

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG

COORDENAÇÃO GERAL DE GRADUAÇÃO

CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

THALLES AUGUSTO RESENDE CAMPOS

**ANÁLISE DA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE ENERGIA DE SISTEMAS DE
COGERAÇÃO POR MEIO DA BIOMASSA E SUA REPRESENTAÇÃO NA MATRIZ
ENERGÉTICA BRASILEIRA**

FORMIGA – MG

2010

THALLES AUGUSTO RESENDE CAMPOS

ANÁLISE DA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE ENERGIA DE SISTEMAS DE
COGERAÇÃO POR MEIO DA BIOMASSA E SUA REPRESENTAÇÃO NA MATRIZ
ENERGÉTICA BRASILEIRA

Monografia apresentada à Coordenação Geral de
Graduação do UNIFOR-MG como requisito para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia de
Produção.

Orientador: Prof. Marcelo Carvalho Ramos

FORMIGA – MG

2010

Thalles Augusto Resende Campos

ANÁLISE DA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE ENERGIA DE SISTEMAS DE
COGERAÇÃO POR MEIO DA BIOMASSA E SUA REPRESENTAÇÃO NA MATRIZ
ENERGÉTICA BRASILEIRA

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação Geral de Graduação do UNIFOR-
MG, como requisito para obtenção do título de
bacharel em Engenharia de Produção.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Marcelo Carvalho Ramos

Orientador

Examinador

UNIFOR-MG

Formiga, 28 de Junho de 2010

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, o maior agradecimento é a Deus, pela Sua constante presença em minha vida, dando a força sempre necessária em todos os momentos que precisei e, com certeza, precisarei sempre. Sem Ele, nada é possível.

Em especial, minha família, mamãe e papai que sempre incentivou seus filhos com muita dedicação e amor, em todas as situações que vivemos, por mais difíceis que fossem, e a Luara pela compreensão da minha ausência nos momentos de dedicação aos estudos.

Ao Prof. Helton Gomes pelas sugestões efetuadas, grande conselheiro em momentos importantes.

Ao Prof. Marcelo Carvalho Ramos, cuja convivência foi uma rica fonte de aprendizado.

A todos meus amigos e colegas do UNIFOR-MG e amigos do peito, que tornaram esta caminhada mais agradável, com momentos de muito trabalho e também com descontrações. São tantos aqueles que estimo, que correria o risco de fazer um livro com todos eles. Por isto, me permitirei omitir nomes. Mas todos sabem quem são e nem preciso dizer.

Dedico este trabalho aqueles que sempre me deram apoio, incentivo e amor em todos os momentos, em especial no desenvolvimento deste trabalho.

"O sucesso não corre atrás de nós;
nós é que devemos ir ao encontro dele."

(Rosalino X. de Souza)

RESUMO

O Brasil, em ampla fase de crescimento econômico, tem enfrentado uma forte reestruturação em seus setores energéticos, o Governo Federal propõe mudanças que visam conceder incentivos para que indústrias químicas e do setor sucroalcooleiro possam também utilizar da cogeração como fonte de renda e desenvolvimento social. O bagaço de cana gerado no processo de fabricação de açúcar e álcool é utilizado na cogeração de energia, fornecendo para as concessionárias, além de ser suficiente em todo processo produtivo do açúcar e etanol. Atualmente são avaliados os aumentos das capacidades de geração de energia por meio de hidrelétrica, termelétricas a gás e grande enfoque do processo de cogeração em que se utiliza o bagaço de cana como combustível, componente muito importante na matriz energética brasileira por ser uma fonte de energia renovável e limpa. Esta alternativa energética apresenta vantagens como redução da emissão de resíduos no meio ambiente, pois se comparado a outros combustíveis o grau de poluição é muito pequeno. Este trabalho concentra-se no estudo do processo de cogeração e em uma pesquisa da representação destes sistemas na matriz energética brasileira apresentando a viabilidade de sustentação desta tecnologia visando o aumento do consumo de energia devido o crescimento econômico do Brasil.

Palavras chaves: Matriz energética; Cogeração; Setor sucroalcooleiro; Biomassa; Auto-suficiência energética.

ABSTRACT

Brazil, in a broad phase of economic growth, has faced a strong restructuring their energy sectors, the Federal Government is proposing changes that seek to provide incentives for chemical industries and sugar cane industry can also make use of cogeneration as a source of income and social development. The bagasse generated in the manufacturing process of sugar and alcohol is used in cogeneration of energy, providing for the utility, and is sufficient in the production process all the sugar and ethanol. Are currently evaluated for increases in the capacity of power generation through hydro, thermal and gas major focus of the cogeneration process which uses sugar cane bagasse as fuel, very important component in the Brazilian energy matrix to be a source of energy renewable and clean. This alternative energy has the advantages of reducing the emission of waste into the environment, as compared to other fuels if the pollution level is very small. This work focuses on studying the process in a search cogeraoe representation of these systems in the Brazilian energtica matrix showing the feasibility of this technology in order to sustain the increase in energy consumption due to Economic Growth Brazil.

Keywords: Energy matrix; Cogeneration; Sugar and alcohol sector; Biomass Energy self-sufficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Esquema do Processo de Cogeração sob regime de Turbina de Contrapressão	22
Figura 2- Esquema do Processo de Cogeração utilizando Turbina de Extração-condensação	23
Figura 3- Fluxograma Turbina a Gás com Injeção de Vapor	24
Figura 4- Fluxograma Sistema de Cogeração com Ciclo Combinado	25
Figura 5- Fluxograma Sistema de Turbina a Gás com Recuperação Química	26
Figura 6- Utilização da Cana de açúcar	32
Figura 7- Constituição do Sistema de Cogeração da usina estudada	43
Gráfico 1- Custo de Energia Conservada por Setor	38
Gráfico 2- Relação de Energia Exportada x Energia Consumida	46
Gráfico 3- Representação do Investimento no Sistema de Cogeração	48
Gráfico 4- Crescimento do PIB brasileiro	53
Gráfico 5- Previsão das maiores economias do mundo	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNI – Confederação Nacional da Indústria

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

ISO – International Organization for Standardization, traduzido como Organização Internacional para Padronização

CEC – Custo de Energia Conservada

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

PEE/ANEEL – Projetos de Eficiência Energética/Agência Nacional de Energia Elétrica

CONPET – Programa Nacional de Racionalização do uso dos derivados do Petróleo e do Gás Natural

PROESCO/ABESCO – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia

ETA – Estação de Tratamento de Água

DESMI – Processo de Desmineralização da Água

PIB – Produto Interno Bruto

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição Média da Cana-de-açúcar	30
Tabela 2- Principais Constituintes da Cana-de-açúcar	31
Tabela 3- Cenário da Capacidade de Produção antes e após expansão industrial	44
Tabela 4- Produção de Energia x Consumo de Bagaço	45
Tabela 5- Valor da Capacidade Total de Geração de Energia por Safra	48
Tabela 6- Valor da Capacidade de Excedentes de Energia por Safra	49
Tabela 7- Liquidação Anual do Investimento	49
Tabela 8- Número de Usinas por Combustível	50
Tabela 9- Participação x Potência Instalada	51
Tabela 10- Geração Elétrica	51
Tabela 11- Geração Tipo de Combustível	52
Tabela 12- Produção e Consumo	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Problema	15
1.2 Justificativa	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 Sistemas de Cogeração	18
3.2 Classificação dos Processos de Cogeração	20
3.2.1 Cogeração a partir de Turbinas a Vapor	21
3.2.2 Cogeração a partir de Turbinas a Gás	23
3.2.2.1 Cogeração a partir de Turbinas a Gás com Injeção de Vapor	24
3.2.2.2 Ciclos Combinados	25
3.2.2.3 Ciclos de Turbina a Gás com Recuperação Química	26
3.3 Cogeração com Motores de Combustão	27
3.4 Principais Combustíveis Utilizados na Cogeração	27
3.4.1 Gaseificação	28
3.4.2 Carvão Mineral	28
3.4.3 Madeira	29
3.4.4 O Bagaço de Cana	29
3.4.5 Combustível Combinado	33
3.5 A Cogeração do Setor Sucroalcooleiro Brasileiro	33
3.6 Avaliação de Sistemas de Cogeração	35

3.6.1 Sistemas de Cogeração baseados na Primeira e Segunda Lei da Termodinâmica	35
3.7 Crescimento Econômico e Consumo de Energia no Brasil	36
3.7.1 A Aplicação da Energia no Setor Industrial	37
4 METODOLOGIA	39
4.1 Tipos de Pesquisa	39
4.2 Objeto de Pesquisa	40
4.3 Coleta de Dados	40
4.4 Interpretação dos Dados	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1 A Usina Estuda	41
5.1.1 O Projeto de Expansão da Usina	41
5.2 Avaliação do uso do bagaço de cana	44
5.3 A Matriz Energética Brasileira	50
5.4 Perspectivas de Expansão do Setor Elétrico Brasileiro x Setor Sucroalcooleiro	53
6 CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS	58
GLOSSÁRIO	62
ANEXO A – FLUXOGRAMA DO PROCESSO	63
ANEXO B – FLUXOGRAMA SISTEMA DE COGERAÇÃO DA USINA ESTUDADA	64

1 INTRODUÇÃO

O Brasil passa por uma fase de reestruturação no setor elétrico, para o qual o Governo Federal está propondo muitas mudanças, buscando assim conceder incentivos para que terceiros como indústrias químicas e do setor sucroalcooleiro possam também gerar energia. Com isso, as vantagens da geração de energia e da compra de excedentes de eletricidade, tem sido uma grande possibilidade para que se utilize o bagaço da cana gerado no processo de fabricação de açúcar e álcool na cogeração de energia elétrica e assim fornecer energia para as concessionárias como também para outros setores produtivos.

Desde 1987, ano em que os investimentos em energia elétrica atingiram o ápice no país de aproximadamente U\$\$ 15 bilhões, há registros de uma diminuição considerável nos recursos disponibilizados para este setor, no qual em 1995 chegou a realizar investimentos na ordem de apenas U\$\$ 4 bilhões (PANORAMA, 1998).

Devido a real necessidade, o país precisou investir neste setor, elaborando programas de incentivo para aumentar a capacidade de geração de energia no país, com objetivo de atender à demanda crescente e evitar o risco de desabastecimento de energia. Com isso, atualmente são avaliados os aumentos das capacidades de geração de energia por meio de hidrelétrica, termelétricas a gás e grande enfoque do processo de cogeração em que se utiliza o bagaço de cana como combustível, que é um componente muito importante na matriz energética brasileira, pois é uma fonte de energia renovável e limpa.

De acordo com Paulo (2001), o excedente de energia gerado no processo de cogeração, está se mostrando um grande potencial para que se produza energia de maneira que prejudique o mínimo possível o meio ambiente, e de forma barata, contribuindo dessa forma para a diversificação do setor sucroalcooleiro, tendo como objetivo maximizar as receitas do mesmo. Contudo o desempenho de sistemas energéticos necessita de um gerenciamento com grande potencial profissional, visando interesse de investidores internacionais com intuito de aplicação de capital estrangeiro para se obter um novo padrão de comportamento para o mercado brasileiro.

O uso do bagaço como alternativa energética apresenta vantagens como redução da emissão de resíduos no meio ambiente, se comparado a outros combustíveis, o grau de poluição é muito pequeno. Outro grande fator é que a energia elétrica produzida ocorre entre abril e novembro (período de safra), sendo que os reservatórios hidrelétricos dependem do nível de água para determinar a demanda de produção.

O processo de cogeração de energia a partir do bagaço de cana consiste na queima do bagaço em uma caldeira, que produz vapor para o processo produtivo da usina e também para a geração de energia através de um conjunto de turbina e gerador, ou seja, é uma fonte de energia renovável e limpa.

O trabalho concentra-se em uma pesquisa da representação de sistemas de cogeração de energia por meio da biomassa na matriz energética brasileira, apresentando assim a viabilidade de implantação do sistema e a grande importância devido a alta demanda de consumo de energia que é uma realidade e uma grande preocupação para os próximos anos devido o crescimento do país.

1.1 Problema

É viável a representação de sistemas de cogeração de energia por meio da biomassa na matriz energética brasileira?

1.2 Justificativa

Com o constante crescimento global vem se fazendo cada dia mais necessário investimentos no setor de geração de energia. Porém, os recursos mais utilizados atualmente estão ficando cada vez mais escasso, como o petróleo, ou estão causando um grande impacto ambiental, como das usinas hidrelétricas em sua fase de construção. Para a construção de uma usina hidrelétrica é necessário a inundação de milhares de hectares de terra, causando destruição das matas e ocasionando o remanejamento de pessoas e animais presentes nesse habitat.

A Bioenergia vem se diferenciando devido à grande competitividade e importância, o que provoca várias mudanças nas plantas do setor sucroalcooleiro, gerando assim alta eficiência energética que estimula cada vez mais o desenvolvimento das plantas industriais e de novas unidades. Com isso a otimização da geração e consumo de energia elétrica e vapor tem se tornado uma das principais preocupações no setor sucroalcooleiro, o que se torna uma situação complexa.

No entanto, os projetos buscam equipamentos e processos mais eficientes, onde as indústrias do setor que se encontra em funcionamento exigem cada vez mais investimentos

com intuito de modernizar a planta, tendo como desafios encontrar o ponto de equilíbrio entre os investimentos e devido à condição de comercialização da energia gerada que significa o aumento direto da receita. Com isso investimentos em energias renováveis são cada vez mais constantes. Hoje em dia pode-se constatar um amplo investimento em geração de energia através de biomassa, como o bagaço de cana, gerado nas usinas canavieiras. Além da produção de açúcar e álcool as usinas produzem também energia elétrica. Cada vez mais, as usinas estão adotando processos de geração de energia com caldeiras de alta pressão, pois com isso a capacidade de produção aumenta, elevando também a geração de energia, processo esse denominado cogeração de energia (JORNAL CANA, 2009).

Com o processo de cogeração as usinas não só se tornam auto-suficientes na questão de energia, como também vendem o excedente de energia viabilizando assim o investimento.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar o processo de cogeração de energia por meio da biomassa no setor sucroalcooleiro em uma empresa situada no centro-oeste mineiro e sua representação na matriz energética brasileira.

2.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o propósito definido no objetivo geral foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Estudar o processo de cogeração de energia por meio de uma revisão dos principais autores sobre o assunto pesquisado;
- Avaliar o uso do bagaço de cana utilizado na cogeração de energia por meio de sua queima e mostrar a importância da comercialização do excedente de energia gerada;
- Descrever a representação de processos de cogeração de energia na matriz energética brasileira.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Segue os aspectos gerais da cogeração de energia do tema abordado e também as atuais tecnologias utilizadas, os principais aspectos que ocasiona a mudança no setor elétrico brasileiro. Por fim foram apresentadas as perspectivas da cogeração a partir da biomassa, especificamente o bagaço de cana gerado pela indústria sucroalcooleira.

3.1 Sistemas de Cogeração

Para representar o conceito físico do termo cogeração, embora existam diferentes definições, a cogeração é definida como um termo utilizado para se produzir conjuntamente em processo seqüencial de energia elétrica ou mecânica, e de energia térmica, tendo como princípio uma mesma fonte de energia primária (LOZANO, 1998). Deste modo, um sistema de cogeração é constituído por combinação de equipamentos como caldeiras, turbinas, geradores, trocadores de calor, entre outros, que interligados de acordo com determinado ciclo obtêm o melhor aproveitamento do combustível, podendo ser de origem fóssil ou renovável.

De acordo com Horlock (1997), um dos aspectos importantes quanto à definição do termo de cogeração, é a relação com a funcionalidade da tecnologia, pois os sistemas de cogeração precisam ser projetados para satisfazer a demanda térmica do consumidor, o que não se torna viável adquirir este tipo de energia de empresas externas, tendo como principal objetivo a potência total produzida (potência elétrica), atender as necessidades da planta industrial pela qual está instalado o sistema, podendo existir também a possibilidade de produção de excedente de energia elétrica, o que viabiliza o investimento e se considera mais um produto de comercialização da empresa.

A cogeração surgiu de acordo com as condições de cada país, sendo que para países de clima frio se associou a necessidade de serviços energéticos com o desenvolvimento de sistemas de aquecimento, cujo funcionamento de termelétricas o calor rejeitado pode ser recuperado de forma de fluxo de calor, ocasionando o aquecimento do ambiente.

Como alternativa para o fluxo de calor, pode ser a produção de calor e potência, quando combinados. Quando a indústria possui um sistema térmico com objetivo de produzir potência elétrica, seja para satisfazer parte ou total demanda de energia da planta industrial, havendo possibilidade de se produzir excedentes de energia a ser vendida para concessionária de energia.

As tendências e o incentivo de capital privados se define como resposta de políticas de racionalização das fontes de energia na maioria dos países da América Latina e do mundo, devido o grande aumento da demanda. Com isso vem se despertando interesse de empresários de diversos setores industriais quanto ao processo de cogeração de energia (VIEIRA e OLIVEIRA JR., 1998).

Nos últimos anos a Europa tem aplicado a prática da cogeração de energia elétrica, a União Européia possui países que cogeram 35% da energia consumida, sendo Holanda, Dinamarca e Finlândia. Estes países utilizam como matéria prima a madeira, principalmente de eucalipto, um recurso cada vez mais disponível e melhor aproveitado (REIS, 2001).

Para Lemoult, Tazerout e Rousseau (1998), na Alemanha possui cerca de duas mil plantas de geração de energia elétrica de pequeno porte, sendo de capacidade de 500kW e inferiores. A França é considerada um modelo energético e com sentido estatal e baseado em energia nuclear, fonte de energia que cada vez mais revela incremento das plantas de cogeração. A Itália se define por um programa de incentivo da cogeração e viabilização para o aumento da oferta de energia elétrica desde o fim dos anos 80 (CASAROSA e FRANCO, 2000).

As plantas de cogeração na Europa Oriental apresentam um processo otimizado com intuito de obter resultados econômicos nas plantas de cogeração a partir de motores de combustão (DUPEAC, TAZEROUT e LEDUC, 2000). Portanto os resultados com a aplicação de ciclos com turbinas a gás em função das temperaturas de aquecimento local (SZARGUT, 2000).

O desenvolvimento da cogeração de energia nos Estados Unidos possui vários aspectos nas últimas décadas, sendo grande ampliação da indústria elétrica do país com grande número de empresas públicas e privadas destinadas ao controle federal, o que permite o aproveitamento das condições específicas dos recursos. Nos estados do Texas, Nova York e

Califórnia, a cogeração vem se desenvolvendo a partir do gás natural (SAAD e CHENG, 1996).

Para Van-Groen (1999), afirma que a Índia possui grande interesse na indústria de açúcar com intuito de obter bagaço de cana para implantação de novas tecnologias de geração de energia elétrica com produção de excedentes para venda, o que contribui com o desenvolvimento dos sistemas de cogeração de energia e aumento da capacidade para suprir a demanda de energia. Além da preocupação com desenvolvimento dos sistemas de cogeração de energia, a Índia também se preocupa com o desenvolvimento do processo de fabricação de açúcar.

3.2 Classificação dos Processos de Cogeração

A cogeração de energia, tem se desenvolvido como uma alternativa bastante eficiente de uma fonte primária de energia. O ciclo utilizado com mais frequência é o ciclo “topping”, que a partir dele a energia gerada do combustível primeiramente é gerada uma potência elétrica, e a energia térmica proveniente é recuperada e utilizada. Este ciclo possui uma máquina motriz, sendo que a energia gerada (energia térmica) resulta na carga térmica do processo. Os ciclos “bottoming” a energia térmica gerada precisam de alta temperatura, sendo que nestes processos são voltados para o setor de indústrias químicas e a energia gerada em forma de calor atinge altas temperaturas, o que favorece muito. Porém essa energia térmica possui contaminação de agentes corrosivos, o que eleva os custos das caldeiras de recuperação da instalação do sistema. Por isso os ciclos “topping” podem ser usados em processos com temperaturas controladas, apresentando maior viabilidade na implantação de equipamentos, podendo utilizar o ciclo “topping” a partir do vapor, como motores de combustão interna e turbinas a gás. Para o ciclo “bottoming” é mais utilizada a partir do vapor, classificação habitual realizada em função do tipo de motor térmico do sistema, dentro de cada sistema possui alternativas que podem ser considerados para aplicações específicas da cogeração (LIZARRAGA, 1994).

3.2.1 Cogeração a partir de Turbinas a Vapor

Segundo Jornal Cana (2009), a aplicação de turbinas a vapor no processo de cogeração como máquinas térmicas possui três circunstâncias fundamentais, onde consiste no aproveitamento do energético do vapor gerado na estação geradora de vapor (caldeira) para realizar o acionamento da turbina e como consequência gerar potência. Para que se garantam as necessidades de energia em forma de calor, é necessária a condensação ou extração do vapor de escape. Segue as três circunstâncias:

- Turbinas de Contrapressão
- Unificação de Turbinas de Contrapressão com Turbinas de Condensação com aproveitamento do fluxo excedente
- Turbinas de Extração-condensação dos sistemas automáticos

Segue um esquema representativo do processo de cogeração com turbina de contrapressão aplicada no setor Sucroalcooleiro brasileiro. Este processo consiste na geração de energia elétrica utilizada para próprio consumo e comercialização dos excedentes de energia.

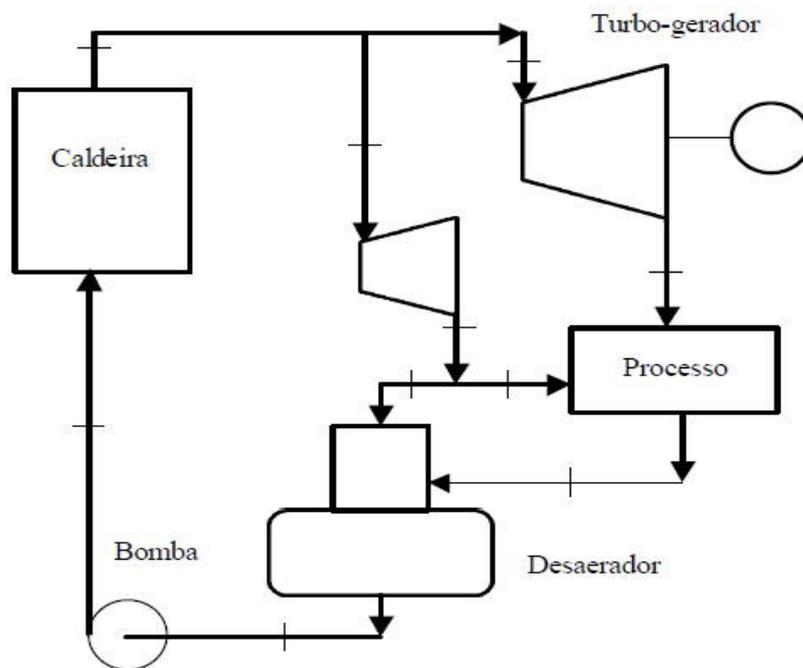


FIGURA 1 – Esquema do Processo de Cogeração sob regime de Turbina de Contrapressão

FONTE: TGM Turbinas (2009).

Portanto possuem plantas que necessita de variados níveis de pressão de vapor, o que faz necessário estabilizar o fornecimento de excedentes de energia elétrica as concessionárias. Para solucionar este problema é necessária a combinação de turbinas a vapor de contrapressão e turbinas de condensação, o que permite melhores condições de energia elétrica e calor para o processo, sendo obvio que o custo seja maior na implantação de duas turbinas e maior complexidade operacional. A implantação de turbina de condensação com extração se faz necessário devido capacidade de gerar maior relação de energia térmica e energia elétrica que varia de acordo com a planta, o que se torna muito significativo a energia gerada no condensador, sendo maior a capacidade de produção de energia elétrica. Normalmente estes sistemas possuem turbinas de extração dupla, onde a primeira a pressão de vapor é realizado pelas turbinas de acionamento mecânico, e a segunda a extração do vapor é feita de acordo com a necessidade de pressão a ser utilizada no processo. O setor sucroalcooleiro implanta este tipo de sistema visando operar no período de entressafra devido às condições de utilização de combustíveis complementares com intuito de economizar o bagaço de cana (LOZANO, 1998).

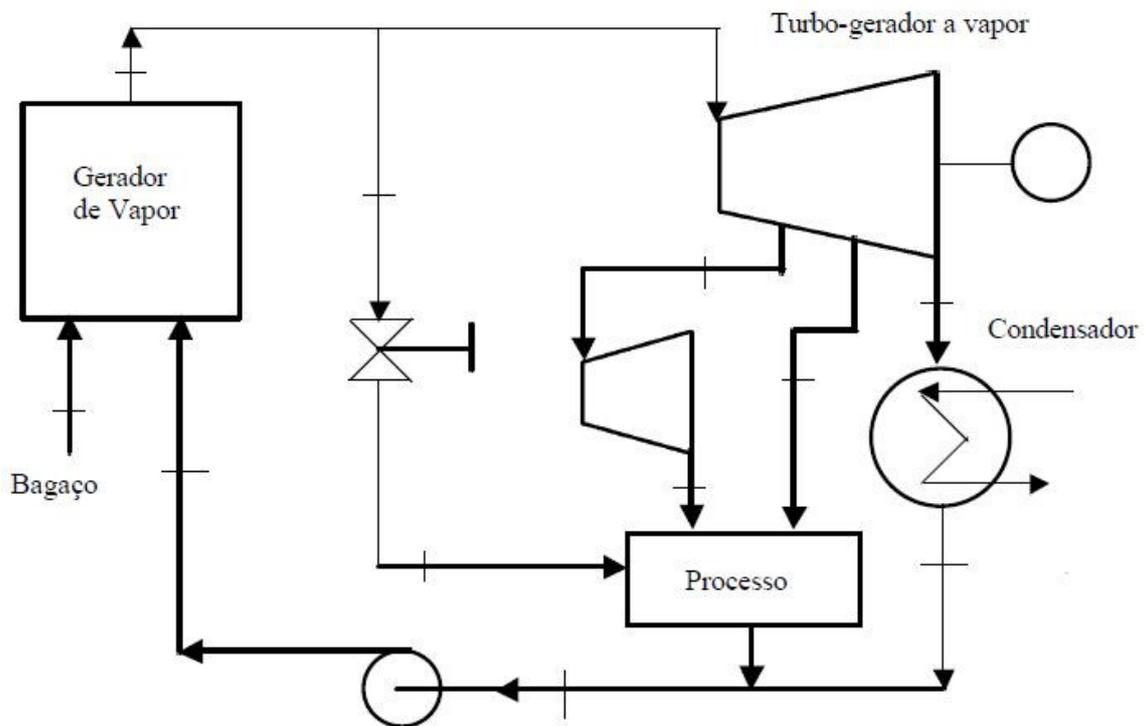


FIGURA 2 – Esquema do Processo de Cogeração utilizando Turbina de Extração-condensação

FONTE: TGM Turbinas (2009).

O sistema de cogeração por meio de turbinas a vapor implica aos sistemas térmicos a grande disponibilidade de equipamentos para atender a demanda de energia térmica e energia elétrica.

3.2.2 Cogeração a partir de Turbinas a Gás

As turbinas a gás são utilizadas nos setores industriais e aeronáutica como geradores de energia elétrica ou acionamento mecânico e propulsores de aeronaves. A evolução da tecnologia proporcionou maior contribuição da eficiência das turbinas a gás proveniente também da disponibilidade crescente de gás natural com preços mais acessíveis tem favorecido muito a implantação de sistemas de cogeração a partir de turbinas a gás (BARROS, 1998).

As turbinas a gás trabalham relativamente sob temperaturas altas, cerca de 400 a 600° C e grande conteúdo de oxigênio nos gases de saída devido o excesso de ar utilizado na combustão e baixos teores de gás poluente devido implementação de gás natural como combustível, tal modificação realizada com intuito de melhoria da eficiência térmica, gerando aproveitamento de potência energética dos gases de escape da turbina usada para o aquecimento do ar antes da câmara de combustão.

3.2.2.1 Cogeração a partir de Turbinas a Gás com Injeção de Vapor

A injeção de vapor em turbina a gás se constitui da combinação do ciclo padrão com a injeção de vapor gerado por caldeira recuperadora, este ciclo é chamado de Ciclo Cheng (LIZARRAGA, 1994).

Toda energia dos gases de saída da turbina são recuperados em uma caldeira de recuperação, onde se produz também vapor no qual é utilizado no processo produtivo e parte deste vapor é injetado na câmara de combustão da turbina (GUARINELLO, 1997).

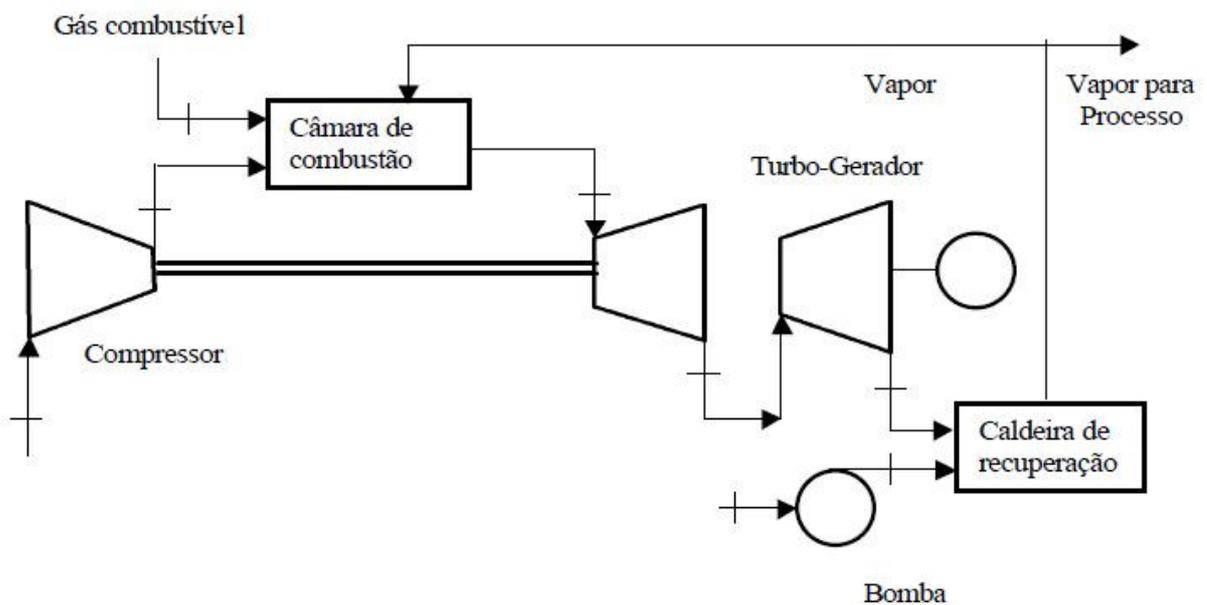


FIGURA 3 – Fluxograma Turbina a Gás com Injeção de Vapor

FONTE: TGM Turbinas (2009).

Para Bathie (1996), este ciclo possui a desvantagem se deve implantar uma planta de tratamento de água para suprir o fornecimento de água tratada, sendo que se geram custos devido o descarte da água junto à exaustão dos gases.

3.2.2.2 Ciclos Combinados

O funcionamento do ciclo combinado se baseia no aproveitamento da energia dos gases de saída da turbina a gás com objetivo de gerar vapor em uma caldeira de recuperação de energia térmica, obtendo assim maior potência elétrica na turbina a vapor (BATHIE, 1996).

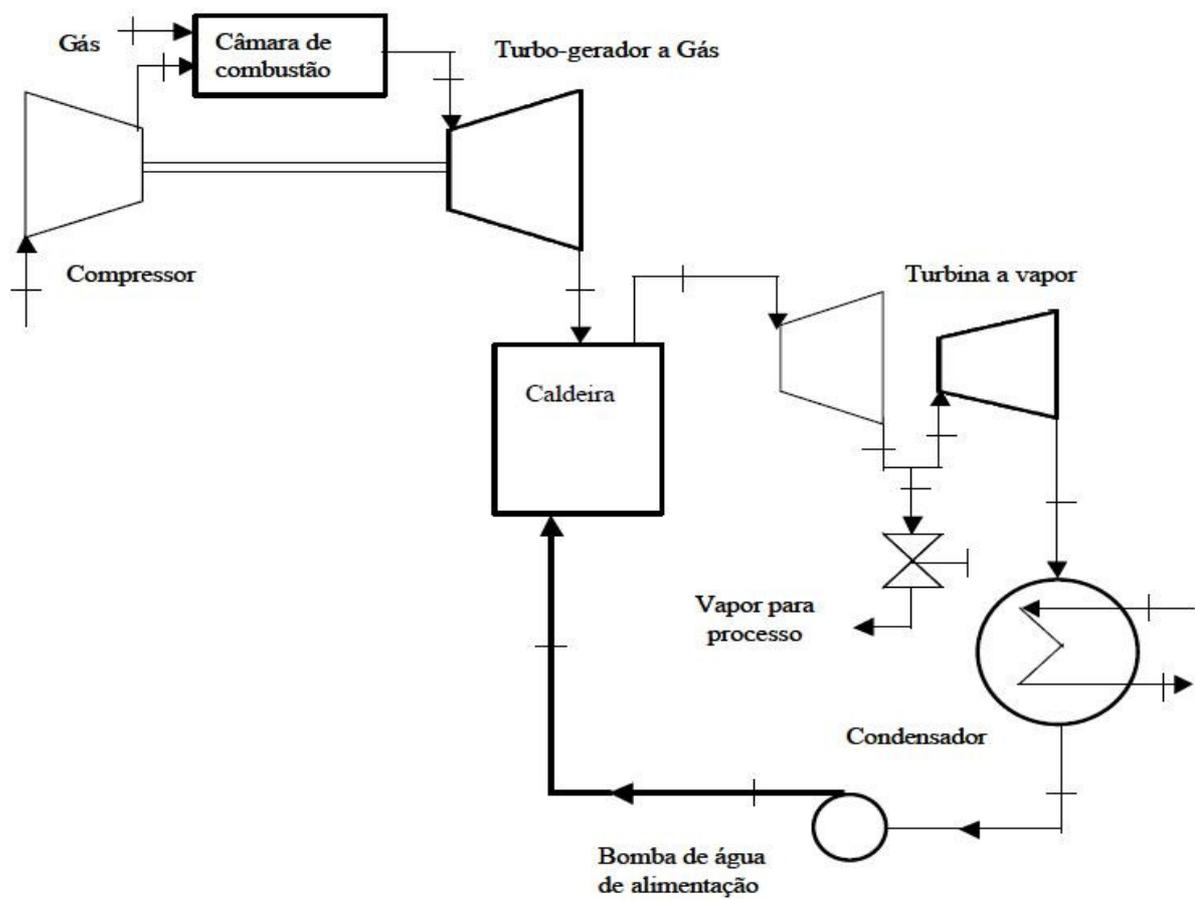


FIGURA 4 – Fluxograma Sistema de Cogeração com Ciclo Combinado

FONTE: TGM Turbinas (2009).

Segundo Bathie (1996), devido à condição de gerar vapor sob vários níveis de pressão, a utilização da energia dos gases de saída da turbina a gás obtém rendimentos térmicos, o que permite uma melhor qualidade e maior temperatura de vapor.

3.2.2.3 Ciclos de Turbina a Gás com Recuperação Química

A recuperação química é aplicada aos ciclos de turbina a gás para gerar energia elétrica e cogeração tendo como combustível o gás natural (ADELMAN, HOFFMAN e BAUGHN, 1995).

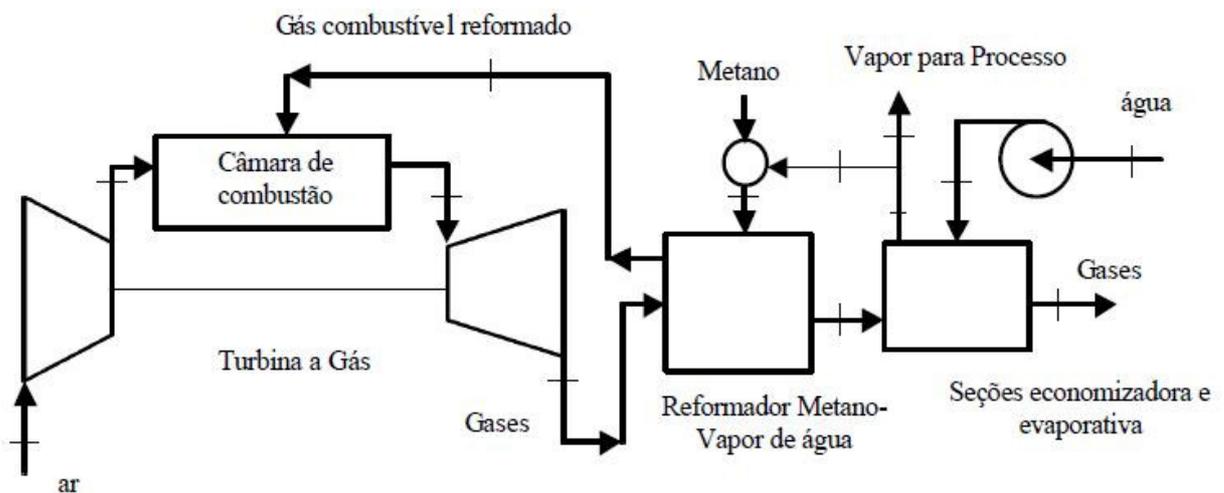


FIGURA 5 – Fluxograma Sistema de Turbina a Gás com Recuperação Química

FONTE: TGM Turbinas (2009).

A energia térmica dos gases de saída da turbina a gás é aproveitada em um reformador de vapor, neste caso o gás metano se torna o gerador de vapor recuperador de calor que são implantados nos ciclos de turbina a gás com injeção de vapor e ciclos combinados. No reformador químico é realizado o aquecimento da água até que se torne vapor saturado, e

possui também um elemento catalisador a base de níquel (ativado acima da temperatura de 600K), o que resulta em uma reação endotérmica entre o metano e o vapor de água. Com isso, metano e vapor absorve calor devido o fluxo de entalpia dos gases quentes e também devido às reações químicas (KEESER, HOFFMAN e BAUGHN, 1994).

3.3 Cogeração com Motores de Combustão

Os motores de combustão interna geralmente são utilizados por indústrias de pequeno porte, aplicados para suprir as necessidades de energia elétrica e vapor com baixa pressão.

O combustível libera reações químicas, que podem ser aproveitadas em até 40% na forma de trabalho mecânico. Com este sistema é possível recuperar a energia térmica proveniente do resfriamento do motor em cerca de 20% da energia do combustível, e a energia na saída dos gases de saída possui temperaturas de 400 a 500°C, resultando em aproximadamente 30% da energia do combustível. A potência do eixo é utilizada na geração de eletricidade, ou acionamento de equipamentos como compressor ou bombas, onde toda energia térmica recuperada pode ser destinada a diversas utilidades, tendo como produção de vapor de baixa pressão (LOZANO, 1998).

3.4 Principais Combustíveis Utilizados na Cogeração

A aplicação dos principais combustíveis utilizada para geração de energia elétrica, como bagaço de cana, carvão mineral, madeira e gás. Com o desenvolvimento tecnológico a energia utilizada através de combustíveis fósseis tais como petróleo, gás natural e carvão mineral, aonde a biomassa vem se destacando consideravelmente, embora o aproveitamento dela não tenha a merecida atenção devido influência da tecnologia aplicada em países mais desenvolvidos.

O carvão é considerado combustível sólido e de custo benefício baixo, porém existem combustíveis de biomassa sólida em forma de madeira, resíduos de processos como bagaço de cana, cavacos de árvores, lixo e resíduos agrícolas, no qual são aplicáveis em processos de

geração de vapor ou cogeração, sendo que a aplicações destes combustíveis em usinas termelétricas possuem viabilidade econômica devida seu consumo ser paralelo a sua produção, embora se for necessário despesas com transportes e operações se tornam inviável utilizar este recurso (FREITAS, CUNHA e EMMERICH, 1997).

3.4.1 Gaseificação

A gaseificação do combustível é uma tecnologia em fase de desenvolvimento que são vinculadas com os ciclos de turbina a gás ou outro tipo de equipamento, ou seja, é um processo de conversão tendo como finalidade obter um gás com poder energético. A gaseificação é definida como a oxidação parcial de um combustível sólido que se transforma em combustível gasoso (TURN, 1998).

3.4.2 Carvão Mineral

O carvão mineral é o mais utilizado na geração elétrica no mundo devido ser um dos recursos de maior abundância. O Balanço Energético Nacional – BEN (1999) cita os dados do consumo de energia a partir do carvão mineral, sendo que em 1996 atingiu cerca de 6749×10^6 toneladas e no ano de 1997 são revelados os principais produtores de carvão a China, Estados Unidos, Índia, África do Sul, Rússia e Polônia, atingindo uma produção de 77% da produção mundial, são cerca de 4676×10^6 toneladas de carvão. O Brasil no ano de 1998 obteve uma produção de 5496×10^3 toneladas destinada para gerar vapor, sendo necessária a importação de 12.964×10^6 toneladas.

Com a grande eficiência do desenvolvimento tecnológico e com a grande preocupação com o impacto ambiental, cada vez mais estão sendo realizadas pesquisas quanto às propriedades do carvão e métodos de combustão e gaseificação que se adequam a cada tipo específico de carvão.

O carvão é constituído de fósseis e substância orgânica, uma rocha porosa que apresenta estrutura orgânica, inorgânica e física, a estrutura física se relaciona diretamente

com a compressibilidade, difusividade, capacidade de extração, e outros fatores (GORBATY, 1994).

As reservas de carvão no Brasil possuem grande potencial energético, está situado em maior parte na região sul do país (Santa Catarina e Rio Grande do Sul), tendo existência também no Espírito Santo (FREITAS, CUNHA e EMMERICH, 1997).

3.4.3 Madeira

A madeira, juntamente ao bagaço de cana possui a grande vantagem de ser aplicada como combustível por ser uma fonte de energia renovável, além da baixa quantidade de cinzas, porém apresenta baixo poder calorífico quando se comparado a outras formas de combustíveis. As características da madeira são físico-químicas que assumem vários aspectos para cada tipo de aplicações, na qual é classificada como resíduo industrial e florestal, onde se adotam diversas denominações quanto à forma e origem de corte, podendo ser em forma de cavacos, pó de serra, casca, entre outros (NACIF, 1982).

3.4.4 O Bagaço de Cana

A origem da cana-de-açúcar provavelmente em torno de 6.000 anos A.C. em regiões próximas a Índia. Durante a antiguidade o açúcar era usado apenas como tempero ou remédio. O preparo de alimentos adocicados era feito com mel de abelhas. O termo *sarkata* deu origem a todas as versões da palavra açúcar nas línguas indo-européias, como:

- *Sukkar* em árabe;
- *Saccharum* em latim;
- *Zucchero* em italiano;
- *Seker* em turco;
- *Zucker* em alemão;

- *Sugar* em inglês.

A partir do século 12 o açúcar chegou à Europa, importantes regiões produtoras surgiram nos séculos seguintes, especialmente no Extremo Oriente. Quando novas bebidas como o café, o chá e o chocolate surgiram, o interesse pela especiaria foi crescente no século 15. Cristóvão Colombo iniciou o cultivo de cana-de-açúcar em 1493 nas Antilhas, a partir disso a história do açúcar ganhou novos conceitos pelo mundo. No Brasil, através da cana-de-açúcar é produzido o açúcar e o álcool, quanto na Europa quase todo açúcar produzido é a partir da beterraba (COPERSUCAR, 2009).

Basicamente a sacarose é o principal componente da cana-de-açúcar (sólido), conforme Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Composição Média da Cana-de-açúcar

Composição	Teor
Água	65 – 75
Açúcares	11 – 18
Fibras	8 – 4
Sólidos solúveis	12 – 23

Fonte: COOPERSUCAR (2009).

A constituição da cana-de-açúcar é representada por açúcares, sais e proteínas, conforme representado na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Principais Constituintes da Cana-de-açúcar

Constituintes	Sólidos solúveis (%)
Açúcares	75 a 93
Sacarose	70 a 91
Glicose	2 a 4
Frutose	2 a 4
Sais	3,0 a 5,0
De ácidos inorgânicos	1,5 a 4,5
De ácidos orgânicos	1,0 a 3,0
Proteínas	0,5 a 0,6
Amido	0,001 a 0,05
Gomas	0,3 a 0,6
Ceras e graxas	0,05 a 0,15
Corantes	3 a 5

Fonte: COPERSUCAR (2009).

Por meio do processamento da cana de açúcar, é extraído o caldo da cana utilizado para produzir açúcar e álcool, o bagaço da cana após processada, pode ser considerado como um subproduto por ser a fonte energética para toda a indústria, no ANEXO A, mostra o fluxograma do processo como um todo do setor sucroalcooleiro. O bagaço é um material fibroso e com baixa densidade, diversificado em vários tamanhos e possui uma umidade em torno de 50%, o que resulta em um combustível natural do processo, a Figura 6 relaciona a utilização da cana de açúcar no setor.

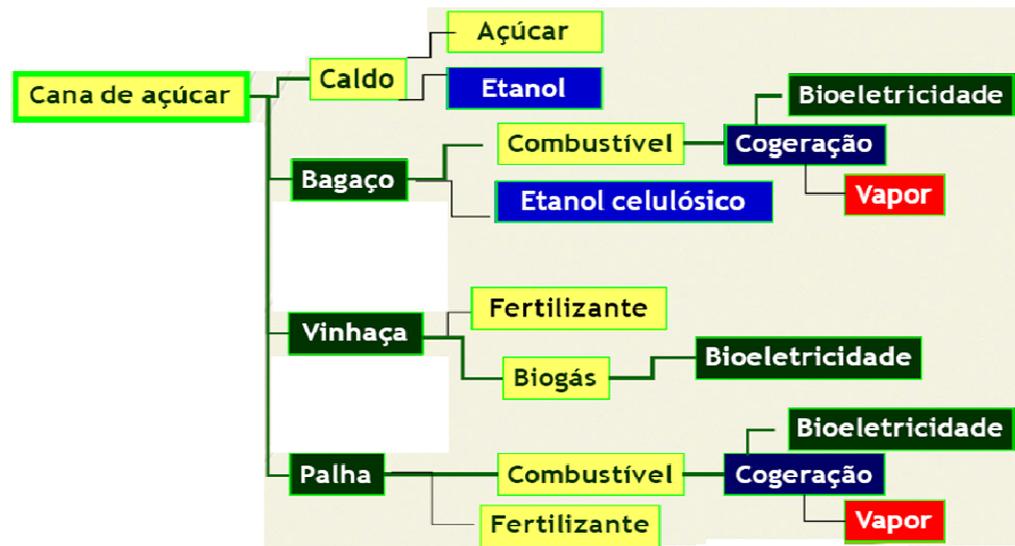


Figura 6 – Utilização da Cana de açúcar

Fonte: COOPERSUCAR (2009).

Quanto melhor a condição do preparo da cana e da extração do caldo, o bagaço tende a ser mais triturado, tendo baixo teor de sacarose e baixa umidade, fatores que interferem diretamente na queima na câmara de combustão da caldeira, devido à gaseificação e combinação com o oxigênio serem mais rápidos (FILHO-DEARBORN, Aspectos Relacionados à Eficiência em Caldeiras a Bagaço).

Há muitos anos já se produz energia elétrica no setor sucroalcooleiro através do bagaço de cana. Atualmente o bagaço é considerado uma das opções mais viáveis para a geração de potência, no Brasil pode dizer que essa prática de cogeração nas usinas de açúcar e álcool é uma tradição, porém a produção e comercialização de excedentes de energia elétrica tem sido atrativo pelo setor nos últimos anos. Os fabricantes de geradores de vapor, mais conhecido como caldeiras, tendo como combustível o bagaço de cana possui equipamentos esses equipamentos que trabalham entre 3,2 e 8,0 MPa, sendo que atualmente os níveis de pressão na geração de vapor vem se elevando cada vez mais, tendo grande tendência de mercado. Para operação destes equipamentos com pressões elevadas, com isso torna-se necessária maior experiência e deve cumprir exigências com relação ao tratamento de água utilizada para abastecimento da caldeira. Devido ao favorecimento à comercialização dos excedentes de energia elétrica, implica na avaliação dos elementos que possam intervir na geração de energia em grande quantidade a partir também dos resíduos que sobram da cana de

açúcar. A partir dessa necessidade, cada vez mais esta sendo analisada a viabilidade da implantação da palha da cana, a partir da cana de açúcar quando cortada sem utilizar a queima do canavial, gera restos vegetais, como folhas verdes e pontas de colmos, chamados de palha que podem ser utilizado como combustível para aumentar a produção na cogeração de energia (JORNAL CANA, 2009).

3.4.5 Combustível Combinado

A queima combinada “*co-firing*”, consiste na implantação combinada entre combustível fóssil e biomassa em geradores de vapor industrial (caldeiras), o motivo desta implantação se dá devido à redução de risco técnico e econômico, sendo que em alguns países a queima combinada se considera como primário o uso da biomassa na geração de potência (ROSILLO-CALLE, BAJAY e ROTHMAN, 2000).

Quanto à definição da quantidade de bagaço a ser queimada, é necessário realizar uma viabilidade econômica, sendo a disponibilidade da biomassa, custo de transporte, o desempenho dos equipamentos e o investimento necessário para adequar as caldeiras geradoras de vapor para novas condições de queima de combustível. É necessário para o uso da biomassa algum tipo de tratamento antes de ser utilizada como combustível, como moagem e secagem, se tornando para a queima combinada um processo simples de queimar biomassa em fornalha separada e recuperar os gases quentes para outra caldeira que possui seu principal combustível o carvão.

3.5 A Cogeração do Setor Sucroalcooleiro Brasileiro

As vantagens da cogeração de energia tendo como combustível o bagaço de cana mostram muitas vantagens para o setor, sendo benefícios ambientais por ser uma fonte de energia renovável e menos poluente se comparado a outros combustíveis utilizados para o processo. A cogeração a partir do bagaço de cana e seus aspectos ambientais e sociais tem sido analisada por pesquisadores, entre eles Coelho, Ieno e Zylberstajn (1994), que

consideram a agroindústria açucareira com grande potencial para gerar excedentes de energia elétrica, devidamente pela grande quantidade de combustível disponível.

Mesmo com a necessidade do desenvolvimento de processos de cogeração, ainda possui restrições quanto à implantação desse processo, devido às grandes adequações às características de mercado quanto aos sistemas de distribuição e transmissão de energia, o que resulta na grande busca de alternativas que possam contribuir com a expansão dos processos de geração de energia, sendo:

- Diversos setores industriais apresentam potencial para cogeração de energia, sendo o setor sucroalcooleiro o que possui benefícios (COELHO, OLIVEIRA e ZYLBERSTAJN, 1997).
- Grande necessidade da diversificação de produtos o setor de açúcar e álcool, devido às perdas de faturamento, perdas provenientes dos excedentes de produção de açúcar e álcool, o que significa queda de preços para comercialização dos produtos (RAMALHO, 1999).
- Devido necessidade de definições governamentais para se explorar o processo de cogeração, ocasionando que o setor sucroalcooleiro não se desenvolveu quanto à consideração de energia elétrica como produto (RAMALHO, 1999).

Estes parâmetros são considerados como medidas que estão sendo adotadas no setor sucroalcooleiro. Qualquer alternativa de expansão de geração de energia elétrica através de sistemas a vapor necessita de grandes investimentos. A capacidade de investimentos gera um estudo de viabilidade quanto ao aumento da produção de eletricidade, por ser de princípios termodinâmicos é preciso planejar para que se possa atingir aumento dos lucros (RAMALHO, 1999). O grande desafio do setor é fazer com que viabilize economicamente o empreendimento, produzindo energia para o próprio consumo, ou seja, se torne auto-suficiente em energia elétrica e conseguir vender o excedente de energia.

3.6 Avaliação de Sistemas de Cogeração

A cogeração consiste no processo de produção de forma combinada (calor e eletricidade), através de combustível (gás natural, diesel, óleo combustível, carvão, biomassa). A energia gerada do combustível é aproveitada na geração de potência elétrica de acordo com os ciclos “topping”, onde o rejeito da energia térmica é utilizado no processo produtivo (HUANG, 1996).

Este tópico tem como objetivo fazer uma análise dos parâmetros dos sistemas de cogeração de energia, comparando as diferenças e os fundamentos da aplicação de métodos contidos na primeira e segunda lei da termodinâmica.

3.6.1 Sistemas de Cogeração baseados na Primeira e Segunda Lei da Termodinâmica

O desempenho de uma planta de cogeração com base na Primeira Lei da Termodinâmica é um procedimento de comparação de diferentes qualidades termodinâmicas, como calor e potência produzida (WALTER, LLAGOSTERA e GALLO, 1997). Para os sistemas de cogeração que utilizam vapor através da água como fluido térmico, possui alguns parâmetros que se destacam. O setor sucroalcooleiro, através da combustão do bagaço de cana em caldeiras gerando assim o vapor que é conduzido para uma turbina a vapor, onde o vapor de baixa pressão, chamado de vapor de escape é utilizado na demanda de energia térmica (calor) para o processo produtivo.

Para que se possa dimensionar o sistema de cogeração é necessário saber a demanda de energia e de calor, nas quais podem ser dimensionados para operação em plena carga, sendo que a energia térmica e elétrica gerada pode ser utilizada para próprio consumo da planta e venda dos excedentes de energia para concessionárias.

3.7 Crescimento Econômico e consumo de energia no Brasil

No Brasil, o setor industrial corresponde 40,7% da energia consumida, o que preocupa muito quanto à situação da eficiência energética brasileira a pelo menos uma década. A partir do ano de 2004, a Confederação Nacional da Indústria (CNI) juntamente com a Eletrobrás realizando campanhas focadas no Procel Indústria (Programa de Conservação de Energia Elétrica, tendo como objetivo de aumentar a eficiência energética do setor industrial. Com isso, as empresas que investem em projetos de eficiência energética economizam recursos, tendo como resultado ganho de competitividade e alívio da pressão sobre o aumento da oferta de energia elétrica. Dessa forma, o governo juntamente com as empresas, com os recursos economizados em energia elétrica, pode investir em outras prioridades, mantendo a mesma qualidade, sem perdas no processo e com a consciência de estar colaborando com os recursos sociais e ambientais. A CNI atua na conscientização do setor industrial, estimulando investimentos que sejam favoráveis aos negócios, pois não possui país desenvolvido com ausência de um ambiente saudável para os negócios e as pessoas, esse ambiente ainda é um desafio para o Brasil. Estudos e levantamentos são essenciais para conseguir identificar o que é necessário fazer, para isso a CNI com parceria da Eletrobrás, através do programa Procel Indústria estudou casos de foram bem sucedidos no Brasil, identificando assim oportunidades de economia de energia elétrica nos setores industriais, essas informações foram analisadas a partir das práticas de eficiência industrial que obtém sucesso em 12 países e a União Européia, que é concorrente do Brasil no mercado internacional e possui os melhores exemplos a ser seguidos. O resultado são nove recomendações para que o Brasil possa conseguir a eficiência energética no setor industrial (CNI - ESPECIAL ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2010).

- 1- Associação de ações de eficiência energética a ganhos ambientais, em especial a redução dos gases de efeito estufa;
- 2- Priorização dos setores industriais nos programas governamentais de eficiência energética;
- 3- Aproximação entre a indústria e o governo na construção de programas de eficiência energética;

- 4- Estruturação e difusão de uma sólida base de dados que permita maior segurança nas decisões sobre projetos de eficiência energética;
- 5- Fomento à realização de diagnósticos energéticos de instalações industriais;
- 6- Apoio a contatos de performance com Escos (empresas especializadas em promover eficiência energética) em programas industriais;
- 7- Estímulo a parcerias público-privadas para pesquisa e desenvolvimento de equipamentos e processos industriais eficientes;
- 8- Adoção de normas ISO para consumo de energia;
- 9- Revisão das metodologias de medição e de verificação de resultados de projetos de eficiência energética.

3.7.1 A aplicação da energia no setor industrial

Com dados da Revista Análise – Especial Energias Renováveis (2010), partindo da análise de 217 projetos de eficiência energética em 13 setores industriais com um número muito considerável de consumo de energia elétrica, o levantamento constatou as seguintes situações:

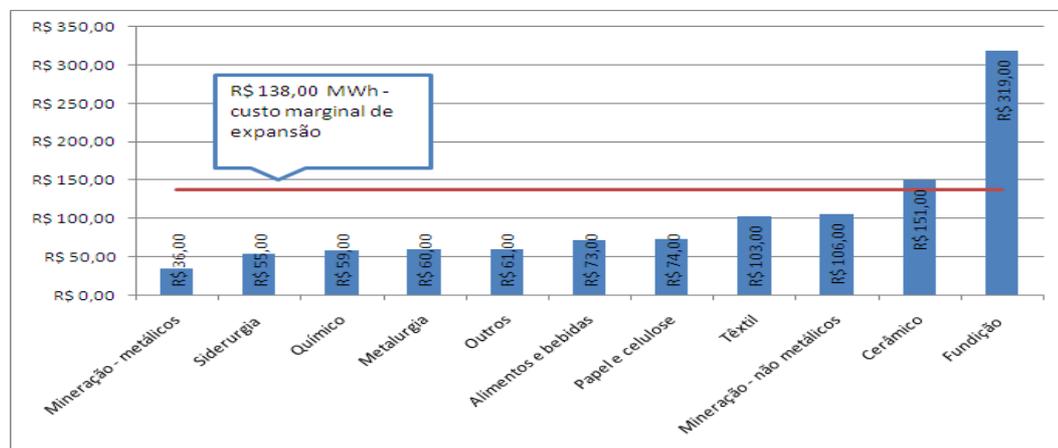
- Investimento de R\$ 161 milhões no conjunto de projetos;
- Apresentada uma economia de 626 GWh, o que representa um Custo de Energia Conservada (CEC) de R\$ 79,00 por MWh (considerando duração média das ações em 10 anos e taxa de remuneração do capital de 12% ao ano);
- Considerando o custo de expansão do sistema de energia elétrica é estimado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em R\$ 138,00 por MWh, ou seja, a eficiência energética é uma alternativa viável. Com isso a mesma quantidade de energia pode ser disponibilizada a preços mais baixos, além de descartar a necessidade de novas obras para evitar possíveis impactos ambientais;

- No estudo realizado, são projetos realmente voltados para economia de energia, sendo os mais utilizados atuando em troca de motores elétricos e melhoria nos sistemas de iluminação e ar comprimido;
- Frequência de ações envolvidas na otimização de processos térmicos é menor, mesmo os resultados sendo expressivos de cogeração em siderurgia.

O Brasil possui programas e verbas para investir na eficiência energética, no qual são controlados pelo governo federal, como PEE/Aneel, Procel, Conpet e Proesco. Mas mesmo assim são necessários alguns ajustes para conseguir uma economia satisfatória, sendo os seguintes:

- O Brasil não possui política de eficiência energética em longo prazo voltada para o setor industrial, mesmo com o setor correspondendo 40,7% da energia que é consumida em todo país;
- Os programas já implantados priorizam os setores residenciais, comerciais e públicos, sendo que juntos correspondem apenas 15,8% do consumo de energia do país;
- Os ganhos de sistemas que visam o aproveitamento de energia térmica que são descartadas ao invés de estar gerando energia elétrica, não estão claros nas prioridades dos programas do governo. O Gráfico 1 relaciona o Custo de Energia Conservada separado por setor:

Gráfico 1 – Custo de Energia Conservada por Setor



Fonte: CNI/Eletrobrás - Especial Energias Renováveis, 2010.

4 METODOLOGIA

Segue os aspectos abordados neste trabalho cujo objetivo é apresentar o tipo de pesquisa realizada, a origem do estudo, o motivo do estudo, os procedimentos de coleta de dados e o método utilizado para interpretar os dados e informações coletados.

4.1 Tipos de Pesquisa

A pesquisa tem como objetivo de proporcionar respostas aos problemas em estudo, podendo ser utilizado quando não se possui respostas e soluções para o problema, mesmo quando as informações coletadas se encontram de maneira que não se tenha uma adequação para o problema (GIL, 1996).

Os métodos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho foram baseados em um estudo de caso sendo uma pesquisa quantitativa, descritiva e bibliográfica.

A pesquisa quantitativa é considerada tudo que se possa definir em números, tendo como ferramenta de auxílio os métodos estatísticos, facilitando assim a análise dos dados coletados na pesquisa de campo ou boletins informativos (SILVA e MENEZES, 2001).

As pesquisas são classificadas quanto ao seu objetivo como pesquisa exploratória, pesquisa descritiva e pesquisa explicativa. A pesquisa descritiva se define em descrever as características de determinada população ou fenômeno, podendo também propor relações entre as variáveis (GIL, 2007).

A pesquisa bibliográfica tem como desenvolvimento a partir de materiais existentes como livros e artigos científicos. A grande vantagem da pesquisa bibliográfica é que permite ao pesquisador uma gama de fenômenos muito ampla ligada diretamente ao estudo realizado (GIL, 2007).

4.2 Objeto de Pesquisa

O desenvolvimento do trabalho é baseado nos dados da implantação de uma unidade termelétrica em uma usina sucroalcooleira situada no centro oeste mineiro tendo como principais atividades a industrialização de açúcar, álcool e energia elétrica. O trabalho consiste em verificar a viabilidade da implantação de sistemas de cogeração de energia tendo como combustível o bagaço de cana.

4.3 Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada por meio de dados da implantação da unidade termelétrica e comparada com uma pesquisa bibliográfica referente aos principais aspectos de cogeração de energia e atuais tecnologias utilizadas, quanto à mudança no setor elétrico brasileiro e apresentação das perspectivas da cogeração tendo como combustível a biomassa, em especial o bagaço de cana.

4.4 Interpretação dos Dados

A interpretação dos dados quantitativos será utilizada as ferramentas Microsoft Excel 2007 e Microsoft Word 2007, na elaboração de gráficos e tabelas com objetivo de facilitar as análises e resultados da pesquisa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 A usina estudada

A usina pelo qual o trabalho se concentra, está situada na região centro oeste de Minas Gerais, sendo uma empresa multinacional e como principal atividade a comercialização de commodities agrícola e de energia renovável. A empresa também está bastante envolvida na propriedade e administração de navios transoceânicos, no desenvolvimento e operação de infra-estruturas de telecomunicações e na propriedade, administração e construção de imóveis.

No Brasil, a empresa ingressou no setor sucroalcooleiro em 2000 com a aquisição de uma usina no estado de São Paulo e atualmente possui 14 usinas sucroalcooleiras nos principais centros de produção do país.

Como forma de melhorar sua competitividade no setor sucroalcooleiro, a empresa tem priorizado o aumento da produtividade de usinas impulsionado pelo déficit na demanda do açúcar e recuperação do preço do álcool, consolidando a empresa como um importante *player*.

Ainda neste contexto, a empresa tem concentrado esforços na busca de soluções que permitam ganhos de produtividade e redução de custos, principalmente daquelas atividades que não fazem parte do *core business* da empresa.

Como serviços de engenharia não fazem parte do *core business* da empresa, uma solução tem sido a terceirização dos mesmos. Isto permite a redução de seus custos e aperfeiçoe seus investimentos garantindo o atendimento a normas técnicas, padrões e procedimentos.

5.1.1 O projeto de expansão da usina

Para a realização do projeto de expansão da usina foram realizados estudos minuciosos de todo seu processo produtivo, elaborados por empresas especializadas em projetos para o

setor sucroalcooleiro. A expansão praticamente passou por toda a usina, sendo aplicadas melhorias e aumento da capacidade da moagem de cana passando de 400 ton./hora para 600 ton./hora, na produção de açúcar de 17.940 sacos/dia para 30.000 sacos/dia, na produção de álcool a implantação de uma planta com capacidade produtiva de 600 m³/dia e melhoria da planta existente com capacidade de 400 m³/dia, gerando um total de produção de álcool de 1000 m³/dia.

A usina produtora de açúcar e álcool a partir de cana de açúcar é o tradicional da indústria sucroalcooleira. A característica deste processo é a utilização do bagaço residual como fonte de energia, queimando-o em caldeiras.

O vapor resultante, de alta pressão, é utilizado tanto no acionamento mecânico (turbina-redutor) de alguns equipamentos de processo como também para o acionamento de geradores elétricos. O vapor secundário, de menor pressão, resultante do gerador e dos acionamentos mecânicos, é utilizado em trocas térmicas no processo de produção. A energia elétrica gerada é utilizada nas instalações da usina e o excedente é vendido à concessionária local. Esta operação, que depende do fornecimento da matéria-prima, ocorre durante o período da safra, normalmente de maio a novembro. Fora deste período, não há geração e a usina torna-se compradora normal de energia elétrica da concessionária local, no ANEXO B está representado o fluxograma do processo de cogeração da usina estudada, no qual são representados os principais equipamentos do processo.

Antes da expansão da usina, a unidade dispunha de duas caldeiras instaladas, produzindo vapor a 21 kgf/cm² de pressão a 300⁰ C, com capacidades de 110 t/h e 85 t/h. Estas caldeiras alimentavam dois geradores de energia elétrica, com capacidades de 4 MW e 5 MW, sendo que durante o período de safra, a usina gerava energia elétrica suficiente para seu consumo.

Com o projeto de expansão, foi realizada a substituição do sistema gerador por uma unidade nova, mais eficiente no aproveitamento energético, composta de uma caldeira, com capacidade de produzir 200 ton/h de vapor a 67 kgf/cm² a 490⁰ C, que realiza o acionamento do sistema turbo-gerador, com um total de 40 MW instalado. Com a implantação da caldeira, as duas caldeiras e os geradores já existentes ficaram como reservas no processo, na Figura 7 está representada a constituição do sistema de cogeração da usina estudada.



Figura 7 – Constituição do Sistema de Cogeração da usina estudada

Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

Além dos equipamentos mencionados, houve a necessidade da instalação de uma nova rede elétrica em 138 kV e 50MW conectada ao sistema, de cabine de transformação e de medição, de instrumentação, serviços de obras civis e de montagem, bem como de outros serviços de apoio.

Devido à maior eficiência do sistema, foi gerado um excedente de potência disponibilizada à exportação, deste modo, quando em regime normal de operação, são exportados cerca de 90.000 MWh/safra em função da implantação do projeto.

Com a instalação do sistema de caldeira que utiliza como combustível o bagaço de cana, suprindo vapor a 67 kgf/cm², e temperatura de 490⁰ C, condições estas maiores se comparadas às que eram utilizadas. Com o vapor gerado é realizado o acionamento do sistema turbo-gerador, produzindo assim a energia elétrica. Com o vapor redundante, em pressão de 21 kgf/cm², é utilizado no acionamento mecânico das moendas, exaustores e bombas de processo existentes, consumindo um total de 92 t/hora e saindo a 1,5 kgf/cm² onde é destinado para os trocadores de calor do processo de produção de açúcar e álcool.

Para que a energia elétrica excedente seja exportada, foi necessária a implantação de um sistema de interligação com a rede da concessionária local, sendo esta interligação de uma rede elétrica de 138.000 V, com 6 km de distância e uma subestação de 13,8/138 de 25/30 MVA, com capacidade atingida para a totalidade do plano energético.

Na Tabela 3, segue os principais aspectos de evolução da capacidade de produção após a expansão da usina:

Tabela 3 – Cenário da Capacidade de Produção antes e após expansão industrial

	CAPACIDADE DE PRODUÇÃO MÁXIMA POR PRODUTO			
	Safrá 2007 (antes expansão)		Safrá 2009 (após expansão)	
	Máximo Açúcar	Máximo Álcool	Máximo Açúcar	Máximo Álcool
Moagem (Ton. / Hora)	400	400	600	600
Moagem (Ton. / Dia)	9.600	9.600	14.400	14.400
Produção de Açúcar (Sacos / Dia)	17.940	0	30.000	13.730
Produção de Álcool Anidro (Litros / Dia)	326.735	939.454	344.322	900.000
Produção de Álcool Hidratado (Litros / Dia)	0	0	0	0
Consumo de Energia - Operação Normal (KWh)	6.000	6.000	18.000	18.000
Geração em Condensação (KWh)	0	0	0	0
Geração em Contra Pressão - 21 Kgf / cm ² (KWh)	6.000	6.000	3.200	2.600
Geração em Contra Pressão - 67 Kgf / cm ² (KWh)	===	===	34.500	33.300
Total a ser Gerado (KWh)	6.000	6.000	37.700	35.900
Total da Energia Exportada (KWh)	0	0	19.700	17.900
Consumo de Vapor 21 Kgf / cm ² (Ton. / Hora)	185	186	109	107
Consumo de Vapor 67 Kgf / cm ² (Ton. / Hora)	===	===	207	200
Consumo Total de Vapor Direto (Ton. / Hora)	185	186	316	307
Consumo de Vapor de Escape (Ton. / Hora)	184	182	314	299
Consumo Específico de Vapor (Kg / Ton. Cana)	463	466	527	511
Distensão / Sobra de Vapor (Ton. / Hora)	14	13	0	0
Sobra / Falta de Bagaço (Ton. / Hora)	19	19	8	8
Sobra / Falta de Bagaço (%)	19	18	5	5

Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

5.2 Avaliação do uso do bagaço de cana

Neste contexto, os excedentes de energia elétrica que são passíveis de comercialização – demanda de aproximadamente 18 MWh – foram calculados de forma bastante conservadora, considerando o sistema operando de modo balanceado – o vapor expandido nas turbinas atende as necessidades de energia térmica do processo da usina sem que ocorram sobras. Segue Tabela 4 contendo parâmetros relacionados à geração de energia e consumo de bagaço de cana:

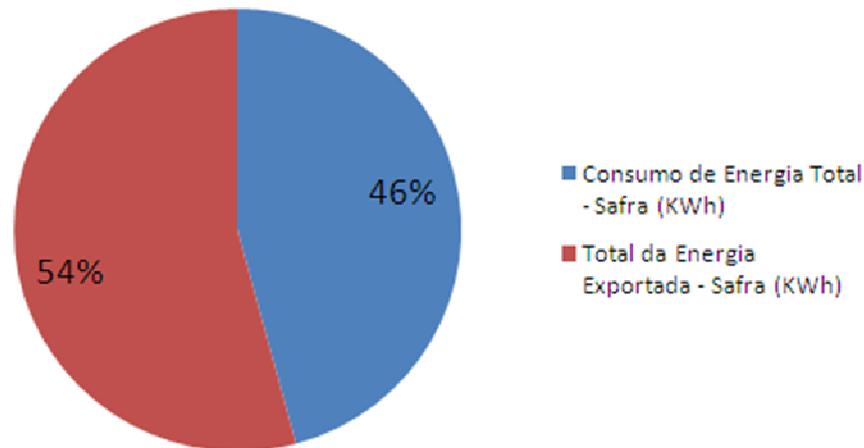
Tabela 4 – Produção de Energia x Consumo de Bagaço

	Máximo Açúcar	Máximo Álcool
Consumo de Energia - Paradas (KWh)	2.400	2.400
Total da Energia Exportada - Paradas (KWh)	11.540	19.512
Total a ser Gerado - Paradas (KWh)	13.940	21.912
Consumo Total de Vapor Direto - Paradas (Ton. / Hora)	84	131
Cana Mecanizada (%)	50	50
Aproveitamento de Palha (%) Cana	0	0
Geração Total de Bagaço/Palha Safra (Ton.)	646.632	646.632
Consumo de Bagaço Safra - Operação Normal (Ton.)	583.600	566.042
Consumo de Bagaço Safra - Paradas (Ton.)	30.701	48.258
Consumo de Bagaço Safra - Total (Ton.)	614.301	614.301
Sobra de Bagaço Safra (Ton. / Safra)	32.332	32.332
Sobra de Bagaço Safra (Ton. / Hora)	8	8
Sobra de Bagaço Safra (%)	5	5
Consumo de Energia Total - Safra (KWh)	73.894.054	73.894.054
Total a ser Gerado - Safra (KWh)	161.801.046	160.892.565
Total da Energia Exportada - Safra (KWh)	87.906.992	86.998.511

Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

Considerando uma média de geração de energia elétrica por safra destinada a produção de açúcar e álcool, cerca de 54% do total desta energia é exportada para as concessionárias, ou seja, a energia utilizada no processo produtivo representa uma menor parcela da energia produzida. Através desta análise pode se dizer que para o setor sucroalcooleiro a energia produzida é mais um produto de seu mix de produção pois representa uma receita adicional em seu faturamento como um todo.

Gráfico 2 – Relação da Energia Exportada x Energia Consumida



Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

Outro grande fator a ser considerado, no contexto da concepção de projeto, é em relação aos custos operacionais e manutenção, cujo valor não informado, mas as premissas consideradas são as seguintes:

- Os custos operacionais dos principais equipamentos destinados a cogeração de excedentes de energia elétrica, como caldeiras e turbo geradores, são menores, devido à sofisticação com relação à automação dos mesmos.
- A incrementação de custos operacionais e manutenção na unidade geradora de vapor seriam proporcionais ao tratamento de água e ao consumo adicional de bagaço devido à caldeira ser de alta pressão.

No entanto, a estratégia já utilizada em usinas que operam sob alta pressão de vapor é fazer com que todo o condensado seja retornado para caldeira, para isso é necessário um monitoramento constante para evitar contaminação. Sendo assim, a estação desmineralizadora fica somente na reposição de perdas de condensado. Em relação ao acréscimo da utilização do bagaço, se torna compensada devido à melhor eficiência das caldeiras de alta pressão.

A execução do projeto foi direcionada na utilização de equipamentos nacionais, sendo de alta tecnologia, eficientes, e com responsabilidade ambiental. A caldeira possui sistema de

retenção de particulados de fuligem através de lavadores de gases, o que reduz a emissão do particulado na atmosfera pela chaminé, garantindo assim o padrão de emissão contido na legislação em vigor. Os efluentes do sistema de fuligem são enviados ao setor de decantação, onde a água é utilizada na irrigação do canavial.

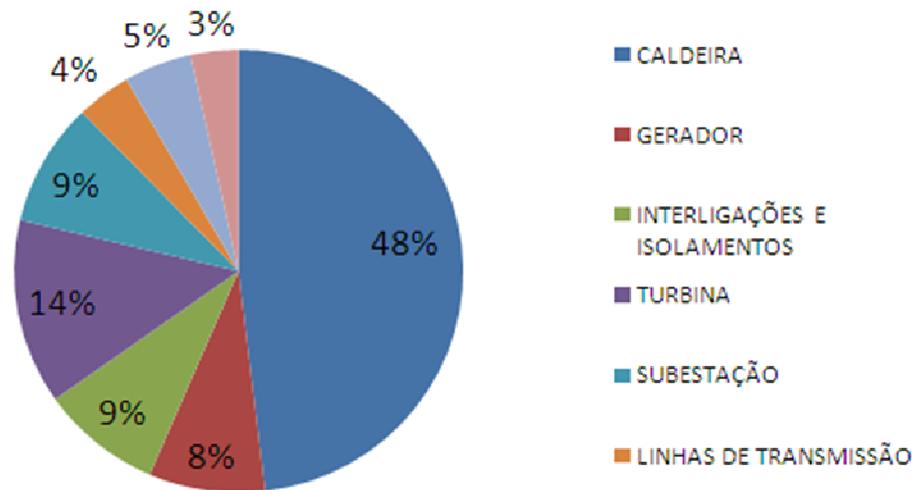
O turbo gerador possui capacidade de 40 MWh, dimensionado para suportar a vazão de 200 ton./hora sob pressão de 67 Kgf/cm², a turbina de contra pressão possui extração de vapor sob pressão de 1,5 Kgf/cm², sendo o vapor extraído com destino de alimentar o processo de produção de açúcar. Todo o vapor condensado nos equipamentos do processo é destinado ao desaerador térmico, onde as bombas fazem a alimentação de água para caldeira. O desaerador possui a função de eliminar o oxigênio e gases incondensáveis da água. A água desmineralizada de reposição também é destinada para o desaerador.

A estação de desmineralização de água, mais conhecida como ETA/DESMI, tem como objetivo retirar os íons da água. Na ETA (Estação de Tratamento de Água) é realizado o tratamento químico da água, logo a mesma é enviada para a Demineralização, ou seja, é eliminada toda a dureza da água para evitar possíveis incrustações nas tubulações da caldeira.

Os fornecedores dos equipamentos são de tradicional atendimento ao setor sucroalcooleiro, sendo no contexto estudado os seguintes:

- Caldeira: HPB Engenharia e Equipamentos
- Desaerador: HPB Engenharia e Equipamentos
- Turbina: TGM
- Gerador: WEG

O investimento total do projeto de cogeração como um todo foi de 75 milhões de reais, o Gráfico 3 está representado à aplicação do investimento nos principais equipamentos do sistema de cogeração.

Gráfico 3 – Representação do investimento no sistema de cogeração

Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

Com base nos dados da média da capacidade de geração de energia, considerando que a duração de uma safra seja de 237 dias e que o sistema de geração de energia atue com uma eficiência de aproximadamente 93% do total de dias previstos, ou seja, totalizando cerca de 17 dias considerados como paradas programadas, paradas não programadas como manutenção corretiva, falhas operacionais ou intempéries. Por meio destas considerações a Tabela 5 mostra um valor total da receita com a geração de energia gerada por safra de R\$ 27.878.400,00, sendo o valor médio para cada MW exportado de R\$ 160,00/MW.

Tabela 5 – Valor da capacidade total de geração de energia por safra

Dias de safra	237
Dias funcionamento da caldeira	220
Aproveitamento da caldeira (%)	93%
Valor da energia (R\$/MW)	R\$ 160,00 *
Média de geração de energia total (MWh)	33
Total de geração por safra (MW)	174240
Valor da energia gerada R\$	R\$ 27.878.400,00

Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

O valor de R\$ 27.878.400,00 se trata da capacidade total de energia gerada por safra, ou seja, nem toda energia gerada é vendida, como citado no Gráfico 2, somente

aproximadamente 54% da energia gerada é vendida e o restante é utilizada no próprio consumo, gerando assim a auto-suficiência em energia elétrica. Com base na capacidade de exportação, a Tabela 6 mostra o valor da receita de energia exportada por safra.

Tabela 6 – Valor da capacidade de excedentes de energia por safra

Média de energia exportada (MWh)	18
Total de geração por safra (MW)	95040
Valor da energia exportada (R\$)	R\$ 15.206.400,00

Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

Para demonstrar o tempo do retorno do investimento, foram necessárias várias considerações, como custos operacionais e custos com manutenções gerais no sistema como um todo. O resultado está vinculado somente à receita com os excedentes de energia exportados a concessionária, ou seja, a energia utilizada no processo como auto-suficiência esta sendo desprezada. A Tabela 7 mostra os resultados, sendo que a cada ano aproximadamente 19% do investimento é liquidado levando cerca de 5 anos para liquidação total do investimento.

Tabela 7 – Liquidação anual do investimento

Quantidade de operadores	15
Média salarial (R\$/mês)	R\$ 2.600,00
Total salarial por safra (R\$)	R\$ 303.879,45
Média manutenção por safra (R\$)	R\$ 250.000,00
Total Despesas Operacionais/Manutenção	R\$ 553.879,45
Valor total do investimento (R\$)	R\$ 75.355.097,00
Valor total receitas exportação excedentes (R\$)	R\$ 15.206.400,00
Faturamento líquido por safra (R\$)	R\$ 14.652.520,55
Liquidação do investimento por ano (%)	19%

Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

5.3 A matriz energética brasileira

O padrão energético do Brasil tem sido alvo de críticas quanto a sua forma de utilização, que ora utilizam nada e ora utilizam tudo de uma vez. O padrão adotado para utilização da energia requer demanda intensa em épocas de seca, quando os reservatórios estão em baixa, mas, no entanto, em épocas de chuva as termelétricas ficam ociosas (LOPEZ, ATTUY e PALUDETTO, 2010).

De acordo com a matriz energética brasileira, o Brasil possui 1267 usinas por combustível conforme listado na Tabela 8.

Tabela 8 – Número de usinas por combustível

Tipo	Quantidade
Óleo diesel	785
Bagaço de cana	273
Gás natural	90
Resíduos de madeira	30
Óleo combustível	19
Licor negro	14
Gás de alto forno	12
Carvão mineral	8
Gás de refinaria	8
Biogás	7
Casca de arroz	7
Enxofre	4
Gás de processo	4
Carvão vegetal	2
Efluente gasoso	2
Gás siderúrgico	1
Óleo ultra viscoso	1

Fonte: Especial Energias Renováveis, 2010.

O total de usinas por combustível representa 2,20% da matriz energética, porém sua representação na matriz elétrica demonstra sua real fatia de contribuição para o setor de geração de energia elétrica, conforme Tabela 9.

Tabela 9 – Participação X Potência instalada

Participação na matriz energética	2,20%
Participação na matriz elétrica	15,50%
Potência instalada em MW	24561

Fonte: Especial Energias Renováveis, 2010.

Do total de usinas geradoras de energia elétrica do Brasil, 21,55% são representadas pelas usinas termelétricas que utilizam o bagaço de cana como matéria prima na geração de energia, o que corresponde a 16% da potência das usinas termelétricas, ou seja, aproximadamente 3930 MW de energia produzida, o que equivale a uma participação de aproximadamente 2,5% de participação na matriz elétrica brasileira.

A participação da geração térmica, em ritmo de crescimento, irá elevar sua fatia de participação na geração térmica elétrica do Brasil de 15,5 % para 24% nos próximos anos, visto que estas novas usinas já estão em ritmo de construção desde 2009.

Os índices de produção e consumo de biomassa, juntos representam 4% de participação na matriz elétrica brasileira, onde o número de usinas de geração de energia elétrica em funcionamento atinge 333 unidades de usinas, com uma potência de 5.725 MW, elevando sua participação na potência produzida pelas termelétricas para 23,7%, conforme representado na Tabela 10.

Tabela 10 – Geração elétrica

Número de usinas	333
Potência em MW	5.725
Participação potência termelétrica	23,7%

Fonte: Especial Energias Renováveis, 2010.

A geração por combustível utilizando o bagaço de cana representa uma potência de 4.226 MW de potência, ou seja: 73,8% dos demais tipos de biomassa, conforme representado na Tabela 11.

Tabela 11 – Geração tipo de combustível

Tipo	Usinas	Potência (MW)
Bagaço de cana	273	4.226
Biogás	7	42
Carvão vegetal	2	15
Casca de arroz	7	31
Licor negro	14	1.146
Resíduos de madeira	30	272

Fonte: Especial Energias Renováveis, 2010.

A produção do Etanol e geração elétrica promove o Brasil para o 2º lugar no ranking mundial de produção, e 1º lugar no ranking mundial de exportação, conforme Tabela 12.

Tabela 12 – Produção e consumo

Produção em 2008 (bi litros)	27,5
Brasil no ranking mundial de produção	2º
Consumo 2007 (bi litros)	17,3
Exportação 2008 (bi litros)	5,1
Brasil no ranking mundial de exportação	1º
Cana plantada 08/09 (10 ⁶ ton)	569
Potência de autogeração termelétrica (MW)	4.311

Fonte: Especial Energias Renováveis, 2010.

Um grande aumento dos automóveis vendidos entre junho e agosto de 2009 foram bicompostíveis, atingindo recordes no país, demonstrando a grande aceitação e demanda favorável de crescimento do setor.

Em comparação a relação mundial, a participação da área de cana plantada brasileira chega a 30,5%, e ainda com grandes capacidades de expansão

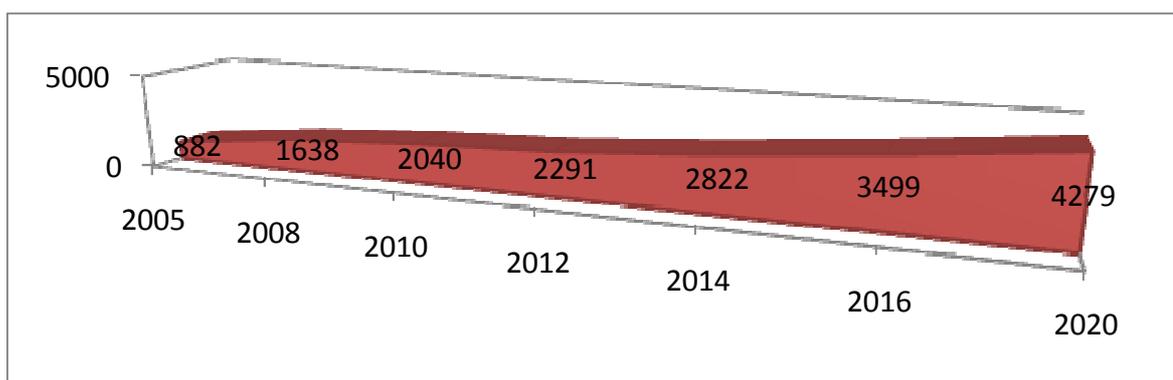
Dentre as 74 usinas termelétricas que estavam em construção em 2009, para uma geração de 6.518 MW, 23 utilizarão insumos fósseis.

5.4 Perspectivas de expansão do setor elétrico brasileiro X setor sucroalcooleiro

O crescimento do setor energético no Brasil e no mundo está certamente condicionado ao crescimento econômico dos países emergentes.

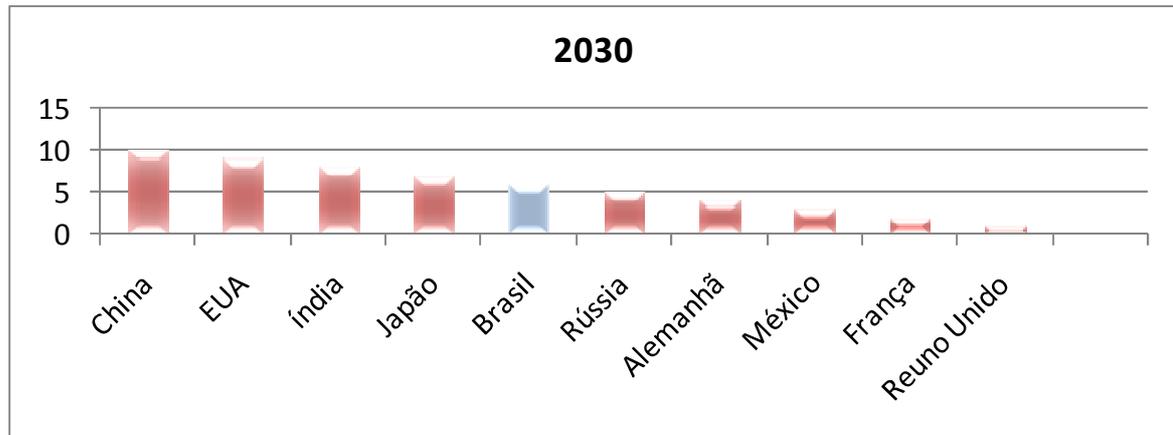
Segundo a projeção da consultoria econômica LCA em 2010 o Brasil deverá atingir um PIB de \$ 2.040 (trilhões) e até 2020 chegar a \$ 4.279 (trilhões).

Gráfico 4 – Crescimento do PIB brasileiro



Fonte: LCA, 2010.

Segundo cálculos da PricewaterhouseCoopers, divulgado em Londres, em 2030 o Brasil deverá ser a 5ª economia do mundo.

Gráfico 5 – Previsão das maiores economias do mundo

Fonte: LCA, 2010.

Com um ritmo acelerado de crescimento previsto para os próximos anos, o governo brasileiro através de uma política de incentivos para o setor sucroalcooleiro, terá grandes oportunidades de aumentar a contribuição da cogeração de energia elétrica gerada através da combustão do bagaço de cana, tendo em vista que o produto principal da cana de açúcar, que é o açúcar e etanol, estará em ampla fase de desenvolvimento.

Em 2008 o Brasil produziu 27,5 bilhões de litros de etanol que foram utilizados para consumo interno e exportação. Além da capacidade do Brasil em aumentar seu consumo interno, o país também está enfrentando barreiras para exportação devido à falta de financiamentos, mas assim que estas barreiras forem vencidas, países como o Canadá deverão importar cerca de 270 milhões de litros, para atender a Associação de Combustíveis Renováveis do Canadá. As exportações brasileiras do etanol deverão crescer 8,9% ao ano, e ainda tem o desafio de se tornar commodity global (PREVISÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL, 2010).

A utilização do bagaço de cana tem apresentado condições favoráveis para geração de energia limpa, gerando sustentabilidade, receita e contribuição social e ambiental, e, além disso, avanços tecnológicos nos próximos 10 anos, como o etanol de segunda geração, produzido a partir de materiais hoje descartados, como sobra de colheita ou palha e bagaço de cana, deverão permitir aumentar a produção sem necessidade de ampliação de área. A previsão é que o governo brasileiro deverá aumentar a produção de etanol em mais de 150% até 2020, contribuindo assim ainda mais para a geração de energia limpa e conseqüentemente

aumentando a participação da cogeração através do bagaço de cana na matriz energética brasileira (PREVISÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL, 2010).

6 CONCLUSÃO

No trabalho foram analisados os principais sistemas de cogeração, com ênfase nos processos do setor sucroalcooleiro, tendo como combustível o bagaço de cana com uma visão da representação deste sistema na matriz elétrica brasileira, concluindo que o crescimento desse setor pode ser totalmente viável.

Levando em consideração as vantagens ambientais e sociais com a implantação deste sistema de geração de energia, se torna de grande importância a implementação de políticas que possam viabilizar o processo de cogeração por meio da biomassa tendo em vista uma produção em grande escala.

Quanto à produção de energia é uma tendência a nível mundial devido seus benefícios, para o setor sucroalcooleiro a implementação do sistema é uma opção totalmente estratégica, pois é utilizado um resíduo gerado pelo seu processo de fabricação de açúcar e álcool como combustível para se produzir energia para o seu processo produtivo em geral além de gerar energia excedente, obtendo assim uma nova fonte de receita.

A licença ambiental é de suma importância e de muito interesse do setor público e controle ecológico, mas a burocracia não pode se tornar uma barreira para a viabilização da implantação dos sistemas para contribuição do desenvolvimento do país. Em outras condições, jamais pode existir deficiência do rigor técnico nas análises ambientais para que a avaliação de implantação dos projetos sejam agilizadas, o requisito responsabilidade ambiental jamais poderá ser descartada. No entanto, não é um trabalho nada fácil para conseguir este equilíbrio, estão sendo realizados aprimoramentos nesta área em busca da simplificação de determinados processos necessários para liberação do licenciamento para normatizar a questão de emissão de poluentes na atmosfera e entre outros como o reaproveitamento da água utilizada no lavador de gás para reduzir a fuligem.

A definição de políticas energéticas tendo como ponto de vista os projetos que proporcionam maiores benefícios gerais ao país se torna indispensáveis, tendo como principal objetivo uma maior eficiência energética com reduções de perdas e custos, atribuindo assim um alto nível de competição da indústria brasileira. Devido à grande aceitação de automóveis bicomcombustíveis e a alta exportação do etanol, o governo brasileiro proporciona políticas de incentivos para o setor sucroalcooleiro aumentar a capacidade de produção do etanol, seja

com a construção de novas usinas ou com recursos de reaproveitamento da palha ou sobra da colheita e também através do bagaço de cana, tecnologia chamada de etanol de segunda geração, o que permite aumentar a capacidade produtiva sem necessidade de ampliação de área. Através desses conceitos, investidores e empreendedores irão se interessar com maior facilidade, garantindo maiores oportunidades de negócios e criação de novos empregos, fomentando o crescimento do país de forma consciente e sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADELMAN, S. T., HOFFMAN, M. A., BAUGHN, J. W. **A methane-steam reformer for a Basic Chemically Gas Turbine**, *Transactions of the ASME*, January, 1995.

Balanço Energético Nacional – BEN, Ministério de Minas e Energia, 1999.

BARROS, F. S. **Análise das condições de operação de turbinas a gás industriais utilizando biomassa gaseificada**, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, EFEI, Agosto, 1998.

BATHIE, W., **Fundamentals of Gas Turbines**, John Wiley e Sons Inc, 447 p, 1996.

CASAROSA, C., FRANCO, A. **Thermodynamic Optimisation of the Operative Parameters for the Heat Recovery in Combined Plants**. Part 1: *Proceedings of ECOS 2000*, University of Twent, Nederland, 2000.

CNI, **Eficiência Energética: Ainda há muito a fazer para alcançá-la**, Análise Energia – Especial Energias Renováveis, 2010.

COELHO, S. T., IENO, G., ZYLBERSTAJN, D. **Aspectos Técnicos e Econômicos da Inserção da Cogeração de Eletricidade na Matriz Energética Brasileira**, Anais do II Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Campinas, Dezembro, 1994.

COELHO, S. T., OLIVEIRA JR, S., ZYLBERSTAJN, D., *et al.* **Análise Termoeconômica da Cogeração de Eletricidade a partir do bagaço de cana em uma usina de São Paulo**, Anais do XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Bauru, Dezembro, 1997.

COMPOSIÇÃO CANA-DE-AÇÚCAR. Disponível em <
[HTTP://www.copersucar.com.br/intitucional/por/academia/cana-acucar.asp](http://www.copersucar.com.br/intitucional/por/academia/cana-acucar.asp) > Acesso em
 05/11/2009.

DUPLEAC, R., TAZEROUT, M., LEDUC, B. **A New Methodological Approach of Sizing and Operation Optimisation for Cogeneration by Internal Combustion Engines**, Part 2: *Proceedings of ECOS 2000*, University of Twente, Nederland, 2000.

FILHO-DEARBORN, H. R. C. **Aspectos Relacionados a Eficiência em Caldeiras a Bagaço.**

FREITAS, J. C. C., CUNHA, G. A., EMMERICH, F. G. **Physical and Chemical properties of a Brazilian Peat Char as a function of HTT, FUEL, 1997.**

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 3ª Ed. São Paulo: Atlas, 1996. 158 p.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 3ª Ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GORBATY, M. L. **Prominent frontiers of coal science: past present and future, FUEL, 1994.**

GUARINELO, J. F. F. **Avaliação Termoeconômica de um Sistema de Cogeração Proposto para um Pólo Industrial,** Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, 1997.

HORLOCK, J. H. **Cogeneration: Combined Heat and Power (CHP),** Rieger Publishing Company, Malabar, 1997.

HUANG, F. F. **Performace Assessment Parameters of a Cogeneration System,** Proceedings: Efficiency, Costs, Optimisation, Simulation and Environmental Aspects of Energy Systems. ECOS 96, 1996.

JORNAL CANA, **Bioeletricidade altera configuração de plantas industriais,** Desafio é encontrar ponto de equilíbrio entre investimentos e possibilidades de ampliação de ganhos, Jornal Cana a melhor notícia do setor, Maio, 2009.

KEESER, K. F., HOFFMAN, M. A., BAUGHN, J. W. **Analysis of a Basic Chemically Recuperated Gas Turbine Power Plant,** Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, April, 1994.

LCA, FMI E US BUREAU OF ECONOMIC ANALYSIS, **Grandes Números – O PIB chega a 2 trilhões de dólares,** Revista Exame, Janeiro, 2010.

LEMOULT, B., TAZEROUT, M., ROUSSEAU, S. **Impact of operating parameters changing on energy environment and economic efficiencies of a lean burn gas engine used in generation plants**, Power generation 98 Europe, *Proceedings in CD ROM*, Milan, Italy, 1998.

LIZARRAGA, S. J. M. **Aspectos termodinámicos tecnológicos y e econômicos**, Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, 1994.

LOPEZ, A., ATTUY, G., PALUDETTO, H., **Energia Renovável Avança na Matriz**, Análise Energia – Especial Energias Renováveis, 2010.

LOZANO, M. **Cogeneración**, Area de Máquinas y Motores Térmicos. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Zaragoza, 1998.

NACIF, M. M. **Caldeiras para a queima de madeira e bagaço**, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC, Belo Horizonte, 1982.

PANORAMA **Setorial da Energia Elétrica**, Gazeta Mercantil, Campinas, Outubro, 1998.

PAULO, E. J. **CPFL negocia energia excedente de usinas**, Gazeta Mercantil, Campinas, Outubro, 2001.

PREVISÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL. Disponível em <
[HTTP://events.br.msn.com/noticias/bric-2020-artigo.aspx?cp-documentid=990080&imageindex=1](http://events.br.msn.com/noticias/bric-2020-artigo.aspx?cp-documentid=990080&imageindex=1)> Acesso em 20/03/2010.

RAMALHO, E. L. **Uma visão da Comercialização de Energia Elétrica, pelas Indústrias de açúcar e álcool, diante da Reestruturação do Setor Elétrico Nacional**, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Outubro, 1999.

REIS, D. A. **A economia da cana-de-açúcar**, Gazeta Mercantil, Campinas, Setembro, 2001.

ROSILLO-CALLE, F., BAJAY, S.V., ROTHMAN, H. **Industrial Uses of Biomass Energy**. The example of Brazil, 2000.

SAAD, M. A., CHENG, You Dah, **The new Cheng Cycle for power generation and Cogeneration**, Proceedings of ECOS 96, Stockholm, Efficiency, Cost, Optimisation, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 1996.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muskat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed. rev. e atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino à Distância da UFSC, 2001.

SZARGUT, J. **Cogeneration of Network Heat in the Set of a Humid Air Turbine, Efficiency, Cost, Optimisation, Simulation and Environmental Aspects of Energy Systems**, Proceedings of ECOS 2000, University Twente, Nederland, 2000.

TGM Turbinas – Principais Tipos de Turbinas, Disponível em < <http://www.tgmturbinas.com.br/> > Acesso em 05/09/2009.

TURN, S. **Biomass Integrated Gasifier Combined Cycle Technology: Status of Commercial Development Efforts and Application in the Cane Sugar Industry**, Prepared under Consultancy to the Biomass Energy Systems & Technology, (BEST), Project Winrock International Institute of Agricultural Developmentt, April, 1998.

VAN-GROEN, M. **Energy rooted in sugar cubes: the interactions between energy savings and cogeneration in Indians sugar mills**, Final thesis for obtaining the master degree in Science & Policy, Department of Science Technology and Society, University Utrecht, Nederland, November, 1999.

VIEIRA, S., OLIVEIRA JR, S. **Estudo de sistemas de cogeração e geração termelétrica através da análise termoeconômica**, Proceedings of the 7th Braziliam Congresso of Engineering and Thermal Sciences, Rio de Janeiro, Novembro, 1998.

WALTER, A. C. S., LLAGOSTERA, B. J., GALLO, W. L. R. **Analysis of thermodynamics performance parameters and cost allocation methods in cogeneration systems**, TAIES 97, Thermodynamics Analysis and Improvement of Energy Systems, 1997.

GLOSSÁRIO

SARKATA: Origem da palavra açúcar nas línguas indoeuropéias.

CO-FIRING: Co-inceneração, queima combinada.

COMMODITIES: Produtos de origem primária.

PLAYER: Jogador.

CORE BUSINESS: Parte central de um negócio ou uma área de negócios.