entrar em ebulição, a água de alimentação deve ser aquecida, absorvendo uma parte do calor transferível para caldeira. Se a água de alimentação estiver próxima à temperatura de ebulição, a superfície da caldeira produzirá mais vapor.

3.2.3 Aquecedores de ar

Uma outra forma de recuperar o calor dos gases ainda quentes que saem dos circuitos das caldeiras é aproveitá-lo para aquecer o ar que entra na fornalha. Existem diversos tipos de aquecedores de ar:

- os tubulares;
- os de placa;

- os regeneradores.

Segundo a Coopersucar, somente os aquecedores tubulares são usados nas usinas. Eles são cambiadores de calor, nos quais passam os gases quentes no interior dos tubos, e o ar frio pelo exterior, tanto quanto possível em contracorrente. Por questões de limpeza, sempre passam os gases queimados no interior dos tubos e o ar, pelo exterior.

A troca de temperatura é feita por convecção dos gases, nos dois lados da parede do tubo; a medição da superfície é feita pelo diâmetro médio dos tubos, desde que as duas superfícies sejam trocadoras.

3.2.2 Fornalhas

São a denominação genérica que se dá para o local onde se queima o combustível. Ela é dividida em duas partes: aparelho de combustão e a câmara de combustão. A figura 3.6 mostra uma fornalha utilizada nos dois tipos de caldeiras.

- O aparelho de combustão é um conjunto de componentes que oferecem as condições necessárias para a queima de combustível.
- A câmara de combustão é representada por um volume adequadamente dimensionado onde se desenvolve a chama e se completa a combustão.

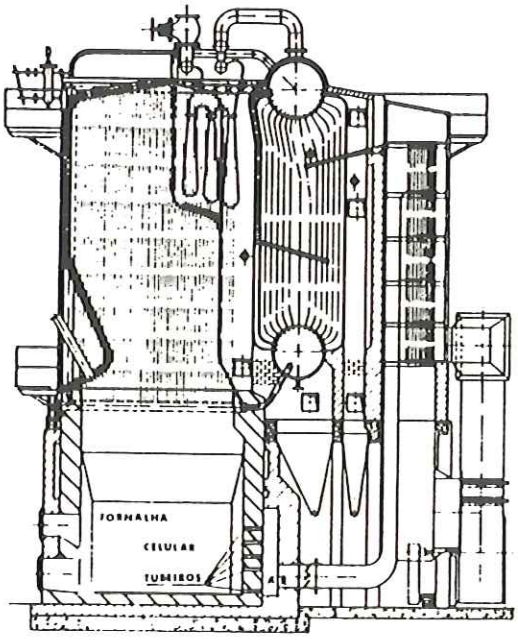


FIGURA 3.6 FORNALHAS

Fonte: Pera, Hildo Geradores de vapor -Gerador de Vapor Aqua-tubular para Bagaço de Cana Fornalha Celular (Cortesia Conservil)

Para se obter uma boa combustão é necessário:

* adotar método adequado na alimentação do combustível;

* possibilitar satisfatório ingresso e distribuição do ar de combustão;

* assegurar a estabilidade da queima e a continuidade operacional de forma a cobrir toda a faixa de geração de calor;

* propiciar o controle da forma geométrica da chama;

* permitir satisfatória remoção das cinzas;

* assegurar a queima completa do combustível mediante correto volume da câmara de combustão;

* manter a tiragem de forma a possibilitar o escoamento contínuo dos produtos resultantes da combustão.

A fornalha é escolhida conforme o tipo do combustível e o tipo da fornalha. Nestes dois fatores são levados em consideração o tipo do combustível, a umidade, o teor de cinzas, o procedimento de injeção de ar, o sistema de extração de cinzas e outros fatores.

As fornalhas podem ser classificadas em duas categorias:

a) de queima sobre suporte;

b) de queima em suspensão.

As fornalhas de queima sobre suporte englobam todas as que queimam combustíveis sólidos a granel, picados e britados.

As fornalhas de queima em suspensão são aquelas em que os combustíveis líquidos, gasosos ou sólidos finamente pulverizados são queimados em suspensão.

Existem fornalhas que utilizam os dois tipos de queima. Um exemplo, a do carvão com granulometrias diferenciadas projetada por aspersão mecânica, que queima os finos em suspensão e as partes maiores sob leito.

Para caracterizar uma fornalha, é necessário que alguns itens sejam identificados, como: o tipo de combustível, o estado de divisão do combustível, o sistema de alimentação, o tipo de concepção constitutiva, o regime do fluxo de suprimento de combustível, a pressão interna, a posição da fornalha e a alimentação de ar.

Uma outra característica encontrada nas fornalhas é o tipo de suporte de alimentação do combustível, que pode ser estático ou movimentado. Ainda dentro destas características, encontramos os diversos tipos de grelha que vão se adaptando a outros itens já identificados.

Leito de combustão fluidizado - cuja eficiência de combustão é mais alta do que a de qualquer outro processo. Consegue-se queimar até 99% de matéria de combustível mesmo empregando combustíveis de qualidade inferior, como o carvão nacional.

Possui uma menor sensibilidade às variações de poder calorífico, permitindo a queima de qualquer combustível sólido, dividido em partículas, seja de origem fóssil ou procedente da biomassa. Em certas condições, o leito fluidizado assegura a queima do bagaço de cana, de cascas de cereais, de serragem, de borra de café, enfim de toda a sorte de biocombustível residual de processos industriais. Abaixo fazemos um resumo, segundo Pera, das características deste processo.

- possibilita a queima também de combustíveis líquidos e gasosos;
- reduz o nível de emissões gasosas, poluentes, do tipo Sox e Nox. A formação dos gases de enxofre é minimizada graças à absorção deste elemento no próprio leito;
- possui uma alta reatividade: as partículas inseridas no leito, graças a constante agitação apresentam uma velocidade de combustão superior a dos leitos fixos (Pera,90).

A temperatura relativamente baixa do leito (800 - 900°C) impede a fusão das cinzas dos carvão, eliminando o risco de aglutinação nas fornalhas. A granulometria do carvão não precisa chegar aos estágios da moagem fina. Partículas de 6 mm e maiores queimam no leito. A ausência de finos constituem outros aspectos favoráveis à redução de emissões particuladas na atmosfera, um dos problemas mais sérios na queima do carvão pulverizado.

Há estabilidade da chama mesmo queimando combustíveis com alto teor de umidade. O leito pode queimar o xisto betuminoso, a turfa, tão bem quanto o combustível sólido mais seco.

Princípio de funcionamento

O tipo de fornalha que suporta este leito é a com suporte. Partimos de um cilindro vertical fechado, para analisar o funcionamento do leito fluidizado. Este cilindro é fechado na base inferior, contendo, a certa altura, um disco de diâmetro interno igual ao do próprio cilindro, porém com orifícios distribuídos em toda a sua área.

Na câmara inferior formada com esse arranjo, instala-se uma boca de ingresso de ar insuflado sob pressão. Sobre a placa perfurada, descarrega-se uma porção de areia de granulometria conhecida, até altura definida. O material granulado, ao ser despejado, vai se acomodando nas superfícies laterais do cilindro sobre o disco inferior. Na superfície livre superior, ele se distribui irregularmente, com tendência a formar um cone de ângulo gerador equivalente ao ângulo de repouso do material.

Ao ser introduzido o ar através dos orifícios da placa, constatam-se diversos fenômenos que alteram a condição de repouso do material. No primeiro momento de ingresso reduzido de ar abaixo da placa perfurada, obtém-se uma pressão que não consegue vencer a resistência de inércia e as forças de viscosidade próprias da camada de areia, permanecendo o leito estacionário. Aumentando-se progressivamente a pressão do ar, haverá um instante em que a força resultante deste acréscimo iguala aquelas do próprio leito.

Nesta etapa do processo, cada partícula sólida fica envolvida por uma película de fluido gasoso, mas ainda em repouso. Este estado é conhecido como "leito calma", tranqüilo, o sistema se comporta como se fosse um fluido, cedendo a qualquer esforço externo. A partir daí, basta aumentar a vazão do ar, para provocar uma alteração do sistema. Ultrapassa-se o chamado limite de estabilidade do leito fixo.

Toda partícula sólida do leito fica suspensa, separada pelo fluído gasoso, em permanente movimento, provocando a sua expansão e o nivelamento da superfície. Esta é a fase em que o leito é dito "fluidizado", possuindo efetivamente a característica de um fluido, tanto que escoaria por qualquer orifício que fosse aberto na lateral do cilindro.

3.3 Turbinas

As turbinas a vapor utilizam a energia do vapor sob forma de energia cinética, enquanto que as máquinas alternativas o fazem sob forma estática. Toda turbina se compõe de duas partes principais: A roda fixa ou estator, e a roda móvel ou rotor. Na roda fixa, estão os distribuidores, destinados a transformar a energia do vapor em energia cinética; na roda móvel estão os receptores fixos, destinados a transformar a energia cinética em trabalho mecânico sobre o eixo motor.

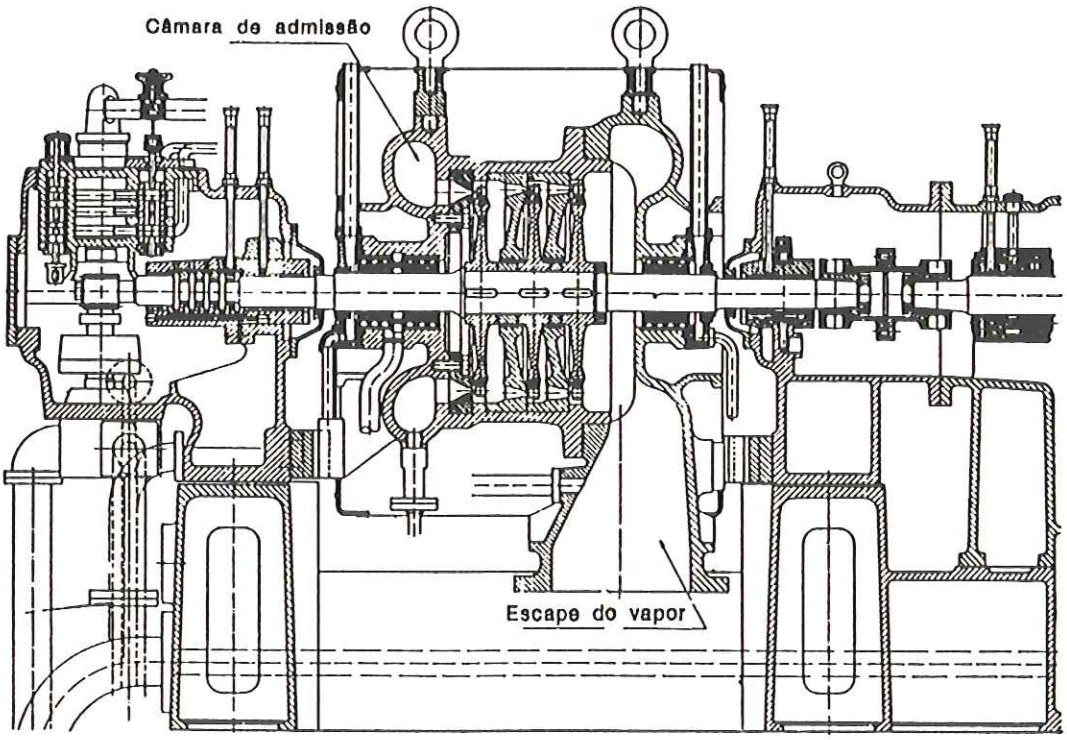
Explicando termodinamicamente, as turbinas baseiam-se num ciclo ideal, em que não ocorrem perdas por atrito nas canalizações, nas palhetas da turbina, etc. Esse ciclo ideal pode ser traçado num gráfico de duas características do vapor: temperatura e entropia. A entropia do vapor é uma propriedade definida em cada uma das numerosas condições em que pode existir. Nas turbinas a vapor, utiliza-se a energia cinética do fluido para a produção de trabalho mecânico. Torna-se necessário transformar previamente a sua energia potencial em energia cinética. Esta transformação se realiza em distribuidores especiais, nos quais se expande o vapor, alcançando uma velocidade que depende da queda de pressão. O jato assim formado chega à roda móvel, que adquire um movimento de rotação. Deste modo, o vapor cede às palhetas fixas da roda e ao seu eixo a maior parte de sua energia cinética, com produção de trabalho mecânico.

Os elementos que constituem a turbina a vapor são: elementos de ação e elementos de reação. Nos primeiros, a variação da pressão disponível, é utilizada por ação ou seja, a expansão do vapor se dá completamente no distribuidor, quando a roda está em ambiente de pressão constante. Nos segundos, a variação de pressão disponível é utilizada por reação, ou seja, o vapor se expande primeiramente no distribuidor para depois fazê-lo, também, em escala mais ou menos acentuada, na roda móvel.

Nas turbinas de ação, o vapor, chegando pelos distribuidores, onde se expandiu e adquiriu uma força viva, comunica essa força às palhetas do rotor, que é assim impelido num movimento de rotação; nas outras turbinas,

de reação, a força viva é adquirida, parte nos distribuidores e parte nas pás ou palhetas da roda móvel. Os elementos de ação ou de reação podem ser axiais ou radiais. Nos axiais, o vapor escoa no sentido do eixo da turbina e nos radiais, no sentido dos raios, ou sentido radial.

Os elementos de ação podem ser de admissão total ou parcial, segundo os condutos de distribuição colocados sobre toda ou parte da periferia da roda móvel. A figura 3.7 exemplifica uma turbina de contrapressão.



Turbina a vapor a contrapressão (Fives-Lille Cail).

FIGURA 3.7 TURBINA A VAPOR A CONTRAPRESSÃO

Fonte: Hugot, E. Manual da usina açucareira

Os elementos podem ser de admissão total ou parcial, segundo os condutos de distribuição colocados sobre toda ou parte da periferia da roda móvel.

Os elementos de reação são, em geral, de admissão total, ou seja de grau de admissão igual a um. Somente em casos excepcionais, isto é, quando a diferença de pressão na entrada e saída da roda móvel é muito pequena, é que se constróem elementos de reação com admissão parcial.

3.3.1 Funcionamento de uma turbina a vapor

O vapor superaquecido e sob alta pressão deixa a caldeira, que também é chamada de gerador de vapor, e entra na turbina. O vapor se expande na turbina e, em o fazendo, realiza trabalho, o que possibilita à turbina impelir o gerador elétrico. O vapor em baixa pressão deixa a turbina e entra no condensador, onde há transferência de calor do vapor (condensando-o) para a água de refrigeração. Como grande quantidade de água de refrigeração é necessária, as centrais termelétricas são freqüentemente instaladas perto de rios ou lagos.

Quando o suprimento de água de refrigeração é limitado, uma torre de resfriamento pode ser usada. Na torre de resfriamento uma parte da água de refrigeração evapora de maneira a baixar a temperatura da água que permanece líquida.

A pressão na saída do condensador é aumentada na bomba, permitindo, portanto, a pressão de entrada no gerador de vapor. Em muitos geradores de vapor, usa-se um economizador. Ele é simplesmente um trocador de calor no qual se confere calor dos produtos de combustão para o condensador; como resultado, a temperatura do condensador é elevada, mas não há evaporação. Em outras partes do gerador de vapor, transfere-se calor dos produtos de combustão para a água, evaporando-a. A temperatura em que se dá a evaporação é chamada temperatura de saturação. O vapor flui então para outro trocador de calor, chamado superaquecedor, no qual a temperatura do vapor é elevada acima da temperatura de saturação.

Em muitas usinas geradoras, utiliza-se ar pré-aquecido no pré-aquecedor, para a combustão, transferindo-se o calor dos gases ao saírem

da fornalha. Esse ar é, então, misturado com o combustível - o que pode ser carvão, óleo combustível, gás natural ou outro material combustível - e a combustão se realiza na fornalha. À medida que os produtos da combustão passam pela fornalha, transfere-se calor para a água, no superaquecedor, no gerador de vapor, no economizador, e para o ar no pré-aquecedor de ar. Os produtos da combustão das usinas são descarregados na atmosfera e se constituem num dos aspectos do problema da poluição atmosférica (Wylen e Sonntag, 1976). A figura 3.8 apresenta um circuito simplificado de geração de vapor.

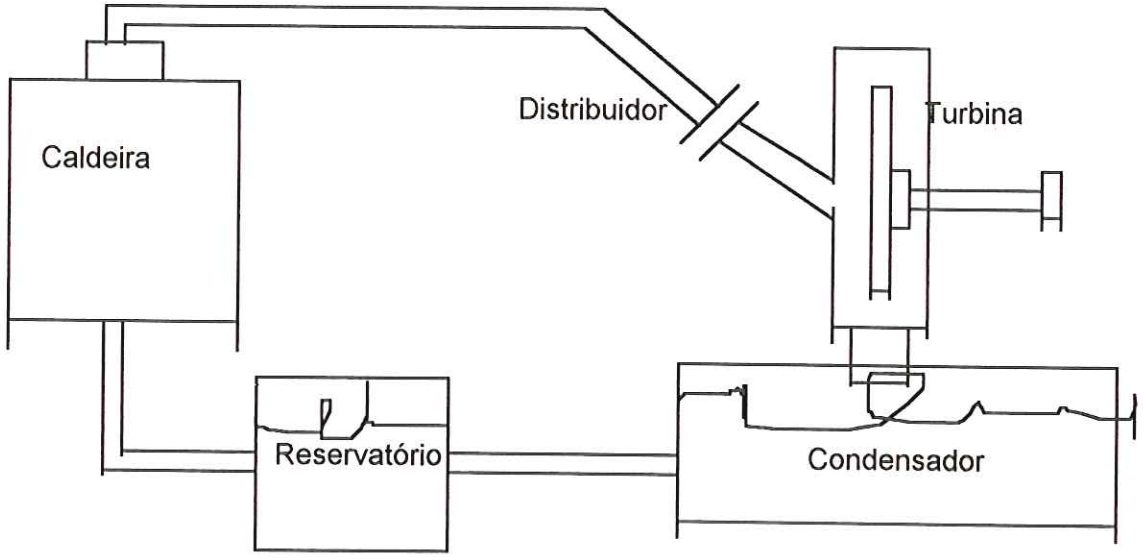


FIGURA 3..8 CIRCUITO SIMPLIFICADO DE GERAÇÃO DE VAPOR
Fonte: Lima, Mário Wernick .Elementos da turbina a vapor

3.3.2 Classificação das turbinas a vapor

As turbinas podem ser classificadas com ou sem condensação:

a) Segundo o número de rodas móveis ou rotores:

a.1 Turbinas simples - são aquelas que têm somente uma roda. Possuem uma velocidade mais elevada, e se reservam para instalações de potência menor, onde é possível utilizar sua velocidade.

a.2 Turbinas múltiplas - são compostas de várias rodas móveis atravessadas, sucessivamente, pelo vapor. São mais lentas e têm seu emprego nas instalações de potência mais altas.

b) Segundo o modo de ação do vapor sobre as palhetas, as turbinas podem ser de ação, reação e mistas.

b.1 As de ação - funcionam devido à força viva do vapor. O distribuidor é concebido de forma a permitir a completa expansão do vapor, dando-se nele, integralmente, a transformação da energia potencial em energia cinética. O vapor atravessa, portanto, a roda móvel a pressão constante, agindo sobre as pás ou palhetas unicamente em virtude da sua velocidade.

b.2) As de reação - utilizam ao mesmo tempo a pressão do vapor e a sua expansão nas rodas móveis. Nessas turbinas o vapor não se expande completamente no distribuidor de pressão, mas continua a sofrer, na roda móvel, uma diminuição de pressão, à medida que sua velocidade aumenta. Assim, o distribuidor transforma, apenas em parte, a energia potencial do vapor em energia cinética, ficando a outra parte para ser transformada na própria roda móvel. Elas são caracterizadas pelo fato de que a roda móvel não trabalha com o vapor a pressão constante, mas gradativamente variável, diminuindo de montante para jusante, em relação ao percurso nas palhetas.

b.3) Mistas - são, simultaneamente, de ação e de reação. Utilizam ao mesmo tempo, a força viva do vapor, sua pressão e sua expansão.

c) Segundo o escoamento do vapor - as turbinas podem ser axiais e radiais.

c.1) Axiais ou paralelas - são turbinas onde o escoamento do vapor é paralelo ao seu eixo.

c.2) Radiais - são aquelas onde esse escoamento se faz na direção dos raios das rodas. São radiais centrífugas quando o vapor passa do centro para a periferia, e radiais centrípetas quando ele se escoa da periferia para o centro.

d) Segundo o modo de admissão do vapor, as turbinas podem ser de admissão ou injeção total ou então de admissão ou injeção parcial.

d.1) De injeção total ou admissão - são as turbinas que recebem o vapor sobre toda a periferia das rodas móveis.

d.2) De admissão ou injeção parcial - são as que admitem o vapor apenas sobre uma parte da periferia das rodas móveis.

e) Quanto à natureza do vapor - vapor de água
- vapor de mercúrio

f) Natureza do vapor de água - vapor saturado (úmido ou seco)
- vapor superaquecido e ressuperaquecido

g) Pressão do vapor - baixa pressão (até 30 kg/cm^2)
- média pressão (de 30 a 100 kg/cm^2)
- alta pressão (mais de 100 kg/cm^2)

h) Turbinas de contrapressão ou industriais - são classificadas como um meio de obter energia elétrica e térmica a custos reduzidos, graças à sua produção combinada. Parte da energia contida no vapor fornecido por uma caldeira converte-se em energia elétrica passando o vapor através de uma turbina de contrapressão, enquanto que o seu calor residual, saindo da turbina, é absorvido em seguida por um processo industrial. Esta é a idéia fundamental da energia de contrapressão.

A instalação de um turbo-gerador de contrapressão, na maioria dos casos, que ocorre em países que dispõem de grandes reservas.

3.4 Geração de eletricidade

As turbinas a vapor de contrapressão são de grande interesse para a usina de açúcar. Se for produzido vapor a 25 kg/cm^2 a 360°C, gastam-se cerca de 750 kcal por kg de vapor, porém este kg de vapor obtido, passando em uma turbina a vapor, pode fornecer toda a potência que se possa desejar dele na usina. E no escape da turbina, este kg de vapor estará disponível para todos os aquecimentos da fabricação, contendo ainda mais de 600 Kcal, isto é, mais de 4/5 do calor que lhe foi fornecido.

Observa-se como a potência necessária a uma usina de açúcar para o funcionamento de seus motores, moendas, todas as bombas e todos seus movimentos é de baixo custo: menos de 25% do calor que deve produzir, ou do combustível que deve queimar para o aquecimento e a concentração de seus caldos e xaropes.

O valor representado por esta fração é menor que a diferença entre o consumo de vapor de aquecimento de uma usina mal equilibrada e mal

equipada e aquele de uma usina bem concebida, utilizando seu vapor de modo racional e econômico. É possível afirmar que a energia não custa nada, ou quase nada, à usina. Esta a obtém praticamente de graça, produzindo o vapor de aquecimento indispensável ao seu funcionamento.

Isto demonstra que, mesmo tendo uma rede pública, fornecendo energia barata, ou mesmo possuindo nas vizinhanças da usina uma fonte de energia hidráulica que pode ser facilmente equipada, ainda é interessante produzir a energia necessária aos motores da usina por meio do bagaço (Hugot, 1969).

CAPÍTULO 4

EXPERIÊNCIAS DE UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO COMO COMBUSTÍVEL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

4.1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia no mundo aumentou, pois a população cresceu, as indústrias se desenvolveram, surgiram novas tecnologias, novas empresas e novos produtos, originando conseqüências, muitas vezes, encobertas. A crise do petróleo, já comentada anteriormente, alertou os países para a procura de novas fontes alternativas de energia, como foi explicado em capítulo anterior , não só para manter o desenvolvimento econômico, mas também para preservar o mundo, atualmente em processo de grande degradação. O problema da conservação do meio ambiente levantou questões importantes como as conseqüências de ações sem planejamento e a falta de cuidado com os recursos naturais existentes. O homem, muitas vezes, acaba criando mais problemas para serem resolvidos devido à maneira como utiliza seus recursos.

A crise energética é uma realidade em todo o mundo, e a escassez de água, também, já preocupa ao homem. Entretanto, foram desenvolvidas

pesquisas em diversas áreas para a conservação de energia, que quando viáveis, podem ajudar os países a saírem da crise.

Algumas experiências vividas na Tailândia, Havaí, México e Brasil, de exploração de novas fontes alternativas de energia elétrica, indicam novos caminhos a serem analisados. O objetivo é apresentar resultados já existentes de novas alternativas energéticas. Esses projetos visam explorar ao máximo seus recursos praticamente rejeitados para a produção de energia.

Na Tailândia e no Havaí, foram utilizados o bagaço de cana de açúcar e também a palha da cana; no México são utilizados o bagaço e outras fontes como: o carvão, óleo, lenha e outras fontes energéticas. O Brasil está num processo de reformulação de sua política energética, pesquisando e implantando algumas alternativas que apontam para solução de curto prazo, utilizando o bagaço de cana. As análises que serão realizadas neste capítulo baseiam-se em experiências já realizadas nos lugares apresentados anteriormente.

4.2. Experiência da Tailândia

A Tailândia despertou para novas alternativas energéticas, devido ao aumento do consumo de energia elétrica e à falta de estrutura para seu fornecimento. Segundo Therdyothin (1992), o consumo de energia elétrica na Tailândia subiu 12% ao ano entre 1960 e 1980; em 1987 aumentou 15%. A previsão da empresa de energia elétrica (EGAT - Eletricity Generating Authority of Thailand) é um aumento de 20% na utilização do óleo importado e de 80% no consumo de combustíveis fósseis. A demanda deverá ser de 725MW entre 1992 e 1996 e de 800MW entre 1997 e 2001, com previsão de gastos em torno de sete bilhões de dólares nos próximos 10 anos(Therdyothin apud Foell and Custodio, 1992). O investimento tornou-se inviável para o governo, que por esta razão incentivou o surgimento de investimentos na iniciativa privada. A cogeração não é a única alternativa a ser implementada pela iniciativa privada, mas é a

tecnologia com maior capacidade para suprir as necessidades de demanda de energia elétrica. A utilização das usinas de cana de açúcar é uma realidade rápida e eficiente de cogerar energia, devido ao cultivo da cana no país. A tradição de produção de açúcar tem cerca de 15 séculos.

Existem 46 usinas com capacidade de produção de 338.000 toneladas de cana moída por dia. Desta produção, 30% são considerados bagaço. Este é utilizado pela própria empresa para se abastecer de energia elétrica e 10% é excesso, que é utilizado para a geração extra de energia elétrica. O processo de obtenção do bagaço pode ser melhorado, com a melhoria da tecnologia de melhor eficiência. A estimativa de excesso de bagaço é de 2,7 milhões de toneladas ao ano. Quantidade suficiente para trabalhar na safra e na entressafra.

Além do bagaço, existem outros resíduos conhecidos como "cane trash" ou palha da cana, que possui o mesmo poder calorífico. Alguns estudos estão sendo feitos para utilizar a "cane trash" para a geração de energia elétrica. Segundo a Office of Cane and Sugar Board[1], cerca de 48% da "cane trash" que fica no campo, contém 30% de açúcar. Este subproduto alimenta o solo com nutrientes. A retirada da "cane trash", só é feita em parte; o restante continuaria como nutriente. O total de "cane trash" é de 8,4 milhões de toneladas ao ano. Um número significativo, quando o pensamento é a sua utilização como gerador de energia elétrica (Therdyothin, 1992).

Atualmente, as usinas usam caldeiras de média pressão com turbinas de pressão de retorno para gerarem energia para suas necessidades. O vapor saturado é usado no processo de fabricação do açúcar. O vapor produzido nas caldeiras alimenta a turbina que gera energia mecânica para a usina; no caso de vapor saturado insuficiente, a válvula de redução de pressão é usada como *by-pass* de pressão de alta para o processo de fabricação de açúcar. As usinas não trabalham com uma eficiência muito alta e utilizam uma quantidade alta de bagaço para a geração de energia

elétrica. Assim, existem muitas alternativas para melhorar o consumo de bagaço nas usinas, aumentando a quantidade de sobras. A Tailândia , segundo Therdyothin, levantou a situação atual do processo de geração de energia elétrica e analisou algumas alternativas mais eficientes no processo de geração de energia elétrica.

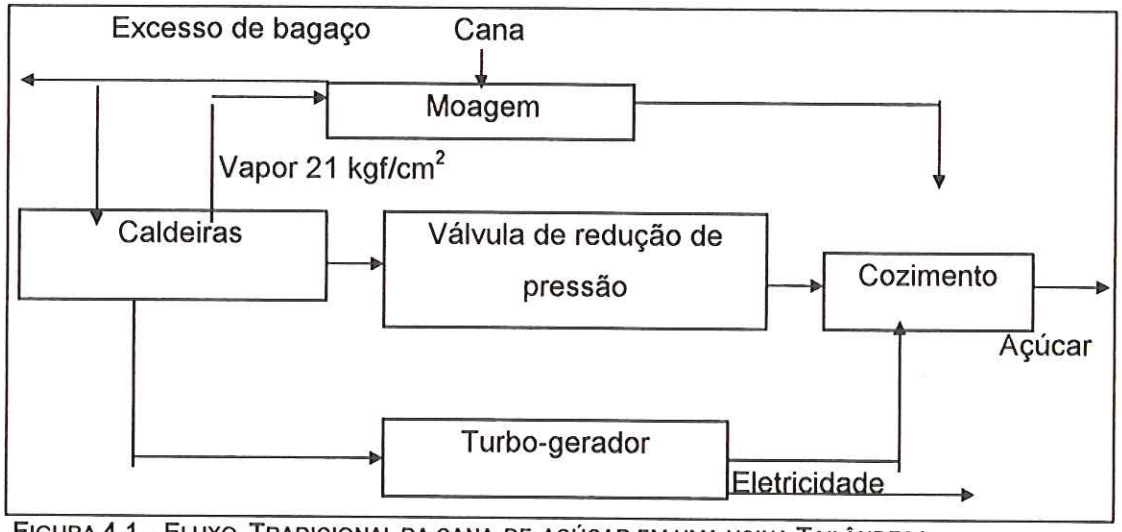


FIGURA 4.1 - FLUXO TRADICIONAL DA CANA-DE-AÇÚCAR EM UMA USINA TAILÂNDESA

Fonte: Therdyothin, A. Eletricity Generation potential of Thaí sugar mills. Principais equipamentos de usinas de açúcar

A cana entra na usina através das moendas, que são acionadas pelo vapor gerado nas caldeiras com pressão de 21 kgf/cm^2 . O produto da moagem é o caldo. Ele será processado no cozimento, transformando-se em açúcar. O subproduto é o bagaço, que é utilizado nas caldeiras para gerar vapor e cujo excesso é acumulado para ser utilizado em outras atividades (vendas, hidrolização). O vapor das caldeiras também alimenta o turbo gerador, que produz energia elétrica para o funcionamento da usina; o excesso é vendido para a rede de distribuição.

A Tailândia estudou quatro alternativas de melhoria do processo para aumentar a produção de energia elétrica. Foram elas: o uso da secagem do bagaço, o uso da "cane trash" na entressafra e do sistema de turbinas de extração e condensação (CEST) e o uso do sistema de dubla extração e condensação (DCEST).

[1] Instituto responsável pelo estudo e análise do açúcar e seus componentes

Uso do bagaço seco - O problema de queima do bagaço está relacionado com o nível de umidade. O bagaço deve permanecer com umidade menor que 50%; a umidade alta causa perda de potencial de queima, chegando a 14% o nível da queda. Para secar o bagaço, pode ser utilizado o vapor do cozimento. Este processo reduz o consumo específico do bagaço na moenda e aumenta a eficiência dos cozedores.

Segundo Therdyothin, o investimento para esta alternativa é de US$ 7.340 por tonelada de bagaço/hora, incluindo o custo de instalação e modificações menores. O custo adicional da operação é estimado em:

US$ 108 por dia na moenda menor;

US$ 144 por dia na moenda maior;

O custo de manutenção 5% do custo de capital (Therdyothin apud Tugwell et al 1989).

Uso da palha da cana (cane trash) - Durante a entressafra, o bagaço gerado pelas usinas não é suficiente para a sua operação; assim, a palha da cana (cane trash) aparece como uma alternativa energética viável, sem custos adicionais. Depois da colheita, ela fica de 4 a 6 dias exposta no campo para secar. Chega na usina com umidade em torno de 30%. Depois de seca, é enfardada e estocada. O volume de palha de cana (cane trash) chega a 8,6 milhões de toneladas/ano. Para trabalhar com este tipo de combustível, são necessárias as seguintes modificações: instalação de um enfardador e mudança no processo na entressafra. O equipamento de enfardamento tritura a palha da cana (cane trash) no tamanho necessário para a queima. Para complementar o novo processo, é utilizada a turbina de condensação, que funciona a baixa pressão. O condensado passa por diversos estágios até voltar aos queimadores.

Segundo Therdyothin, os equipamentos necessários consistem em limpador , enfardador e um carregador hidráulico. O custo de implantação do sistema de colheita e transporte no campo ficaria em US$ 19.309. As caldeiras também precisam de algumas modificações para a recepção e preparo do combustível a fim de poderem queimar a palha (cane trash). O

custo, estimado em US$ 4.230 toneladas/hora/dolar, foi levantado com fornecedores da Tailândia, segundo a necessidade das usinas analisadas.

Uso de turbina de extração de condensado - As caldeiras existentes nas Usinas da Tailândia são de média pressão e com uma eficiência baixa. Geralmente, são caldeiras de 21 kgf/cm^2, enquanto o processo necessita uma pressão de 17 kgf/cm^2 e 1,5 kgf/cm^2 quando reduzida. A proposta do sistema CEST (Condensing Extraction Steam Turbine) é de gerar vapor de alta pressão em torno de 60kgf/cm^2. O vapor alimenta a turbina de condensação, sendo extraído condensado simples, com pressão de 1,5 kgf/cm^2 . As turbinas são abastecidas de vapor pela caldeira antiga, cuja pressão é de 17kgf/cm^2. Durante a entressafra, a caldeira antiga, com pressão menor, durante a entressafra não funciona; geração de vapor., somente o ciclo para geração de energia elétrica, com a entrada da turbina de extração de condensado.

Durante a safra, a usina trabalha com sua capacidade total usando o bagaço como combustível para a geração de energia elétrica e vapor. Na entressafra a potência da usina é reduzida, utilizando-se o bagaço e a palha da cana (cane trash) como combustível. O produto passa a ser a energia elétrica vendida para as distribuidoras (Therdyothin, 1992).

O investimento necessário para a implantação deste sistema, segundo Therdyothin (apud Kadyzewski et al 1989):

TABELA 4.1 -Estimativa de custo de investimento do uso do bagaço como combustível e extração/condensação em um turbo-gerador

Capacidade (Mw)	Custo Capital (milhões US$)	US$/ Mw
6	14,3	2.383
12	26,5	2.208
24	40,2	1.675
32	48,2	1.506
35	40,1	1.146
45	42,3	940
55	55,0	1.000

Fonte: Therdyothin, A. 1992

O investimento é de cerca de:

- Equipamento de campo: US$19.300/fardo;
- Sistema de preparação de combustível US$ 4.230/ton. Cana trash/h

Tabela4.2 - Custo aproximado de operação no sistema CEST

Item	Custo
Moenda pequena	396 US$/dia
Moenda grande	496 US$/dia
Custo de manutenção	4,7 % do capital
Custo do trabalho no campo	0,215 US$/ ton.
Custo do aluguel do trator	0,766 US$/ton.
Óleo de trator	1,548 US$/ton.
Transporte	2,80 US$/ton.
Manutenção do campo	5% do capital

Fonte: Therdyonthin, A. 1992

Esta alternativa mantém a caldeira antiga e incrementa a produção de vapor através da compra de uma caldeira de alta pressão. A caldeira mais antiga continua gerando vapor para a alimentação do processo de vapor e a caldeira nova, com pressão maior, alimenta o circuito de geração de energia elétrica. O excesso de vapor dos dois processos se dá somente no processo de fabricação de açúcar com pressão reduzida de 1,5 kgf/cm^2 .

A figura 4.2 mostra um esquema do processo de geração de energia elétrica favorecendo a utilização na entressafra.

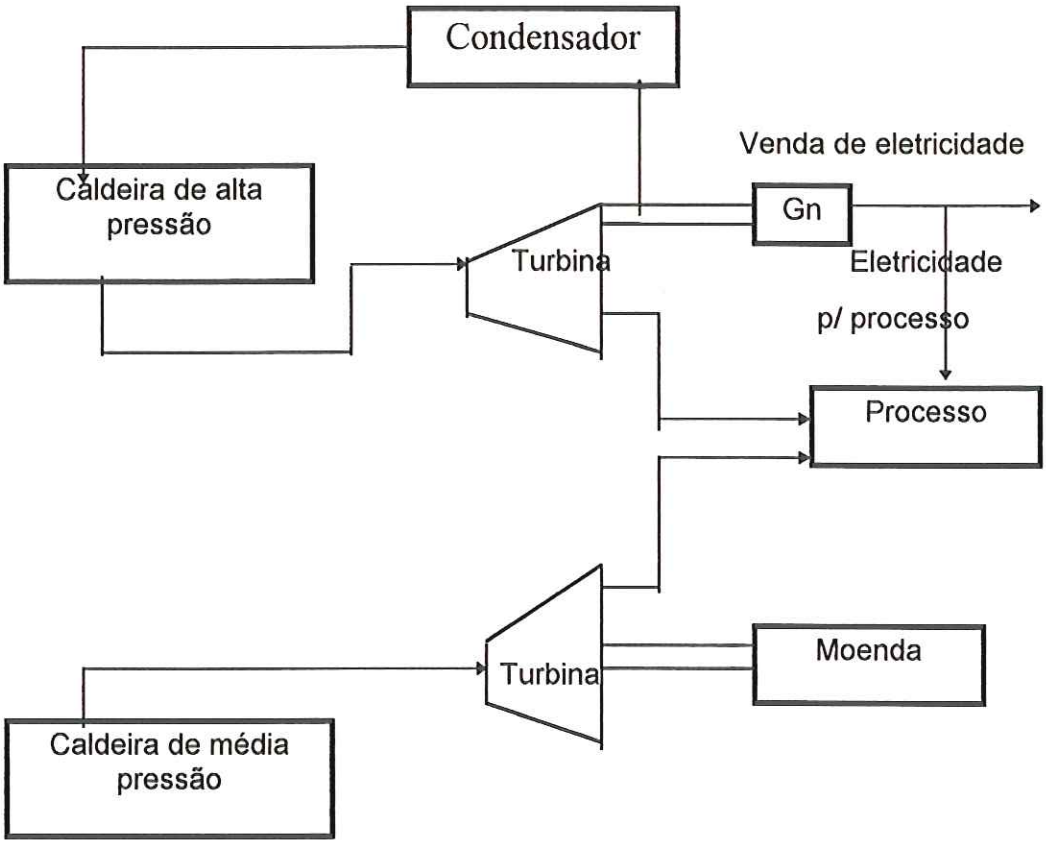


FIGURA 4.2 -FLUXO USANDO PALHA DE CANA

Fonte: Therdyothin, A. apud Schematic diagram of the CEST system

Uso de turbina com extração e condensação - Sistema DCEST(Double Condensing Extraction Steam Turbine). A eficiência do sistema de média pressão das caldeiras é baixa, podendo superar o sistema anterior, caso se use uma pressão mais alta e se retire a caldeira de baixa pressão. A turbina de extração assume a alimentação do vapor a 17 kgf/cm^2 e sai a 1,5 kgf/cm^2 para as turbinas nas moendas e para o processo de produção de açúcar. Durante a safra, produz vapor de 61 kgf/cm^2 na caldeira de alta, na entressafra o trabalho com tubulações exclusivamente de condensado.

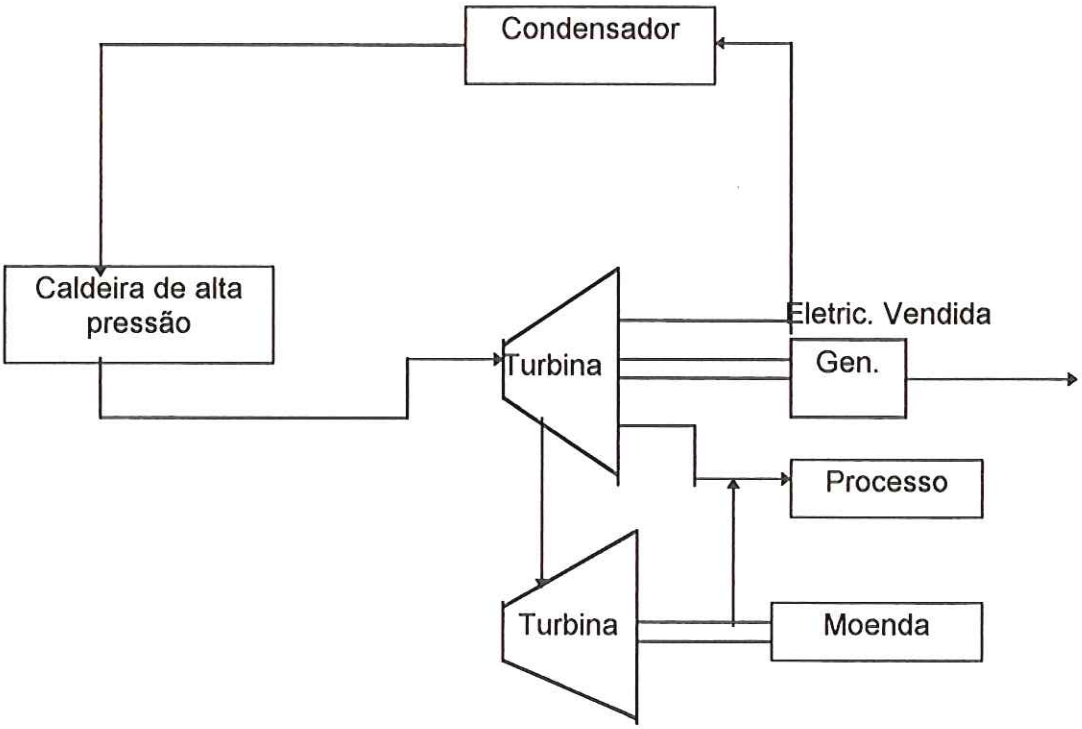


FIGURA 4.3 -FLUXO USANDO TURBINA DE EXTRAÇÃO E CONDENSAÇÃO
Fonte: Therdyothin, A.

O investimento é similar ao sistema anterior, exceto pela caldeira de mais alta pressão. A tabela 4.3 mostra um resumo dos gastos para a implantação do projeto e o retorno de capital para cada investimento que foi citado acima.

Tabela 4.3 - Resumo da Avaliação Financeira

		Bagaço seco Capacidade		Palha de cana (cane Trash) Capacidade		CEST Capacidade		DCEST Capacidade	
Itens	Unid	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Capacidade Eletricidade	MW	11,2	0,5	15,2	0,5	49,3	2,3	51,0	2,5
Venda de Eletricidade Safra	GWh	23,1	1,4	19,1	1,2	104	2,2	125	2,2
Venda de eletricidade na entressafra	GWh	-	-	98,1	2,8	316	11,5	328	12,1
Investimento	US$M	1,5	0,06	1,4	0,03	64,1	11,2	65	11,6

Operação	US$M	0,06	0,01	2,6	0,16	5,1	0,7	4,9	0,71
Manutenção	US$M	1,1	0,07	5,6	0,24	19,8	0,9	20,6	1,1
Custo de geração	C/kWh**	1,20	0,44	2,44	3,40	4,08	12,64	3,92	12,24
IRR*	%	200	39	400	85	23	0	24	0

* O custo e a IRR é baseada em 13% anual e vida útil de equipamento de 10 anos

**Cent/Kwh

Fonte: Therdyothin, A. 1992

Além destas alternativas, existia o fornecimento já realizado pela usinas de energia elétrica obtido através de excesso de eletricidade produzida pelas usinas para seu próprio uso.

As cinco alternativas foram analisadas por uma equipe composta por: um representante da EGAT, das usinas de açúcar, da administração nacional de energia, da Office of Cane e Sugar Boar e um engenheiro de energia.

Os critérios adotados para análise da alternativa a ser adotada foram:

- investimento do setor privado;
- investimento do governo;
- custo operacional;
- dependência de manutenção estrangeira e
- avaliação da situação atual das usinas.

O governo, quando investiu na proposta de cogeração, não levou em consideração somente os valores financeiros, mas também o impacto social e ambiental. Os critérios são:

- Critério Financeiro

A análise está relacionada com a quantidade de capital que a iniciativa privada teria de investir. Este investimento seria representado pelas melhorias que as usinas teriam que fazer para cogerar energia. O investimento do governo seria a infra-estrutura para que o país continuasse crescendo com as mesmas taxas existentes. Os custos operacionais seriam divididos entre iniciativa privada e EGAT.

- Critério de impacto ambiental

A única análise feita foi quanto à emissão de SO_2 da fábrica, que será considerado para avaliar o impacto ambiental de diferentes alternativas;

- Critério do impacto social

A grande preocupação do governo é utilizar as inovações como forma de geração de empregos diretos e indiretos, evitando recessão no país. Neste critério, foi analisado quantos empregos seriam gerados em cada alternativa; de quanto seria a utilização da mão-de-obra do próprio país sem a preocupação de haver pessoas de outros lugares para fazer manutenção ou administrar a usina, e se os recursos, tanto humano quanto de matéria-prima para implementar cada alternativa eram viáveis para o país.

Segundo Therdyothin, a secagem do bagaço e a palha da cana (cane trash) apresentam um retorno atraente para o sistema de cogeração. Estas alternativas foram utilizadas em diversas usinas.

De acordo com a análise feita utilizando os critérios citados. A escolha dos representantes para a comissão de análise da cogeração no país foi pelos sistemas SECST e DESCT. Apesar de os dois sistemas terem um custo maior, possuem uma quantidade menor de emissão de SO_2 , evitando a poluição do meio ambiente e retirando a grande dependência de combustível estrangeira. Além desta vantagem, a geração de empregos ajudaria o país a crescer, evitando uma crise social com a mudança de tecnologia.

A Tailândia é hoje um país que utiliza os sistemas de parceria para a geração de energia elétrica. A legislação do país já prevê a cogeração com a iniciativa privada e que análise deve ser feita para a liberação da utilização deste serviço. O país evitou um colapso econômico.

Tabela 4.4- COMPARAÇÃO DAS ALTERNATIVAS SELECIONADAS

Critérios	Geração atual	Secagem do bagaço	Sistema Cane trash	Secst	Desct
investimento privado M US$	0	32	27	1.767	1.796
EGAT M US$	749	745	498	20	0
Custo operacional	139	139	137	81	76

M US$/ano					
SO_2 ton/ano	110	109	84	43	43
Emprego M-Homem-dia/ano	2,1	2,2	4,5	2,5	2,4
Índice de dependência	0,45	0,43	0,44	0,68	0,69
Índice avaliação	0,40	0,42	0,42	0,21	0,21
Potencial de eletricidade GWh	388	467	2.140	7.732	8.006

Fonte: Therdyothin, A. et Al 1992

O governo regulamentou a geração de energia, deu apoio à modificação das usinas; em contra partida, elas passarão a ser responsáveis pelo aumento da geração de energia elétrica. A parceria foi um dos pontos importantes para a concretização deste processo na Tailândia.

4.3 Caso Havaí

O Havaí possui uma história de produção de energia elétrica de 150 anos. O bagaço de cana é o combustível utilizado pelo Havaí bem antes de 1840. Neste período, o Havaí usava caldeira de baixa pressão, que consistia em um conjunto aberto sobre madeira e turbo geradores. O bagaço era queimado para concentrar o açúcar. Em 1861, passaram a utilizar a panela a vácuo, que passaram a chamar de caldeiras , dando ao Estado um grande desenvolvimento. Estes equipamentos aumentaram a eficiência das usinas até 1900, quando foi instalada a primeira turbina a vapor (Kinoshita, 1990).

A eletricidade utilizada no Estado era proveniente das hidrelétricas. Além de grandes quedas de água, utilizavam pequenas unidades geradoras com capacidade de produção de 750 KW. A demanda por eletricidade aumentou muito com a construção de uma grande empresa - a Hawarian Commercial and Sugar Company.

Esta nova empresa provocou um crescimento grande na região. Ela gerava energia através do bagaço e utilizava tubo-geradores para que isso

acontecesse. Utilizava caldeiras de alta pressão, diferentes das utilizadas nas usinas da região que foram estimuladas a mudarem para continuar no mercado.

O governo percebeu uma parceria forte entre as usinas e as empresas de geração de energia; passou, então, a incentivar a mudança dos equipamentos das várias usinas da região.

As hidrelétricas tiveram um papel importante no processo de expansão da eletricidade, pois, através delas, houve uma crescimento na demanda e modificação de tecnologias utilizadas. Porém, chegou um momento em que não eram mais suficientes para suprir a demanda exigida pelo crescimento. A cogeração passou a ser uma alternativa rápida, que não causava grandes problemas ecológicos ou de geração de resíduos, além de aproveitarem os recursos já existentes na região(Kinoshita,1990).

As usinas de açúcar passaram a produzir mais energia que as próprias distribuidoras, tornando a cogeração uma atividade normal na região. Estas modificações ocorreram da ilha Kawai, na Lihue Plantation Company. Houve um aumento da quantidade de vapor gerada, da eletricidade e também redução nos custos devido à utilização de palha de cana (cane trash) e bagaço como combustível.

A concretização do processo de cogeração ocorreu quando uma grande usina chamada Puna Sugar Company utilizou o excedente de energia gerado para abastecer comunidades pequenas nas redondezas da usina, fazendo um convênio com a Hilo Eletric Light Company. Com este exemplo, várias usinas perceberam o bom investimento e o novo produto criado em sua cadeia de valores e resolveram gerar energia também. Assim foram formadas cooperativas de abastecimento energético. O resultado foi positivo. A concorrência foi um dos maiores incentivos para que outras usinas passassem a produzir energia. O crescimento da região foi grande, a capacidade geradora também aumentou. O aumento da quantidade de cooperativas de geração forçou o governo a criar leis que normalizassem a geração e venda de eletricidade através de usinas de açúcar para empresas

de distribuição ou concessionárias. O governo normalizou as vendas para tornar oficial a cogeração da iniciativa privada (Kinoshita, 1990).

O Havaí também utilizou hidrelétricas para a geração de energia e os leitos dos rios para a irrigação de plantações de cana, arroz e outras culturas da região.

A indústria açucareira havaiana secava o bagaço ao sol antes de queimá-lo, pois a umidade logo depois da moagem era alta, sendo necessário um adicional de carvão e lenha para que houvesse queima eficiente. Com algumas modificações feitas nos equipamentos de moagem, a qualidade do bagaço melhorou. O processo de consolidação de unidades de cogeração terminou em 1980, quando foram instaladas 9 caldeiras de baixa pressão e três turbo-geradores. Ocorreu aumento de produção de vapor e eletricidade, além de uma melhor utilização da palha da cana (cana trash) e outros processos de geração de energia através da cogeração (Kinoshita, 1990).

No Havaí - não é do conhecimento da autora a tecnologia utilizada - utilização do bagaço é uma realidade na cogeração de energia elétrica. O governo normalizou, através de leis, a transferência e a geração de energia a partir de usinas de açúcar. Este fato incentivou as usinas havaianas a melhorarem a qualidade do fornecimento e a eficiência do processo. O governo tem uma preocupação grande com a poluição ambiental. O bagaço de cana ajudou a melhorar este fato, além de facilitar economicamente a geração de energia. As usinas havaianas fornecem cerca de 10% da eletricidade gerada ao Estado.

4.4 Caso do México

No México, segundo Martinez e Best, foram levantadas diversas alternativas para suprir a demanda de energia que estava em processo de escassez. A geração de energia foi dividida entre elétrica e não elétrica. As fontes primárias consideradas pela política de diversificação a médio e curto prazo são: coque, hidrelétricas, energia geotérmica, bagaço, lenha, energia nuclear, energia solar e energia eólica. Porém, o México, ao

contrário dos exemplos citados, optou pela diversificação devido às variáveis escolhidas para análise (não apenas variáveis financeiras); fontes que gerassem energia em quantidade aceitável, rapidamente, com custo pequeno e que ajudassem no crescimento econômico do país.

Não foram colhidos dados para este trabalho em que constem alternativas mais detalhadas para a crise energética do México. Todos os dados colhidos mostram que a preocupação da diversificação energética existe no país, porém que alternativas foram levantadas para modificar esta situação não são conhecidas.

4.5 Caso do Brasil

O crescimento do Brasil vem tornando-se uma realidade. A Eletrobrás fez uma previsão de crescimento do consumo de energia elétrica de 3% ao ano entre 1986 a 1993. A previsão foi adiada devido às diversas mudanças por que o país passou(Plano 2010, Eletrobrás). O consumo de energia elétrica vem crescendo em média cerca de 3% ao ano como havia sido previsto e para 1997, o crescimento será de 7,5%[2]. O consumo de energia elétrica está aumentando e a estrutura hidrelétrica não é suficiente para acompanhar o crescimento. Durante o verão sempre ocorre uma expectativa muito grande, em virtude da diminuição dos leitos dos rios para 1/3 de sua capacidade. As hidrelétricas em construção estão sem recursos para serem terminadas, além do governo enfrentar uma crise econômica devido aos altos custos e aos prejuízos devido a falta de um planejamento adequado. Várias mudanças vêm sendo tentadas para estruturar as contas públicas, entre as quais ganha ênfase a privatização, da qual o setor elétrico não está isento.

Esse contexto de mudanças vem ocorrendo desde a década dos 70 com a crise do petróleo, que obrigou o país a pesquisar novas fontes geradoras de energia devido à escassez do produto e à instabilidade política vivida pelos países do Oriente Médio. Depois da crise do petróleo e

[2] Jornal da Globo, 06/08 e 08/08/96

a crise econômica vivida no país, toda alternativa de geração de energia passou a ser analisada profundamente. A cogeração com o uso do bagaço passou a fazer parte do dia-a-dia das usinas. As modificações para aumentar a quantidade de energia produzido são pequenas diante do investimento que o governo precisaria fazer para suprir as necessidades do país. A maior preocupação do governo é não comprometer o crescimento econômico do país; assim, várias alternativas têm sido analisadas para melhorar a matriz energética nacional e a cogeração é uma das que está sendo levadas em consideração. Outras fontes, também, vêm sendo analisadas, mas deteu-se nesta alternativa devido ao potencial regional do Estado de São Paulo e à facilidade de geração de energia aí encontradas.

A opção por construir novas hidrelétricas só aumentará a capacidade geradora do sistema em um prazo aproximado de 8 anos, se não houver problemas de verbas ou mudanças nas prioridades do país. A decisão de construir novas obras depende muito da posição política e da situação econômica em que se encontra o governo. Além disso somente usinas de grande porte trariam uma diferença significativa para a matriz energética nacional(Eletrobrás,1994).

O parque gerador de energia elétrica é constituído principalmente de usinas hidrelétricas. A produção bruta total de energia elétrica em 1991 alcançou 248,6 bilhões de kwh, dos quais cerca de 97% de origem hidráulica. A produção térmica é outra alternativa encontrada no país. Ela se destina ao abastecimento de regiões isoladas ou à complementação dos sistemas existentes quando da ocorrência de períodos hidrologicamente desfavoráveis (caso do verão) ou de problemas de atendimento localizado (caso da região norte). As usinas térmicas representam 4,1 Gw, ou seja, menos de dez por cento da capacidade total do sistema de geração de energia elétrica.

As usinas térmicas já são utilizadas em grande número no Brasil. As principais são encontradas em Manaus, Porto Velho, Rio Branco, Boa Vista, Macapá, São Luiz, Camaçari, Bongi, Igarapé, Campos, São Gonçalo, S.

Cruz, Piratininga, Carioba, Nutepa e Alegrete. Elas utilizam gás natural e derivados de petróleo.

As razões utilizadas pelo governo para a instalação de uma usina térmica têm sido:

- uso complementar no sistema interligado para garantia de suprimento;
- regulagem da tensão e estabilização do sistema elétrico;
- atendimento de localidades isoladas;
- autofornecimento de alguns consumidores.

À medida que se aproxima o esgotamento do potencial hidrelétrico , as usinas térmicas vão passar gradualmente a ser operadas como base e não mais como complemento de capacidade. A época desse fato ocorrer dependerá do ritmo de expansão do mercado, das definições da sociedade brasileira quanto ao aproveitamento das usinas hidrelétricas da Amazônia e da viabilidade econômica, técnica e ambiental das opções térmicas alternativas.

São características do sistema elétrico brasileiro:

- reservatórios com regularização plurianual, com capacidade de estocar água para utilização durante vários anos, em períodos de afluências reduzidas;
- grandes distâncias entre as fontes produtoras e os centros consumidores;
- bacias hidrográficas com diversificação hidrológica, que apresentam diferenças entre suas distribuições de vazão ao longo do ano;
- elevado grau de interligação elétrica entre sistemas de bacias;
- grande parte do potencial hidrelétrico ainda disponível.

Apesar de possuir características que facilitam a utilização de fontes hidro, seja com grandes ou pequenas quedas d' água, nas próximas décadas a perspectiva é o crescimento do consumo de energia elétrica, e a utilização de fontes de geração como: carvão, gás natural e petróleo, lenha e outras alternativas precisarão ser aplicadas para compensar a

desaceleração do setor hidrelétrico. Fontes como o bagaço e palha de cana, também serão utilizadas para evitar um colapso energético com o aumento do crescimento econômico. A expansão da oferta deverá ser cada vez maior não somente em geração, mas também na transmissão da energia de grandes usinas construídas a longas distâncias dos centros consumidores (Eletrobrás,1994).

O Brasil experimentou, nos últimos anos, um rápido desenvolvimento, e atualmente conta com um vasto parque industrial caracterizado pela diversidade de setores, que, na maioria dos casos, empregam combustíveis para a geração do vapor utilizado em seus processos produtivos. Este fato tem a tendência a aumentar. Algumas empresas já utilizam vapor gerado a partir combustíveis alternativos, pois se o setor hídrico possui problemas de escassez, o petróleo possui problemas de abastecimento devido às fontes produtoras. Além de produzirem vapor, as empresas passarão a gerar energia elétrica também. Desta forma, onde há produção de vapor, pode-se associar um potencial de energia elétrica, e a factibilidade do emprego da cogeração estará associada ao custo dos combustíveis empregados para a geração de vapor e de eletricidade (Eletrobrás, 1994).

Acredita-se que possa haver uma forte expansão da autoprodução de energia nos próximos anos, motivada pela maior economia e racionalização do uso da energia ou pelas preocupações com a garantia de suprimento de eletricidade.

Em 1989, a geração de eletricidade era cerca de 10,3 Gwh;. Foi criado um grupo de trabalho pelo Ministério das Minas e Energia para realizar estudos com vistas à formulação de uma política de aquisição de energia proveniente de autoprodutores, por parte das concessionárias (Eletrobrás,1994). Esse grupo vem realizando encontros, contatos e negociações entre o governo e os autoprodutores para viabilizar a utilização deste processo na base da matriz energética nacional.

A cogeração surgiu como uma boa alternativa de aumento da matriz energética nacional, dadas as limitações econômicas das concessionárias

de eletricidade. O documento do DNAEE[3](1990) apresenta uma capacidade instalada de turbinas a vapor de 1.989 MW, dos quais 848 Mw no setor sucro-alcooleiro. O potencial não explorado é de cerca de 2.811 Mw, e 2.065 Mw só no setor sucro-alcooleiro (Zylbertztajn, 1994). A Eletrobrás constatou, em 1986, 2.626Mw de capacidade instalada em turbinas a vapor espalhadas pelos estados.

O bagaço era um grande inconveniente para as usinas[4] . Ele acumulava-se rapidamente, sem poder ser jogado somente nas lavouras devido ao volume muito alto. Através de estudos feitos nas usinas e através dos órgãos de apoio, foi descoberto seu valor energético e da vinhaça (outro subproduto rico em compostos orgânicos) e mais tarde da palha da cana. Essas pesquisas proporcionaram a substituição do óleo e da lenha sem perda para o processo. O volume de cinzas do bagaço é baixo em relação ao carvão e à lenha, e seu custo já esta embutido no produto fabricado.

Assim como no Havaí, na Tailândia e no México, o Brasil passou a considerar a cogeração como uma alternativa a princípio viável a curto prazo[6]. A Eletrobrás juntamente com a Coopersucar desenvolveram um trabalho em uma usina de açúcar e álcool do Estado de São Paulo, com o objetivo de levantar um custo médio para a cogeração de energia a partir do bagaço de cana. O estudo mostrou a viabilidade da proposta, porém com problemas no preço da tarifa, que deveria ficar por volta de US$ 55 Kw/h baseando-se em diversas alternativas. Porém, levantar um custo médio exato é difícil, já que a diferença entre usinas de açúcar e álcool é grande. Os investimentos necessários em cada uma também variam dependendo do tipo de equipamento existente. Desta forma, alguns dados e possibilidades foram apresentados como alternativas de curto prazo. Estas

---

[3] DNAEE - Departamento Nacional de água e energia elétrica - órgão regulador do setor elétrico vinculado ao ministério das Minas e Energia.

[4] Comunicação Pessoal - Usina São Martinho, 1995

[6] Comunicação Pessoal - Coopersucar -1996

não resolveriam o problema de escassez de energia elétrica, mas acrescentaria à matriz energética cerca de 10%, aliviando a necessidade urgente de geração de energia (Coelho, 1992). A seguir, faremos um resumo das alternativas que foram consideradas viáveis pela Eletrobrás e pela Coopersucar para a implementação da cogeração nas usinas de açúcar e álcool, segundo Coelho, 1992.

Atualmente o bagaço é queimado "in natura" em caldeiras de rendimento de 50 a 70%, produzindo vapor de pressão e temperatura relativamente baixas (21 kgf/cm^2 , 250°C). Este vapor alimenta as turbinas, que expandem até 1,5 kgf/cm^2, indo para o processo de produção de açúcar e álcool. Aumentando-se a pressão do vapor na caldeira até 60 kgf/cm^2 ou 80 kgf/cm^2 e introduzindo-se o condensador, aumenta-se a potência produzida na turbina. A extração intermediária permite o fornecimento de vapor no processo (1,5 kgf/cm^2). Por outro lado, a redução do consumo de vapor no processo permite maior geração de energia elétrica, usando-se o vapor disponível para expansão na turbina a vapor. Este processo é conhecido como CEST - Condensing Extraction Steam Turbine e já é utilizado na Tailândia e Havaí. Nele, o vapor expande diretamente na turbina de alta com extração (1,5 kgf/ cm^2) e vai para o processo. Nesses casos, o rendimento de cogeração é maior.

Foram consideradas duas possibilidades para análise:

a) manutenção do consumo de vapor no processo de 368 kgv/tc;

b) redução do consumo de vapor em cerca de 10%.

A tabela 4.5 mostra a diferença de rendimento das turbinas, permitindo a avaliação da alternativa de reduzir o consumo de vapor em 10%, para utilizá-lo na geração de energia elétrica. Esta foi uma das primeiras alternativas levantadas antes de realizar qualquer modificação no processo de produção.

Tabela 4.5 - Comparação dos rendimentos das turbinas a vapor

Rendimento do processo	Rendimento da turbina a vapor		
Consumo de vapor(Kwh/tc)	*60%*	*70%*	*80%*
368	96,51	112,60	128,80
%	14,06	16,40	18,74
331	98,21	114,57	130,94
%	14,30	16,69	19,07

Fonte: Coelho, 1992 apud Coopersucar, 1991; Trevisan 1980

Quando o vapor de alta pressão expande diretamente na turbina, sendo feita a extração apenas para o processo, a eficiência aumenta. Na turbina de condensação-extração com vapor a 80 kgf/ cm^2 e 470°C, ocorre apenas uma extração de vapor de 1,5 kgf/ cm^2 . Com o mesmo consumo de vapor no processo, o aumento de pressão na caldeira eleva o rendimento do processo de cogeração, pela maior entalpia do vapor alimentado na turbina. Com estes resultados, podem-se atingir rendimentos semelhantes a empresas de biomassa nos Estados Unidos (Coelho, 1992 apud Williams e Larson, 1992).

A Coopersucar analisou uma usina de porte médio processando 300 Tc/h, produzindo 400.000 lts/dia de álcool e 6.500 sacas/dia de açúcar. Com o processo já descrito sem as turbinas de condensação, levantou as alternativas que serão discutidas logo abaixo.

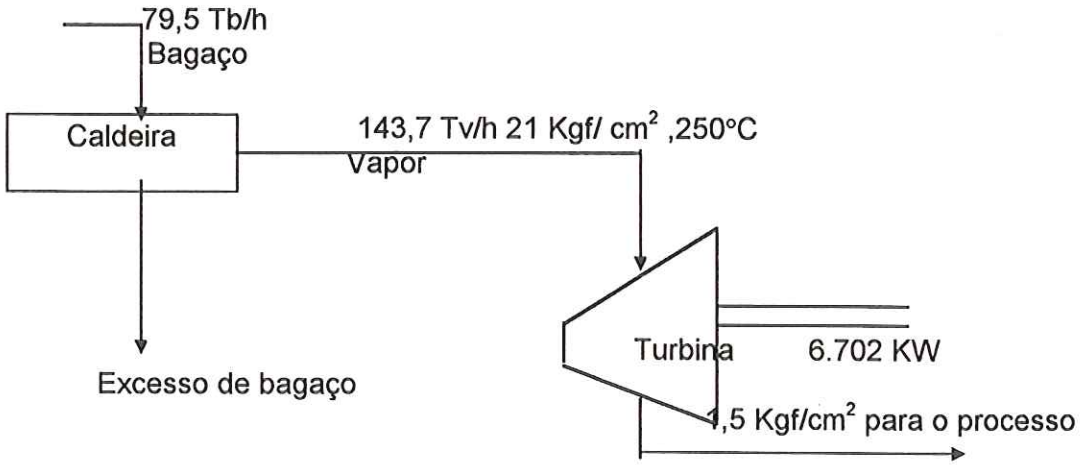


FIGURA4.4 - DIAGRAMA DO PROCESSO PELO QUAL O VAPOR PASSA

Fonte: Coelho, 1992, apud Coopersucar/Eletrobrás -1991

O processo da usina analisada pela Coopersucar possui uma caldeira que produz vapor de 21 kgf/ cm^2, 250°C. O bagaço é queimado na caldeira gerando vapor de 1,5 kgf/ cm^2 para o processo. O turbo-gerador produz 6.702Kw ou 22,34 Kwh/tc dos quais 0,5 Kwh/tc são excedentes de eletricidade. Diante desta realidade, descreveremos, segundo Coelho, as quatro alternativas levantadas para a melhoria da cogeração:

a) diminuição do consumo de vapor;

b) utilização de uma turbina de condensação;

c) uma turbina de extração/condensação e aumento da pressão na caldeira;

d) utilização de uma caldeira de 80 kgf/ cm^2 e turbina de extração/condensação.

A proposta da alternativa A é diminuir o consumo de vapor da destilaria com a conservação de energia, de 479 para 426 kg de vapor/Tc. Com esta redução de consumo sobrará bagaço. Com a instalação de uma nova caldeira e a melhoria do desempenho caldeira/turbina, haverá a extração para o processo e para a geração de eletricidade. A geração subirá de 6.702 para 8.370 Kw. A figura 4.5 demonstra como ficará o novo processo.

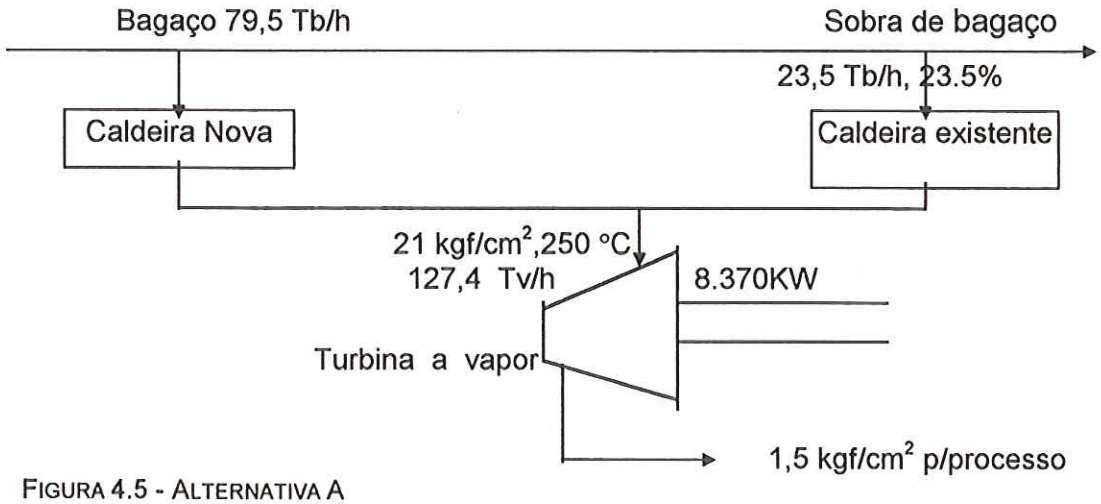


FIGURA 4.5 - ALTERNATIVA A

Fonte: Coelho, 1992, apud Coopersucar, 1991

Na alternativa B, mantém-se o mesmo consumo da destilaria citado na alternativa anterior, mas investe-se no aumento da eficiência do processo de cogeração de eletricidade. São introduzidos novas caldeiras e um novo turbo-gerador utilizado com condensação; isto aumenta a potência produzida pela turbina. A redução da pressão de saída (0,3 atm) diminui a entalpia do vapor. Produz-se vapor para o processo 425,8 Tv/tc (127,74 Tv/h) e também para a turbina, processo que pode ser operado na entressafra. Na situação atual o condensado volta para caldeira. A utilização do bagaço na entressafra deverá trazer novamente a idéia de utilização da palha da cana como combustível. A figura 4.6 mostra como ficaria o novo fluxo de vapor.

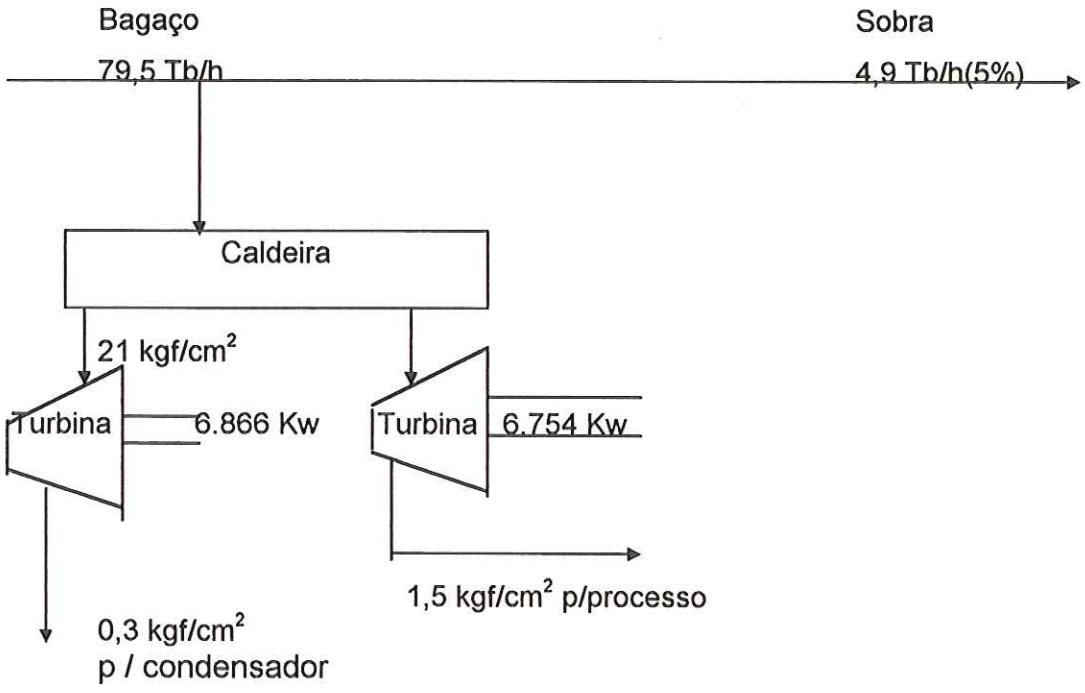


FIGURA4.6 - ALTERNATIVA B

Fonte: Coelho, 1992 apud Coopersucar, 1991

No caso C, são propostas duas alternativas:

a) o consumo de vapor no processo é reduzido para 368 Tv/c aumentando a disponibilidade de vapor;

b) aumenta-se a eficiência do processo de cogeração com a elevação da pressão para 60 kgf/cm^2 e instala-se uma turbina de extração/condensação.

Parte do bagaço é queimado nas caldeiras de 21 kgf/cm^2 , 300°C e 66,8 Tv/h, e o restante na caldeira de alta pressão de 60 kgf/cm^2, 450°C (100 Tv/h), suprindo a turbina extração/condensação. Uma parte do vapor é extraído para turbinas de baixa pressão e se expande até a pressão do processo que é 1,5 kgf/cm^2 . O restante do vapor expande na turbina de alta pressão até a pressão do condensador (0,3 atm).

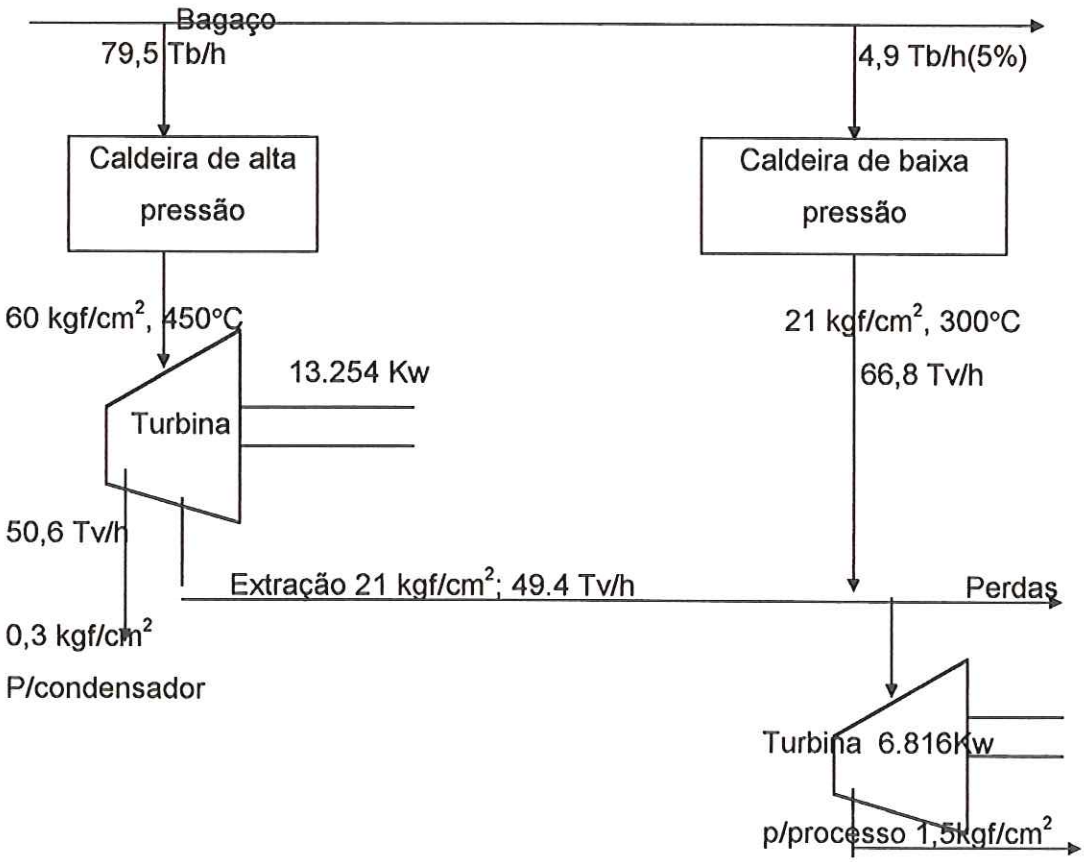


FIGURA 4.7 - ALTERNATIVA C

Fonte: Coelho, 1992 apud Coopersucar, 1991

O balanço da energia elétrica produzida na alternativa C é:

Turbina de alta = 13.254 Kw

Turbinas de baixa	=	6.816 Kw
Total gerado	=	20.070 Kw
Consumo na usina (-)	=	7.560 Kw
Excedente gerado	=	12.510 Kw

Na Alternativa D, são introduzidas as seguintes modificações:

a) uma maior redução no consumo de vapor pela destilaria, atingindo 332 kgv/tc; maior rendimento do processo de geração de eletricidade, com o aumento da pressão de trabalho na caldeira para 80 kgf/cm^2 e com a introdução de uma turbina de condensação/extração, com duas extrações (21 kgf/cm^2 e 1,5 kgf/cm^2).

Com maior pressão de trabalho, a caldeira aumenta a potência produzida na turbina. Nesse processo, é usado todo o bagaço disponível na nova caldeira, gerando-se vapor para a nova turbina (158.4 Tv/h, 80 kgf/cm^2). São realizadas duas extrações: a primeira à pressão de 21 kgf/cm^2, para turbinas de baixa pressão existente; a segunda à pressão de 1,5 kgf/cm^2, para o processo. O restante do vapor expande até a pressão do condensador.

O balanço energético previsto é:

Turbina de alta pressão		22.863 Kw
Turbina de baixa pressão	+	3.087 Kw
Total gerado		25.950 Kw (86,5 Kwh/tc)
Consumo da usina		- 7.740 Kw(25,8 Kwh/tc)
Excedente gerado		18.210 Kw (60,7 Kwh/tc)

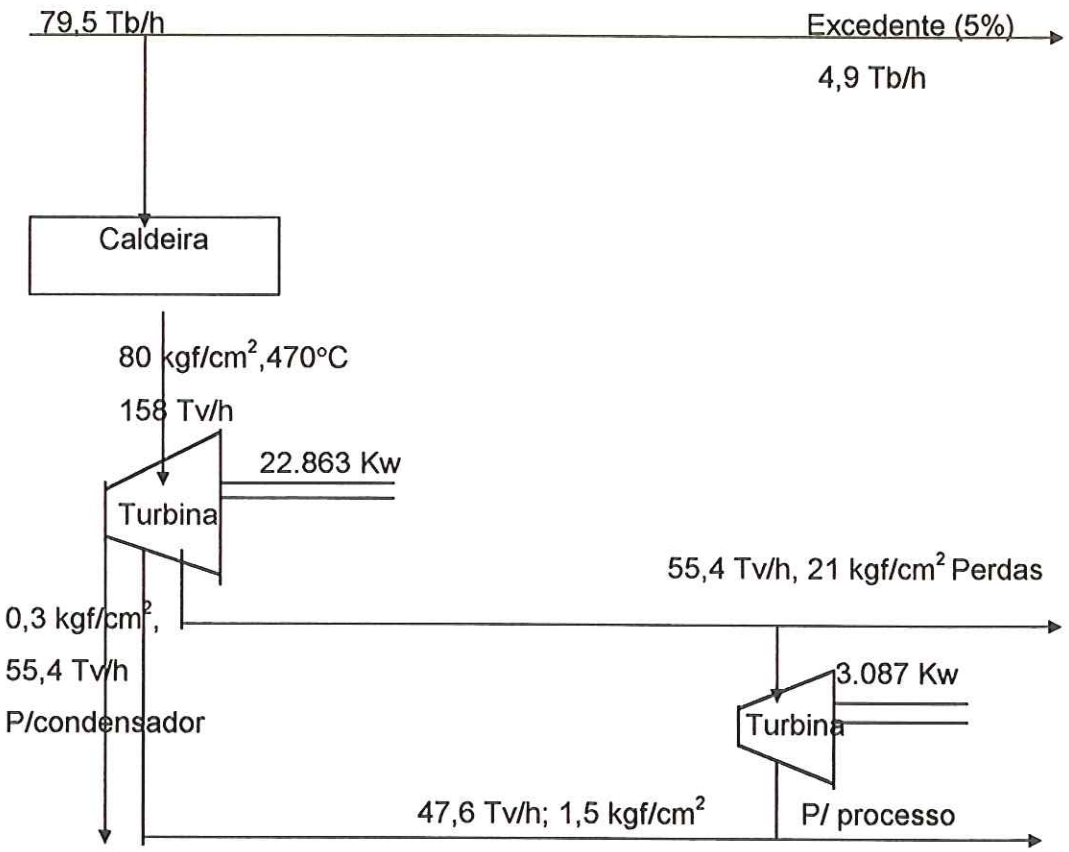


FIGURA 4.8 - ALTERNATIVA D

Fonte: Coelho, 1992, apud Coopersucar, 1991

As alternativas levantadas pela Coopersucar e Eletrobrás, no Brasil, foram exaustivamente discutidas no setor. São muitas as dificuldades para a expansão do setor elétrico, em conseqüência da situação econômica do País e os impactos ambientais provocados pelas usinas termelétricas e hidrelétricas, bem como das restrições existentes ao aumento do parque hidrelétrico, responsável tradicionalmente pela maior parte da potência instalada no Brasil (Coelho,1992). Em novembro de 1992, foi assinado um protocolo entre o governo do Estado de São Paulo, as concessionárias de energia elétrica e os produtores de açúcar e álcool, tornando a cogeração um programa oficial. A participação do Estado de São Paulo na produção de cana é de 65%, e a taxa anual de crescimento por safra é de 3% ao ano (Coelho, 1992). Devido às condições técnicas analisadas e à situação de

emergência em que se encontra o país, a utilização do bagaço de cana é viável para gerar energia elétrica.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

5.1 Introdução

O setor elétrico brasileiro foi estratégico para diversas áreas, como construção civil, desenvolvimento de equipamentos de geração, criação de novos órgãos de controle e fomento de pesquisa e desenvolvimento. O emprego da energia elétrica provocou uma série de transformações na sociedade brasileira. O quadro teve algumas variações devido às crises econômicas ocorridas no País, mas continua sendo um setor estratégico. Ele exige do governo decisões que ajudem o país crescer em diversas áreas. A cogeração trás a possibilidade de inovação no setor, bem como provoca alívio financeiro ao governo, pois o setor se auto-sustenta, não exigindo investimentos de grande porte como na construção das hidrelétricas. O governo, atualmente, não tem suporte financeiro para grandes investimentos pois os retornos são de longo prazo. os recursos necessários seriam em torno de US$ 56,2 bilhões ate o ano 2000; para 2001 a 2010 estimam-se US$ 130 bilhões. Somente para terminar as obras das hidrelétricas em andamento no Estado de São Paulo, faltam US$ 2,5 bilhões (Eletrobrás, 1994).

O Brasil passa por uma nova fase em sua história. Uma fase de desenvolvimento racional, em que gastos desnecessários são evitados e o estímulo à iniciativa privada tem sido estimulado.

Hoje, As taxas cobradas a população são irreais, devido às pressões administrativas[1] . Durante os períodos de inflação alta manteve-se o mesmo valor das tarifas causando prejuízos às concessionárias. Os custos foram aumentando, sem a preocupação de acompanhar o valor passado da demanda. Não há dinheiro para investimentos devido a imensa dívida que o governo possui. No momento atual a história vivida no milagre econômico brasileiro, onde o governo assumia dívidas privadas, isentava a iniciativa privada de taxas, liberava empréstimos com facilidade, passa a ter um sentido inverso. O governo começou o processo de privatização de suas empresas minimizando seus custos. A utilização da iniciativa privada na área de energia elétrica libera o governo de investimentos altos em novos equipamentos, novas pesquisas e na implantação das novas tecnologias.

A globalização é uma realidade presente. O Brasil vive de perto essa fase com a abertura de suas fronteiras para novas empresas e novas tecnologias. O crescimento do Brasil depende, não só, do surgimento de novas empresas, melhor distribuição de renda da população, melhoria da educação. A base do o crescimento depende do crescimento energético.

Uma outra preocupação é com o surgimento de novas usinas de açúcar e álcool, ou a exploração do cultivo da cana que poderia causar desequilíbrio do cultivo da cana causando desequilíbrio ecológico e desemprego. Esta é uma preocupação não somente do governo brasileiro, mas de todos os países que utilizam energia alternativa. A legislação, normalizando a exploração da geração de energia elétrica pela iniciativa privada, precisa ser criteriosamente analisada e estudada para evitar prejuízo a população.

A utilização do bagaço de cana como fonte de energia já é uma realidade nas usinas brasileiras e em outros setores como o papel e

celulose, porém para produção em maior quantidade seria necessário investimentos em novos equipamentos para que a quantidade de energia necessária fosse gerada. A iniciativa privada é caracterizada pelo lucro, logo o investimento que deverá ser feito deve ser compensador financeiramente. As tarifas cobradas deverão ser compatíveis para ambos os lados (governo e usinas). O país não pode ser prejudicado nessa negociação.

A grande questão é o ajuste das tarifas de energia elétrica que poderiam aumentar em proporções maiores do que a população suportasse, porém sendo normalizado e fiscalizado o fornecimento pela iniciativa privada através da cogeração com certeza esse problema poderia ser superado. Uma outra questão é o desemprego da mão-de-obra não especializada (bóia-frias). Com a cogeração sendo feita durante todo o ano parte da mão-de-obra que sairia do campo devido a mecanização da lavoura seria aproveitada no trabalho de cogeração.

A questão ambiental também tem sido um questionamento constante. Com a utilização do solo para uma monocultura poderia haver problemas com o solo, mas o aumento das plantações de cana-de-açúcar já é uma realidade, assim não haveria mais problemas do que os já existentes. Alguns pequenos produtores poderiam expandir suas plantações já que a produção de açúcar e álcool com certeza cresceria como mostra o aumento da safra de 1995/1996 de 7,5%, além do esperado.

O bagaço da cana seria utilizado não somente das próprias usinas, mas de usinas menores que não precisassem utilizá-lo para cogeração. O produto existe em abundância e possui seu custo imbutido no custo de produção do açúcar e do álcool.

Existem estudos sendo realizados com outras fontes alternativas de geração de energia elétrica, porém são todas em caráter experimental sem muito para ser feito a curto prazo, que acrescentasse percentuais consideráveis na matriz energética nacional. A água passa a ser um

[1] Plano 2015 - Eletrobrás

elemento caro e escasso a cada ano no Brasil e no mundo. O governo incentiva campanhas de conservação para evitar racionamento, porém durante o verão grandes cidades brasileiras, como São Paulo, passa sérios problemas de racionamento. A energia elétrica do Brasil vem basicamente de fontes hidro, o que é uma questão preocupante, não só pela falta da água, mas pelos grandes problemas ecológicos provocados pela criação das grandes hidrelétricas.

5.2 Problemas existentes para a implementação da cogeração no Brasil

Existem, basicamente, dois obstáculos para a implementação da cogeração de energia elétrica com a utilização do bagaço de cana, sendo:

a) Problema mercadológico

É necessário que seja definida uma política de produção que propicie garantias da venda de energia e, além disso, que o produtor tenha uma rentabilidade que justifique o investimento. Isto ainda não ocorreu, pois as usinas estão fornecendo para as distribuidoras somente os seus excedentes a um preço próximo do custo.

b) Problemas técnico

Os atuais sistemas de produção de energia elétrica instalados nos usinas, inclusive as mais bem aparelhadas, não são apropriados para a produção de energia para fins comerciais.

5.3 Soluções possíveis

Diante do exposto é necessário, em primeiro lugar, uma estratégia mais abrangente para a matriz energética nacional integrando a participação do setor privado em geral e, em particular, do setor sucro-alcooleiro, como já aconteceu na Tailândia e outros países.

Para isso, a Eletrobrás tem um sistemática bastante detalhada, como se mostra a seguir:

a) Estudos de Longo Prazo

b) Estudos de Médio Prazo

c) Estudos de Curto Prazo.

a) Os estudos de longo prazo tem com objetivo identificar as principais linhas de desenvolvimento do sistema elétrico e em função da composição esperada do parque gerador, dos principais troncos de transmissão e das necessidades de desenvolvimento de processos tecnológicos-industriais, fixar metas para o programa de expansão de médio prazo. Uma preocupação deste planejamento é sua abrangência que deve ser suficientemente longo, de modo a explicitar as perspectivas de esgotamento dos recursos energéticos disponíveis e a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias. Para ser realizado o estudo de longo prazo utiliza-se o processo da figura 5.1.

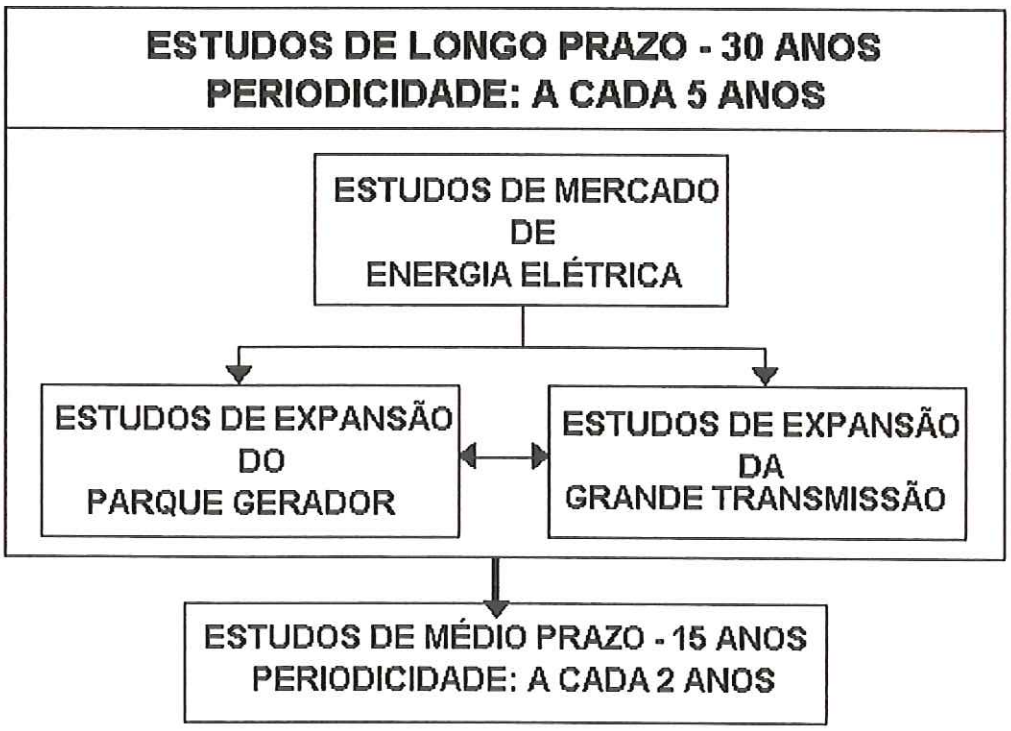


FIGURA 5.1 PLANEJAMENTO DE LONGO PRAZO DA ELETROBRÁS
Fonte: Plano 2015 da Eletrobrás

As informações básicas exigidas nos estudos de planejamento de longo prazo envolvem dados macroeconômicos, necessários para a definição das projeções de mercado de energia elétrica, e dados relativos à disponibilidade de recursos energéticos, seus montantes, localização geográfica, tecnologias e custos.

b) Os estudos de médio prazo estabelecem o programa de obras de geração do sistema elétrico para os próximos 15 anos, fixando a data de entrada em operação dos diversos projetos de forma a atender os requisitos do mercado de energia elétrica previstos para cada região, dentro dos critérios estabelecidos de garantia de atendimento ao mercado consumidor. Nesse estudos são levados em consideração as condições de economicidade das alternativas de expansão, a integração entre a geração e da transmissão prevendo a possibilidade de reforço ou expansão e ajuste do nível de energia previsto pelo mercado.

A realização dos estudos de médio prazo de geração no horizonte de médio prazo demandam o conhecimento das seguintes informações:

- cenários de demanda de energia elétrica;
- composição do parque gerador por região e por fonte de geração no décimo quinto ano da expansão, desagregada a nível de projeto;
- configuração da grande transmissão neste mesmo horizonte;
- programas mínimos de expansão das diversas fontes de geração;
- características e custos dos projetos de geração e de transmissão;
- características, custos, restrições e impactos sócio-ambientais dos projetos de geração e transmissão.

Nos estudos de médio prazo, as alternativas de expansão da geração inicialmente concebidas são dados de entrada para as formulação das alternativas que, por sua vez realimentam as hipóteses de expansão da geração visando a minimização dos custos de expansão como um todo e o atendimento dos requisitos de mercado de energia elétrica. O processo de planejamento a médio prazo é mostrado na figura 5.2.

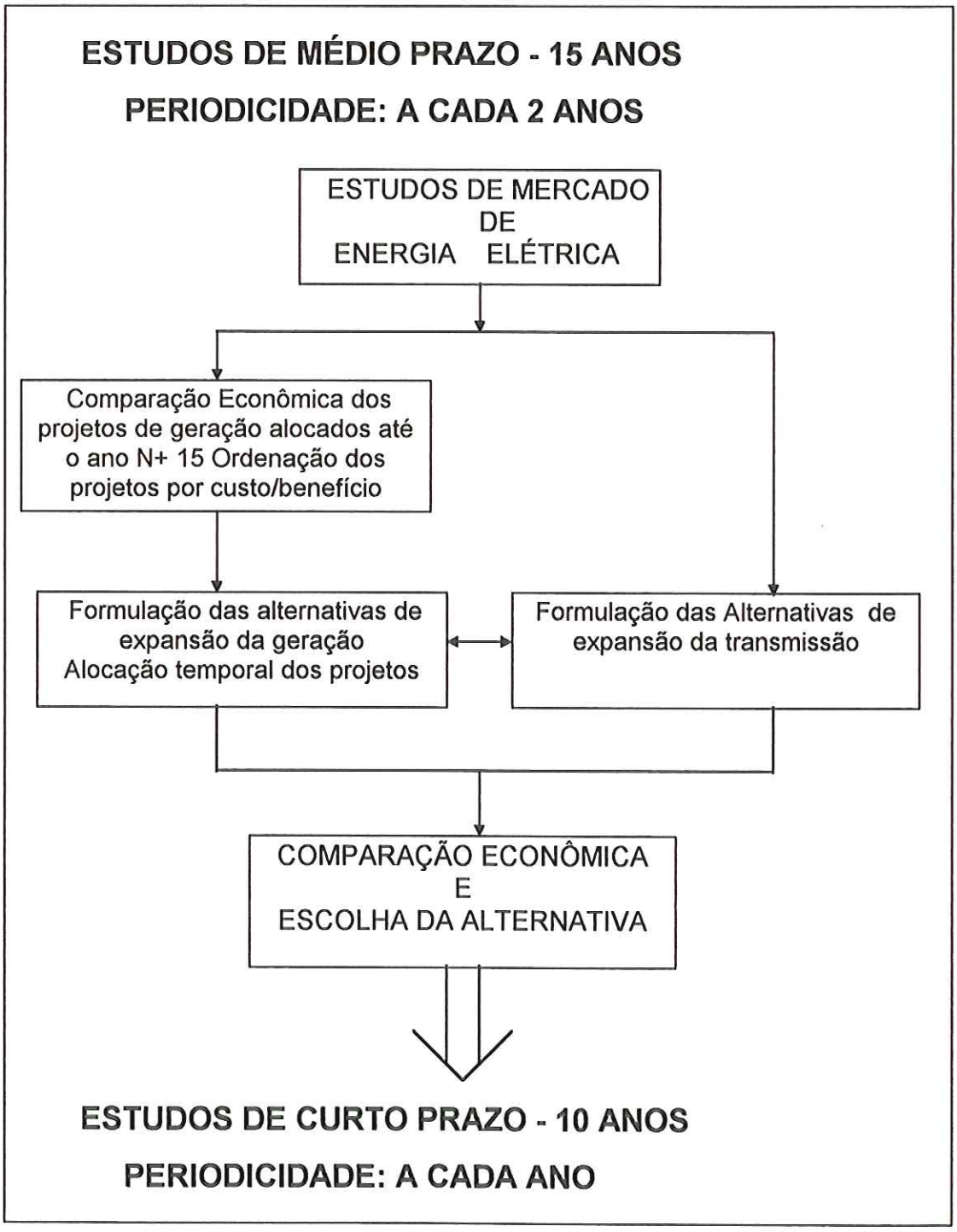


FIGURA 5.2 PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DA GERAÇÃO A MÉDIO PRAZO
Fonte: Plano 2015, Eletrobrás

c) Os estudos de curto prazo estabelecem os programas decenais de geração e envolvem o horizonte de decisões imediatas em termos de início de implantação dos empreendimentos. Estes estudos representam o ajuste das alternativas de expansão, estabelecidas nos estudos de médio prazo. Também elabora a programação financeira do setor elétrico, na parte referente a geração, para o horizonte dos primeiros cinco anos. A figura 5.3 apresenta as interações necessárias nos estudos de curto prazo.

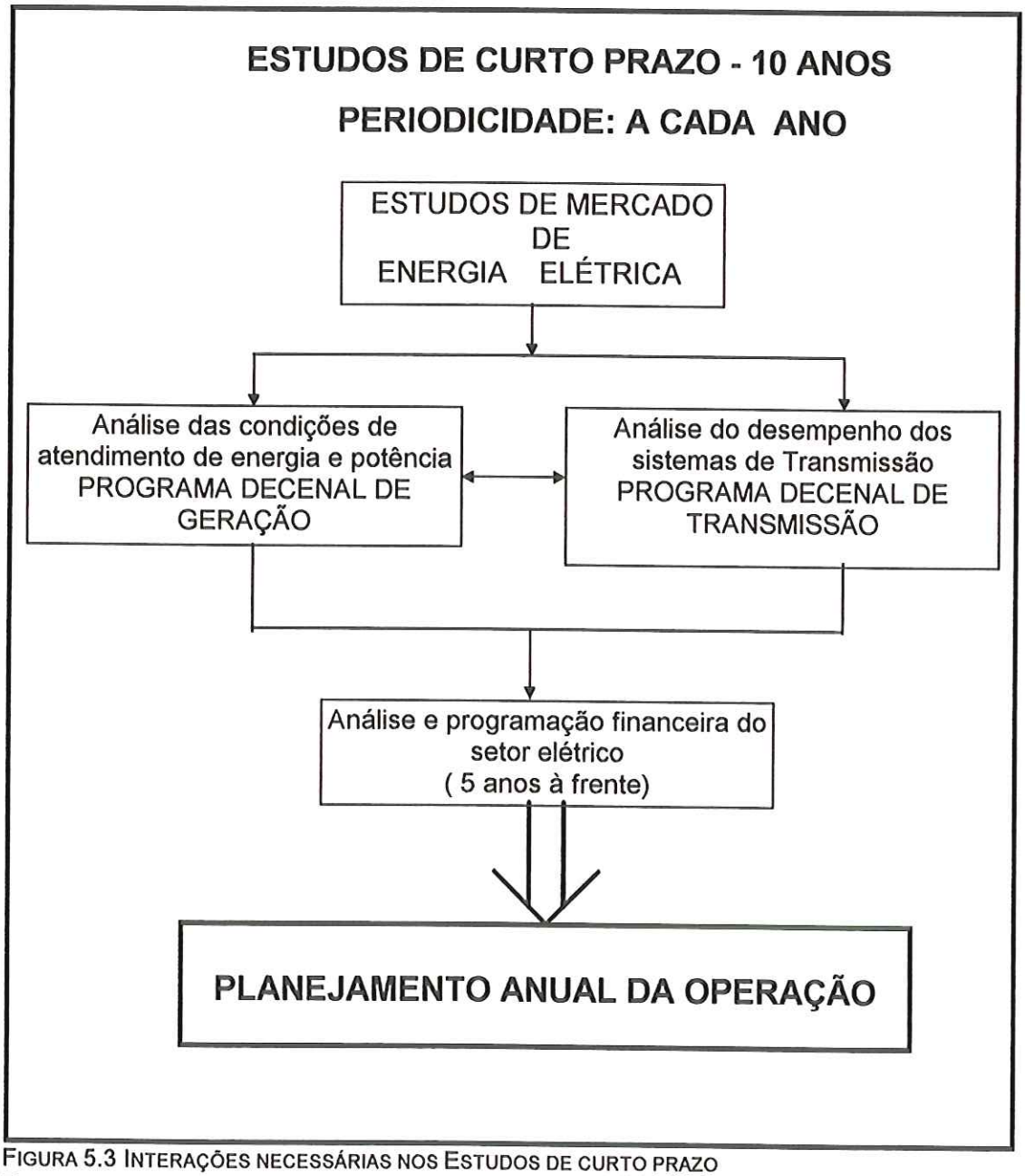


FIGURA 5.3 INTERAÇÕES NECESSÁRIAS NOS ESTUDOS DE CURTO PRAZO
Fonte: Plano 2015, Eletrobrás

Os projetos que foi estudado durante este trabalho estão na área de estudos de curto prazo. Dentro dos estudo de curto prazo encontramos a conservação de energia, projetos de energia eólica, utilização de pequenas quedas, a utilização do bagaço de cana-de-açúcar e outros projetos.

A utilização do bagaço de cana para a geração de eletricidade na indústria de açúcar e álcool aparece no plano 2015 da Eletrobrás como uma solução para parte dos problemas energéticos do Estado de São Paulo e do Brasil (Eletrobrás, 1993).

A falta de definição legal para normalizar a cogeração deixa espaço para que diversas possibilidades possam ser levantadas. Assim como foi feito na Tailândia, o governo pensa com cautela, mas percebe a necessidade de privatizar determinadas áreas e uma delas é o setor elétrico. As principais justificativas vêm da falta de recursos oficiais para manter um sistema funcionando. Por outro lado, o setor privado mostra-se disposto a investir e suprir as necessidades do setor público desde que estimulado.

O Estado de São Paulo fez contrato entre usinas da região e a Companhia Paulista de Força e Luz a para cogeração de energia. Entre as 150 usinas da região, 12 já fornecem energia de boa qualidade. Porém, destas doze somente duas assinaram contrato de fornecimento por 10 anos[3] .Este fato nos leva a refletir sobre o potencial energético existente nas usinas. A projeção da CPFL é que as usinas cheguem a produzir até 600 MW em 1998. Este valor corresponde às necessidades de uma cidade como Sertãozinho no interior paulista. Durante os períodos de seca, em que os reservatórios chegam a ficar com 1/3 de sua capacidade, a cogeração complementa a defasagem. A grande questão a ser solucionada seria como tornar viável o investimento das usinas para cogerarem energia. Está questão é bem antiga; vem da década de 70 durante a famosa crise do petróleo. A venda de energia elétrica pelas usinas com uma qualidade

melhor, e sem interrupção já ocorre há mais de 10 anos. O governo conhece a disposição e o potencial das usinas em cogerar energia, porém espera uma necessidade mais forte para tentar negociar as tarifas hoje oferecidas. O governo oferece US$ 35 Mwh para empresas com contrato assinado; para o fornecimento mais informal está pagando US$ 11,8 Mwh[2] . Existe um valor considerado aceitável de US$ 55 Mwh para cogeração, utilizado como valor médio para as usinas. O secretário de energia do Estado de São Paulo está propondo ao Governo Federal uma tarifa de US$ 50 Mwh, na tentativa de incentivar o setor a investir na cogeração[4] .

Em segundo lugar, a solução dos problemas técnicos já estão com as soluções delineados em estudos realizados por técnicos das usinas e instituições governmentais (Eletrobrás) e dos produtores (Coopersucar), apontando para o sistema CEST e DCEST.

5.4 Conclusões finais

Uma realidade que norteia qualquer mudança que venha a ocorrer no setor elétrico é a busca por um aumento do grau de competitividade entre as empresas que atuam nos diversos segmentos deste setor. A redução de custos é um dos instrumentos fortes no estímulo para o aumento da eficiência e da qualidade dos serviços prestados aos consumidores.

A energia elétrica apesar de possuir uma característica de monopólio natural, a condição monopolista não é homogênea em todas as atividades desta indústria e é possível pensar-se na introdução parcial da concorrência em alguns dos seus segmentos.

A implantação do processo de cogeração de eletricidade a partir do bagaço é uma alternativa barata diante da situação em que o país se encontra, além de ser um dos setores que poderão ser utilizados como fator

[3] Gazeta Mercantil 08/08/96

[2] Gazeta Mercantil 25/08/96

de competitividade. A cogeração toma corpo em uma época de privatização e redução de custos do governo. A tecnologia é conhecida há mais de 100 anos e as modificações não seriam grandes nas usinas de açúcar e álcool já existentes. Existe uma predisposição para que ocorra a implantação do sistema, inclusive com pesquisas feitas pelas usinas e pela Coopersucar.

As usinas Paulistas são conhecedoras da tecnologia de geração de energia elétrica, fazem parte do grupo de estudos promovidos pelo Ministério das Minas e Energia para melhorar a demanda de energia elétrica. Já participam de programas de conservação de energia e campanhas contra o desperdício.

A geração de excedentes permanece ainda em patamares reduzidos devido aos baixos preços pagos pelas concessionárias aos autoprodutores (até 1992, US$ 18/Mwh). Mesmo atualmente, com o preço de compra fixado em US$ 35/Mwh, não há atrativos para justificar maiores investimentos em conservação de energia e geração de excedentes pelo setor.

Na hipótese de utilização da melhor tecnologia disponível e comercializada, com colheita de cana queimada, estima-se a geração de excedentes de aproximadamente 1.370Gwh, em termos conservadores, para o Estado de São Paulo. Vários estudos avaliam o potencial de geração de excedentes no setor; com a introdução de tecnologias mais avançadas, como gaseificação de bagaço e utilização de turbinas à gás, pode-se atingir rendimentos muito maiores (com a tecnologia disponível em torno do ano 2000). Na elaboração de cenários para introdução destas tecnologias, atualmente em fase de desenvolvimento, estima-se a geração de excedentes de até 8.000 Gwh para o Brasil, em termos conservativos.

Estes excedentes de eletricidade seriam gerados no período da safra (Maio a Novembro), que corresponde, no Estado de São Paulo, à época da estiagem que reduz a capacidade de geração do sistema elétrico. Desta forma, o aproveitamento dos excedentes de eletricidade gerados no setor sucro-alcooleiro aparecem como vantajosos.

---

[4] Gazeta Mercantil 08/08/96

Viabilizando-se a cogeração de excedentes, a redução nos custos de produção do álcool poderá ser ainda maior. Se considerarmos a possibilidade de que a indústria produtora de álcool venda o bagaço a um cogerador independente, estimativas preliminares avaliam em até 20% a redução no custo de produção do álcool. Outras avaliações indicam que, na hipótese de que a própria indústria invista na cogeração (sistema convencional de turbina à vapor com extração e condensação, atualmente disponível comercialmente) e venda a eletricidade excedente com um lucro líquido de US$ 0,01/Mwh o custo de produção do álcool seria reduzido de 6%. Observa-se, portanto, que o potencial de cogeração a ser atingido, bem como sua influência na redução dos custos de produção do álcool, justificam os esforços necessários para superar os obstáculos técnicos, econômicos e, principalmente institucionais. A atual legislação do setor elétrico, mesmo com as recentes modificações referentes à autoprodução, ainda requer modificações, de modo a incentivar a cogeração. A venda de eletricidade por autoprodutores independentes ou por cogeradores requer incentivos específicos, econômicos e institucionais, inclusive com a inclusão de externalidades beneficiando a geração a partir de fontes renováveis, como é o caso do bagaço cana.

Com a introdução da cogeração e da idéia de competitividade no setor elétrico haverá uma diferenciação nas tarifas cobradas, isto tem sido objeto de discussões no setor pois a uniformização das tarifas não estimula a redução de custos. Estas mudanças deverão provocar nas usinas e concessionárias o estímulo a produtividade, transformando parte do setor público em um setor com características de produtividade como é encontrado no setor privado.

O Brasil possui a tecnologia para evitar o colapso energético, possui empresas dispostas a trabalharem em parceria com o governo. Desta forma, concluímos que é uma questão de tempo para que empresas e governo utilizem o bagaço como gerador de energia elétrica.

Segundo o plano 2015 da Eletrobrás, a retomada do desenvolvimento sustentado da economia, poderá implicar em graves problemas de oferta de energia elétrica, como já foi citado em capítulos anteriores. A solução para o problema passa pela iniciativa privada, onde o capital privado atuando na cogeração e em especial utilizando o bagaço de cana-de-açúcar seria uma solução viável e esperada a curto prazo.

O problema, entretanto, requer estudos mais aprodundados, principalmente nos aspectos econômicos/financeiros do projeto que fica, aqui como sugestão de trabalhos futuros.

BIBLIOGRAFIA

ANTENOR, Nascimento. *Dinheiro no bolso do pobre*. Revista Veja, 18/12/1996

ALI,Ismat., BASIT, M. Abidul., HASAN, S. Khaqan. MEMON, Ghulam Muhammad. *Some studies on the utilization of bagasse as fuel in Pakiston.* Fuel, Vol. 68, January, 1989.

ARAÚJO, Ney Webster. *Carvão* in Plano Nacional de Energia 1983/2000. Eletrobrás.

ARBEX, Jorge Gustavo; COELHO, Suani Texeira; MENDES, Antonio Carlos Tobias. *Custos e preços do álcool combustível no Brasil.*

AS fontes alternativas começam a ser viáveis.Gazeta Mercantil, Caderno de econômia, São Paulo, 03 de novembro de 1995.

BANCO do Brasil vai renegociar R$ 4,4 bilhões com os usineiros. O Estado de São Paulo, 18 de março de 1996.

BRASIL 500 anos. Revista Caras, ed. Abril Cultural, 1996.

CASTRO, Nivalde J. de. *O setor de energia elétrica no Brasil: a transição da propriedade privada para a propriedade pública(1945-1961)* . Rio de Janeiro, 1985.

CÉSAR,Marco Antonio Azevedo. SILVA, Fábio César da. *A cana-de-açúcar como matéria-prima para a indústria sucro-alcooleira.* USP-Piracicaba, 1993, Cap.13, Subproduto da Indústria Sucroalcooleira.

CHENÚ, Dr. Pierre M.A.M. *Caldeiras.* Coopersucar. São Paulo.

COELHO, Suani T., IENO, Gilberto O., ZYLBERZTYN, David . *Aspectos técnicos e econômicos da inserção da cogeração de eletricidade na matriz energética brasileira.* In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, Campinas, 1994. Anais. Unicamp.

COELHO, Suani T., MENDES, Antonio Carlos T., ARBEX, Jorge Gustavo. *Custos e preços do álcool combustível no Brasil.* Trabalho de final de curso da disciplina: Análise econômica na avaliação de projetos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Agosto de 1994.

COELHO, Suani T., IENO, Gilberto O., ZYLBERSTZTYN, David. *Avaliação técnica e econômica da cogeração com turbina a gás na indústria de papel.* In: 26° CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE PAPEL E CELULOSE, 1993.

COELHO, Suani T., IENO, Gilberto O., ZYLBERSTZTYN, David. *Colheita mecânica da cana e economicidade da cogeração.* In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA E I SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE ENERGIA.

CONSERVAÇÃO, Empresas e goberno em busca da eficiência energética. Revista Manutenção e Qualidade Ano 2, No 8 Abr/Mai, 1996

----------. Coopersucar. Orientações sobre custos e dados de usinas. Piracicaba, 1995.

DELGADO, Afrânio Antonio., CÉSAR, Marco Antonio de Azevedo. *Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana.* Zanni S/A Equipamentos pesados, Vol 1, cap.1. Aspectos gerais da Indústria açucareira.

ELETROBRÁS. *Plano Nacional de Energia Elétrica 1983/ 2000.* Ministério das Minas e Energia.

ELETROBRÁS. *Plano Nacional de Energia Elétrica 1987/2010, Relatório geral.*

ELETROBRÁS. *Plano Nacional de Energia Elétrica 1993 -2015.* Vol. I, II, III, IV, V. Abril, 1994.

FERNANDES, Alfredo José. *Manual da Cana-de-açúcar.* Ed. Livroceres Ltda, 1984.

GRENON,J. *Açúcar: evolução de seu mercado,* In O mundo da cana de açúcar. Ciba -Geigy.

HUGOT, E. *Manual da Engenharia Açucareira.* Vol II. Ed. Mestre Jou, São Paulo, 1969.

LIMA,Mário Werneck de Alencar. *Elementos da turbina de vapor.* Ed. Imprensa da Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1964.

KINOSHITA, C. M., *Cogeneration in the Hawaiian Sugar Industry.* Broresource Tecnology, vol 35, pp. 231-237, 1991.

MARTINEZ, M., BEST. N.R., *Desenvolvimento da energia geotérmica no México - Parte 32. Pespectiva de abastecimento e demanda para o ano 2000.* Heat Recovery Systems & CPH . Vol. 11, No 1, pp 91-98,Printed Britain, 1991.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. *Fontes Alternativas de energia.* Secretaria Geral. Brasília, 1993.

MÜLLER, Arnaldo Carlos. *Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento.* Makron Books. São Paulo, 1996.

NOGUEIRA, L.A.H., SANTOS,A.H.M.,BALESTORI,J.A.P., MACEDO,I.C.,*Optimal Scheduling of the sugar cane havest aiming to maximize the cogeneration by using the dynamic programming,* 1989.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. *Biomassa energética en el contexto latinoamericano.* Revue de l'énergie, No 406, Oct- Nov, 1988.

PARISH, R. L., CHANEY, P.P., BAKER, F.E. *Fuel evaluation of sugarcane panters. A*pplied Engineering in Agriculture, Vol. 5, No 2 , pp. 127-132, Jun., 1989.

PERA, Hildo. *Geradores de vapor.* Ed. Fama, 2a edição, São Paulo, 1990.

PETROBRÁS. *Produção Nacional x Importação.* São Paulo, março, 1993.

PORTO primavera: a última pirâmide. O Estado de São Paulo, 03 de maio de 1996.

ROVERE, Emílio Lèbre de La. *Energia: atuação e tendência.* Finep. 1994.

SÃO Paulo quer ampliar cogeração de energia. Eugênio Melloni. Gazeta Mercantil, 8 de agosto de 1996.

SILVA, Demóstenes Barbosa de. *Orientação de Tarifas de energia elétrica para a eficiência econômica e energética.* Dissertação de Mestrado. São Paulo, 1992.

SONNTAG, Richard E., WYLEN, Gordon J. Van. *Fundamentos da Termodinâmica Clássica.* Ed. Edgard Blücher LTDA, 2a Edição, São Paulo, 1976.

SOUZA, Jair Albo Marques.*Energia núclear para proteção do Meio Ambiente.* ABDAN - Associação Brasileira para o Desenvolvimento das Alternativas Técnicas e Indústrias na Área Nuclear. Rio de Janeiro, 1992.

UMA maquete de us$ 120 milhões. O Estado de São Paulo, 14 de maio de 1996.

USINAS produzem mais energia. Marília de Camargo César. Gazeta Mercantil, 25 de julho de 1996.

----------. Usina São Martinho. Coleta de dados. Pradópolis, 1995.

THERDYOTHIN, A., BHATTACHARAYA, S.C., CHIRARATTANANAN, S. *Eletricity Generation Potential of Thai Sugar Mil.* Energy Sources, Vol 14, pp.367-380.

THEDYOTHIN, A., BHATTACHARYA, S. C., TABUCANON, M. *Evaluation of alternatives to increase the electrical generation capacity of Thai Sugar Mills.* Energy , Vol. 17, No3, pp. 247-254, 1992.