



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

BRENNO ARRUDA PEREIRA DE ASSIS

**COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR:
UM ESTUDO DE CASO**

Campina Grande, Paraíba
Abril de 2015

Brenno Arruda Pereira de Assis

COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR: UM ESTUDO DE CASO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande como
parte dos requisitos necessários para a obtenção
do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:
Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.

Campina Grande, Paraíba
Abril de 2015

Brenno Arruda Pereira de Assis

**COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR:
UM ESTUDO DE CASO**

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade
Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de Bacharel em
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em / /

Professor Avaliador

Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.

Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho a Deus, minha família, a minha namorada, aos amigos, a todos os outros que me acompanharam nessa jornada e em especial meu pai (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pela minha vida e por me conceder a oportunidade e o suporte para cursar uma graduação.

Agradeço também a meus pais, por todo o esforço que tiveram para me proporcionar uma boa educação, que dentre todas as dificuldades sempre me proporcionaram o melhor estudo possível, e por serem prova viva que não há distância que separe uma família.

Agradeço aos meus irmãos, colegas, amigos e familiares, pelo incentivo e pelos momentos de alegria e descontração que me proporcionaram. Também à minha namorada, Lucivânia Rangel, pela colaboração em toda minha vida acadêmica.

Agradeço em especial ao meu professor e orientador Leimar de Oliveira pela orientação e colaboração em todo o trabalho.

Enfim, agradeço a todas as pessoas com as quais tive a oportunidade e o privilégio de conviver durante o estágio, que de alguma forma, passaram pela minha vida nesta etapa.

*“Uma vida não questionada
não merece ser vivida.”*

Platão.

RESUMO

A energia elétrica gerada a partir do bagaço da cana é um dos produtos que contribuíram para que os derivados da cana-de-açúcar ocupassem uma posição de destaque na matriz elétrica brasileira, perdendo apenas para a lenha, a energia hidráulica e derivados de petróleo. A cogeração por aproveitar um subproduto da obtenção do álcool e açúcar tem competitividade na geração de energia elétrica quando comparado a outras fontes por utilizar os restos poluentes como insumo para geração de energia. Este procedimento se traduz na solução simultânea de duas utilidades: A eliminação dos resíduos provenientes da indústria sucroalcooleira e a geração de energia elétrica a partir da mesma fonte. O presente trabalho tem a finalidade de mostrar como se dá o processo de geração de energia a partir da biomassa, com o enfoque à cogeração através do bagaço de cana-de-açúcar. Há indícios em publicações acadêmicas que a geração da energia elétrica por meio do bagaço da cana-de-açúcar tornou-se tecnicamente econômico e atrativo para as indústrias sucroalcooleiras. A cogeração de energia passa a ser uma nova atividade para as empresas da indústria sucroalcooleira que além de se beneficiar dos lucros com suas atividades comerciais tradicionais, insere a produção de energia em seus negócios. Os resultados obtidos através deste trabalho indicam que existe um custo baixo para a execução desta atividade, que não se encontrou estudos que provem a existência de uma ou mais espécies de cana-de-açúcar específica para a prática da cogeração através da biomassa, mostrar os principais equipamentos e técnicas utilizados nesse processo e ainda mostrar um pouco sobre o relatório de impacto ambiental deste estudo de caso.

Palavras-chaves: Cana-de-açúcar; Biomassa; Cogeração; Relatório de Impacto Ambiental.

ABSTRACT

The electricity generated from sugarcane bagasse is one of the products that contributed to the derivatives of cane sugar occupy a prominent position in the Brazilian energy matrix, after only to the wood, hydropower and oil products. The cogeneration use a byproduct of obtaining alcohol and sugar is competitive in power generation when compared to other sources by using the pollutants remains as input for power generation. This procedure is reflected in the simultaneous solution of two utilities: The elimination of waste from the sugar industry and the generation of electricity from the same source. This paper aims to show how is the process of power generation from biomass, with the focus cogeneration through the cane bagasse. There is evidence in academic publications that the generation of electricity through bagasse-cane became technically economical and attractive for sugarcane industries. Cogeneration becomes a new activity for companies in the ethanol industry that in addition to benefit from the profits from their traditional business activities enters the production of energy in their business. The results obtained from this study indicate that a low cost for the implementation of this activity, studies found that there to prove the existence of one or more species of sugar cane specific for the practice of CHP from biomass, show major equipment and techniques used in this process and even show a little about the environmental impact report of this case study.

Keywords: Sugarcane; Biomass; Cogeneration; Environmental Impact Report.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Turbina a vapor.	12
Figura 2: Ciclo Rankine.	13
Figura 3: Turbina a gás.	14
Figura 4: Motores alternativos.	15
Figura 5: Vista geral de uma caldeira de Biomassa.	26
Figura 6: Conjunto de Turbogeneradores.	28
Figura 7: Condensador tipo casco-turbo.	14
Figura 8: Aplicação de cinzas na lavoura.	15
Figura 9: Desaerador.	12
Figura 10: Torre de resfriamento de água.	13
Figura 11: Diagrama unifilar do período da safra.	13
Figura 12: Diagrama entresafra.	13

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados da geração de energia.....	21
Tabela 2: Caldeira 1	24
Tabela 3: Caldeira 2	25
Tabela 4: Caldeira 3	25
Tabela 5: Características do redutor	26
Tabela 6: Características da turbina	26
Tabela 7: Características do gerador	26
Tabela 8: Características dos equipamentos da central termoeletrica	27
Tabela 9: Triagem Mecânica.....	30
Tabela 10: Expectativas de consumo na safra	31
Tabela 11: Expectativas de consumo na entressafra	32

LISTA DE ABREVIATURAS

AEEB – Atlas de Energia Elétrica do Brasil
CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz
COGEN – Associação da Indústria de Cogeração de Energia
MME – Ministério de Minas e Energia
MW - Megawatt
MWh - Megawatt Hora
ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico
PLANASULCAR - Programa de Racionalização da Indústria Açucareira
UTE - Usina Termo Elétrica
ton - Tonelada

SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
1.1	Objetivos.....	3
1.1.1	Objetivo Geral.....	3
1.1.2	Objetivos Específicos	3
1.2	Justificativa	3
2	Desenvolvimento.....	5
2.1	Cultivo da cana-de-açúcar e os aspectos da caracterização da indústria canavieira ..	5
2.1.1	Caracterização do setor canavieiro.....	5
2.1.2	O processo tecnológico no setor canavieiro	7
2.1.3	Os problemas da modernização do setor canavieiro	8
2.1.4	A legislação da queima da cana-de-açúcar	9
2.2	Cogeração de energia.....	10
2.3	Ciclo termodinâmico.....	11
2.3.1	Turbinas a vapor.....	11
2.3.2	Ciclo Rankine	12
2.3.3	Turbinas a gás.....	14
2.3.4	Motores alternativos	15
2.3.5	Ciclo combinado	15
2.4	Definição de biomassa	16
3	Metodologia.....	18
3.1	Natureza da pesquisa	18
3.2	Procedimento para a coleta de dados.....	19
4	Análise e interpretação dos dados.....	21
4.1	Interpretação dos resultados.....	21
4.1.1	Resultado: Cogeração de energia no setor sucroalcooleiro	21
4.1.2	Resultado: Biomassa.....	22
4.1.3	Resultado: Ciclo termodinâmico.....	22
4.1.4	Resultado: Características dos equipamentos da nova UTE	23
4.1.4.1	Caldeira	23
4.1.4.2	Conjunto de turbogeradores.....	25
4.1.4.3	Condensador	27
4.1.4.4	Sistema de tratamento dos gases de combustão	28
4.1.4.5	Destinação dos resíduos da operação da caldeira	28
4.1.4.6	Desaerador	29
4.1.4.7	Torre de resfriamento	30
4.1.5	Resultado: Diagrama Unifilar em safra e entressafra.....	31
4.2	Análise da utilização da Biomassa pelas usinas sucroalcooleiras	32
5	Conclusão.....	34
	Bibliografia.....	35

1 INTRODUÇÃO

Em um mundo altamente competitivo e globalizado, a energia elétrica passa a ser uma variável estratégica de desenvolvimento sobre a qual os planejadores devem atuar para o crescimento do sistema. É sabido que a energia elétrica representa nos dias atuais um bem indispensável à existência da sociedade independente da sua utilização. A energia elétrica passa a ser, por fazer parte do dia a dia do homem moderno, um fator fundamental para o desenvolvimento das nações.

Com o passar dos anos a energia elétrica se torna cada vez mais importante devido a sua facilidade de utilização, versatilidade nos transportes, relevância na automação, o que proporcionou o crescimento das indústrias e principalmente sua penetração no setor residencial.

A evolução tecnológica dos equipamentos eletroeletrônicos, atualmente utilizados em grande escala nos diversos segmentos de atividade industrial, comercial ou residencial, estabeleceu um crescente interesse pela qualidade de energia elétrica. No passado, os equipamentos não eram muito sensíveis às variações da qualidade de energia elétrica, porém, atualmente com o desenvolvimento tecnológico crescente, percebe-se que os modernos equipamentos começam a operar inadequadamente, o que vem produzindo transtornos e prejuízos para os diversos consumidores de energia elétrica (BRONZEADO et al., 1997).

Entretanto, o aumento da demanda devido ao crescimento do país, faz-se necessário encontrar formas alternativas de geração para suprir essa necessidade. A alternativa encontrada tem sido através da cogeração de energia onde pode utilizar a queima dos restos da cana-de-açúcar e desempenhar um papel de grande importância para as usinas.

O bagaço que antes era desperdiçado, hoje passa a ser um recurso para geração de energia, pois, existe uma grande quantidade de sobra mesmo após sua utilização na indústria sucroalcooleira.

Esse processo é favorável ao meio ambiente, pois, elimina o resíduo sólido que poderia sofrer combustão espontânea devido à fermentação natural, as cinzas

que sobram da queima da biomassa servem para devolver ao solo os minerais retirados pelas plantas. A queima da biomassa é menos corrosiva aos equipamentos e ainda tem baixo custo de operação quando comparada aos combustíveis fósseis.

Portanto, diante desse novo contexto produtivo, caracterizado pela urgente necessidade de respostas eficazes e rápidas às demandas do ambiente, é essencial a adoção e concepção de práticas diversificadas, com o intuito de possibilitar o alcance de um melhor diferencial no que diz respeito ao desenvolvimento de energia alternativa.

É importante destacar que a geração de energia através de formas alternativas como a cogeração, deve ser o fator principal no planejamento e execução de atividades voltadas a defesa ambiental, além de ser considerado um processo alternativo e que requer uma ampla participação de políticos públicos para que seja possível englobar muitos aspectos e dimensões.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é contribuir com subsídios para a gestão adequada da geração de energia elétrica através da produção de cana-de-açúcar que diante de um mundo mais tecnológico, tem necessidade crescente de energia para garantir a demanda.

Assim, o pressuposto deste estudo relaciona-se ao seguinte questionamento:
Como se configura a cogeração de energia elétrica através da biomassa que é recolhida das regiões canavieiras para que se alcance uma alternativa de geração de energia elétrica?

Para que haja uma melhor associação dos dados referente ao entendimento deste estudo, o texto dividiu-se em capítulos estruturados a partir da revisão da literatura e da explanação acima, onde, destaca como se apresenta a seguir. Inicialmente tem-se o capítulo introdutório com abordagem preliminar referente ao tema central do estudo, a natureza do problema com as questões de pesquisa, os objetivos do trabalho e a justificativa para a escolha do tema.

O segundo capítulo trata da fundamentação teórica que compreende conceito de cogeração, biomassa residual e os principais ciclos termodinâmicos para gerar energia.

Na sequência, é apresentada, no terceiro capítulo, a metodologia da pesquisa, onde se encontra a classificação do estudo e do método, a área de abrangência ou universo e amostra, os elementos investigados na pesquisa, a

análise dos indicadores da pesquisa, os procedimentos para a coleta de dados, os instrumentos de coleta de dados e as etapas do desenvolvimento da pesquisa.

O quarto capítulo apresenta a definição de relatório de impacto ambiental e os pontos mais importantes do relatório da usina em questão, bem como a análise e a interpretação dos dados coletados relacionados a empresa, esta que terá seu nome descaracterizado devido a informações de dados confidenciais.

No quinto capítulo, tem-se as conclusões da pesquisa, onde, se apresentam os principais resultados do estudo, as limitações do estudo bem como as recomendações para próximas pesquisas.

1.1 OBJETIVOS

Conforme foi exposto anteriormente, cabe apresentar o objetivo geral e os objetivos específicos, pretendidos pelo estudo.

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O estudo da viabilidade da cogeração de energia elétrica a partir do bagaço de cana-de-açúcar no Brasil.

1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Cogeração de energia elétrica
- Estudar os benefícios do bagaço de cana-de-açúcar com combustível primário na cogeração de energia elétrica.
- Ciclos termodinâmicos para gerar energia elétrica e as respectivas tecnologias já consolidadas utilizando o bagaço de cana-de-açúcar.
- Estudar os principais impactos ambientais causados pela geração bem como seus benefícios por estar utilizando um subproduto que seria poluidor.

1.2 JUSTIFICATIVA

Com a racionalidade de energia nos dias atuais, a Cogeração de Energia Elétrica passa a ser essencial em termos de recursos energéticos. Segundo o Dicionário de Terminologia Energética do Conselho Mundial de Energia, o conceito de cogeração significa a produção simultânea e sequencial de duas ou mais utilidades – calor de processo e potência mecânica e (ou) elétrica, a partir da energia disponibilizada por um ou mais combustíveis (2001).

Entretanto, a racionalização energética que se busca sendo realizada através de insumos advindos de fontes renováveis, podem ter um custo de investimento menor e através desta racionalização, a minimização das grandes crises que o país pode passar por conta deste consumo inadequado.

Diante de tais explanações, o presente trabalho justifica-se por mostrar o interesse em trabalhar com energia renováveis, mostrando a importância do aproveitamento da biomassa residual e atrelando a essa alternativa, mostrar que o processo energético em questão está acobertado por suas leis regulamentadoras específicas.

2 COGERAÇÃO, BIOMASSA E CICLOS

Neste tópico, aborda-se os conceitos dos autores mais relevantes, bem como suas principais contribuições para o que se possa entender o cultivo da cana-de-açúcar e seu processo industrial, o conceito acerca da cogeração de energia elétrica e as normas regulamentadoras para o desenvolvimento deste processo.

2.1 O CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR E OS ASPECTOS DA CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA CANAVIEIRA

O cultivo da cana-de-açúcar tem um significado muito importante para as regiões de clima tropical. Através desta atividade, as usinas oferecem diretamente milhares de empregos, além dos produtos que gera, sendo os mesmos economicamente importantes para a área de desenvolvimento. As indústrias canavieiras se caracterizam principalmente pelo modelo latifundiário, sendo grandes extensões de terras depositadas nas mãos de poucos proprietários.

A estrutura e funcionamento dos aspectos agroindustriais no setor canavieiro nacional envolvem um conjunto de referenciais que direcionam todas as suas ações a uma importância econômica da atividade para o país. Além disso, esta parte do trabalho destacará as características do setor sucroalcooleiro, seus processos tecnológicos e as normas regulamentadoras da atividade de plantio e cultivo da cana-de-açúcar.

2.1.1 Caracterização do Setor Canavieiro

Apesar de tratar-se de uma tecnologia conhecida historicamente e largamente difundida, a agroindústria canavieira é uma atividade complexa, pois envolve um conjunto que se compõe de um setor agrícola e de um setor estritamente industrial, muitas vezes dividido em duas partes: fábrica de açúcar e destilaria de álcool. A parte agrícola apresenta aspectos e características ligadas diretamente a essa vertente da economia, ao processo de ocupação territorial e a utilização excessiva

de recursos naturais como água e solo. Já a divisão industrial apresenta seus aspectos mais ligados intimamente com os processos de transformações da matéria prima, que também são responsáveis pela geração de diversas externalidades.

De forma geral, trata-se de um setor altamente dependente de recursos naturais, principalmente água e solo que está instalado em áreas econômica e socialmente importantes do país. Essa dependência mostra que o gerenciamento dos recursos ambientais envolvidos deve ser tratado como de importância estratégica por essas empresas, uma vez que o esgotamento ambiental é um fator relevante na limitação da capacidade produtiva.

O Sistema Agroindustrial da cana-de-açúcar é um dos mais antigos do país, estando ligada aos principais eventos da formação histórica do Brasil. A relevância de estudar o funcionamento do setor sucroalcooleiro nacional está na sua grande importância nacional e internacional. Essa atividade no Brasil diferencia-se dos demais países do mundo principalmente em relação a sua escala de produção, e uma posição de destaque em relação a outras culturas quanto à área de plantio e ao valor da produção.

No Brasil, o álcool hidratado foi o mais produzido durante todo o período de 1982 e 2000. A partir daquele ano, o álcool anidro foi mais produzido do que o hidratado. No entanto, entre 2005/2006, a produção de álcool hidratado voltou a ser levemente superior que a produção do álcool anidro, devido ao crescimento dos veículos *flex*. Esta inovação tecnológica trouxe interessantes novidades, e com grande aceitação por parte dos consumidores para se aproveitar das diferenças de preços (Ferreira *et al.*, 2007).

Entre 1969 a 1974 temos como destaque a criação de três programas nacionais implementados pelo Governo militar com o intuito de sustentar a expansão da agroindústria canavieira. Assim, temos: o Programa Nacional de melhoramento da cana-de-açúcar (PLANASULCAR), o Programa de Racionalização da Indústria Açucareira e o Programa de Apoio à Indústria açucareira.

O PLANALSUCAR tem por objetivo desenvolver em larga escala nacional novas variedades de cana-de-açúcar. "... articular pesquisas científicas e desenvolver ações indispensáveis à criação de novas variedades de cana-de-açúcar, de modo a fornecer uma matéria-prima geneticamente mais adequada às necessidades da agroindústria sucro-alcooleira" (LIMA, 1998 *apud* NASCIMENTO E LIMA).

2.1.2 O Progresso Tecnológico no Setor Canavieiro

O início das atividades com mecanização da agricultura canavieira, teve início pelas atividades de preparo da terra e do plantio com o uso de tração animal e implementos, como o arado. Para estas atividades, eram exigidos trabalhadores que possuísem treinamento e habilidade física para controlar o animal e o arado.

Haja vista que, a utilização de máquinas, ocasionou a diminuição dos empregos e aumentou a produtividade, pois, além de serem mais rápidos e eficientes, estas máquinas substituem o trabalho braçal que necessitam de maior força.

A introdução das inovações mecânicas na lavoura canavieira teve quatro tipos de repercussões imediatas e mutuamente relacionadas: a primeira foi a redução do tempo de realização de determinadas tarefas; a segunda foi a menor demanda por mão-de-obra empregada para a realização dessas tarefas; a terceira foi a queda da necessidade de empregados residentes na propriedade e a quarta foi a introdução de uma mudança qualitativa na procura por trabalhadores, ao utilizar pessoas com maior grau de especialização (tratoristas, motoristas e operadores de máquinas agrícolas) em conjunto com as sem especialização. (ALVES, 1991 *apud* VIAN E GONÇALVES 2003).

No pensamento de Belik (1985) “a primeira grande inovação introduzida na organização do trabalho no corte da cana foi a disseminação e prática da queima das folhas para maior facilidade de corte, que elevou a produtividade do trabalho”.

Este aumento da produtividade foi fruto da maior facilidade de se trabalhar após a queimada, pois são eliminadas as folhas secas que atrapalham os movimentos e exigem que o trabalhador limpe a cana após o corte.

A atividade de transporte foi uma das primeiras a ser mecanizada. Com o tempo passaram a serem utilizados caminhões cada vez maiores para acompanhar a elevação da produtividade do corte e do carregamento, e evitar que a cana perdesse sacarose por atraso de transporte, principalmente quando a cana é queimada. Este processo obriga que a matéria-prima seja processada em no máximo três dias para evitar que a fermentação diminua o teor de sua sacarose, reduzindo a produtividade da fabricação do açúcar e do álcool. (PAIXÃO, 1994; ALVES, 1991, EID, 1995 e SCOPINHO, 1995 *apud* VIAN E GONÇALVES).

2.1.3 Os Problemas da Modernização no Setor Canavieiro

Apesar de toda a modernização tecnológica ocorrida no setor nas últimas décadas, a produção de cana-de-açúcar ainda é apontada como responsável por muitos problemas ambientais, como a erradicação da vegetação natural, o desrespeito às áreas de proteção ambiental, a degradação do solo e a contaminação ambiental por agrotóxicos e resíduos industriais, além dos problemas gerados pelo uso do fogo.

Durante a década de 1990, os diversos problemas causados pelo fogo sobre o meio ambiente foram se somando à insatisfação popular, ganhando uma grande força política nas regiões canavieiras, onde se proliferaram ações judiciais contra a prática da queimada com base na constituição federal de 1988, que proibia o uso do fogo como prática agrícola em todo território nacional (SZMRECSÁNYI, 1994).

De acordo com Gonçalves (2005), o uso do fogo como método de preparação para a colheita tem sido citado como o maior problema da produção canavieira, em razão dos inúmeros danos que esta técnica provoca na saúde da população e no meio ambiente. O uso do fogo não se justifica de forma alguma, sendo considerado até mesmo por algumas empresas do setor como um contraditório desperdício de energia. A prática das queimadas de cana representa uma irresponsável agressão à saúde humana e ao meio ambiente, patrimônios da sociedade local, que devem ser protegidos pela lei de forma irrefutável.

Apesar dos benefícios ambientais que envolvem o uso do etanol pelos veículos, em comparação com a gasolina, a forma como a cana vem sendo produzida no campo tem sido alvo de muitas críticas por parte de diversos setores da sociedade. Dentre os mais frequentes questionamentos estão à competição por alimentos, a segurança hídrica, a indução ao desmatamento pela expansão insustentável da fronteira agrícola, o uso de agrotóxicos em larga escala, a vulnerabilidade da agricultura às mudanças climáticas, os resíduos e efluentes gerados nas agroindústrias processadoras, entre outros. (GONÇALVES, 2008 *apud* SZMRECSANYI E GONÇALVES, 2009).

Mesmo com a formidável situação econômica em que se encontra a atividade canavieira nestes últimos anos, o papel da produção canavieira no desenvolvimento sustentável regional tem sido um assunto muito polêmico nos estados de produção

de cana-de-açúcar. Enquanto a agroindústria canavieira busca se destacar no mercado internacional, passando a imagem de uma produção limpa e ambientalmente correta, que estaria em sintonia com a sustentabilidade ambiental do planeta, os trabalhadores e as comunidades locais que convivem com o sistema de produção da cana-de-açúcar, alegam outra realidade, marcada por problemas sociais e problemas ambientais, intimamente ligados a um descaso crônico com relação às normas ambientais do país (GONÇALVES, 2005 *apud* SZMRECSANYI E GONÇALVES, 2009).

2.1.4 A Legislação da queima da palha da cana-de-açúcar

A partir da década de 60, o governo federal vem criando algumas diretrizes para a questão das queimadas no Brasil, as quais estabelecem a prática controlada do fogo em atividades agropastoris ou florestais. Entretanto, a queima da palha da cana-de-açúcar passou a possuir diversos desdobramentos jurídicos.

O Estado de São Paulo foi o criador da Lei nº 11.241/02 sobre a eliminação da queima da palha da cana-de-açúcar de forma gradativa. Esta lei complementou a Lei Estadual nº. 10.547/2000, que dispunha sobre o emprego do fogo como técnica agrícola, revogando seu parágrafo 2º do artigo 1º e os artigos 16 e 17. A Lei nº 11.241/02 que foi regulamentada pelo decreto nº 47.700/03.

Esta lei tem por finalidade o regulamento a respeito da eliminação total da queima de canaviais em todo o Estado de São Paulo. Todavia, como se julgou inviável fazer isso abruptamente, a lei estabeleceu prazos, considerando os ciclos quinquenais de renovação dos canaviais.

2.2 COGERAÇÃO DE ENERGIA

No passado, os equipamentos não eram muito sensíveis às variações da qualidade de energia elétrica, porém atualmente com o desenvolvimento tecnológico crescente, percebe-se que os modernos equipamentos começam a operar

inadequadamente, o que vem produzindo transtornos e prejuízos para os diversos consumidores de energia elétrica (BRONZEADO et al., 1997).

Como a energia elétrica é um insumo básico nos processos de produção, torna-se indispensável medir os custos econômicos associados aos segmentos desta cadeia de produção. Nos dias atuais, um método que vem se tornando aceito para suprir esse aumento de demanda citada acima é a cogeração de energia, esta, sendo proveniente da queima de combustíveis fósseis ou da biomassa (bagaço e palhiço) remanescente da indústria sucroalcooleira.

Segundo Lemos (1996), a usina sucroalcooleira paulista São Francisco, localizada em Sertãozinho, na região de Ribeirão Preto, foi à pioneira, no ano de 1987, na venda de energia elétrica gerada através do bagaço da cana, sendo compradora a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL). Diante disso, o projeto despertou interesse junto a Eletrobrás, que desde então sempre veicula a intenção de dinamizar a cogeração de energia elétrica, por parte do setor sucroalcooleiro, em nível nacional.

No que diz respeito à racionalidade da energia elétrica, a cogeração de energia está diretamente ligada nesta economia de recursos energéticos, onde a mesma vem produzindo as mesmas quantidades de calor elétrico útil sendo transformada de modo geral em energia elétrica ou mecânica.

Na atualidade, encontramos na cogeração de energia uma grande alternativa para minimizar custos das indústrias sucroalcooleiras, além de ser ecologicamente correta, pois, busca preservar o meio ambiente com a sua prática.

“Cogeração consiste no processo de transformação de energia térmica de um combustível em mais de uma forma de energia útil” COGEN (2011).

De acordo com Goldemberg (2003),

Uma forma de gerar energia renovável é a biomassa, sendo a mesma sem problemas de intermitências, pois, uma vez que o bagaço da cana-de-açúcar pode ser armazenado pode ser armazenado no período de entressafra. Sendo o mesmo com um custo de geração de energia inferior ao das outras fontes de energia renovável.

Brighenti (2003), afirma que no Brasil, desde a instituição do Programa Brasileiro do Álcool (Proálcool), uma boa parte das usinas sucroalcooleiras tornou-se autossuficientes através da utilização do bagaço da cana-de-açúcar, em termos energéticos. Passando assim, a gerar toda a energia necessária para suprir as suas demandas.

A oferta brasileira de energia elétrica está fundamentada em duas fontes que são consideradas principais: os combustíveis fósseis (petróleo e derivados) e a hidroelétrica. Entretanto, a utilização da cogeração de energia no setor sucroalcooleiro, vem transcorrendo há décadas e, tem garantido o fornecimento da energia elétrica e térmica necessárias ao processo de produção de açúcar e álcool durante o período de safra. Este processo tem como definição “a produção e aproveitamento de duas ou mais formas de energia útil a partir de uma determinada fonte (combustível)”.

Essa adequação foi aplicada à cadeia sucroalcooleira, em consequência da alta demanda de energia encontrada nos processamentos da cana-de-açúcar para a produção de açúcar e álcool e pode ser suprimida com a utilização do combustível que é o resto do processo dessas indústrias.

2.3 CICLO TERMODINÂMICO

Na visão de Gaspar (2002) “Os ciclos termodinâmicos são definidos como sequencia repetitiva da transformação física produzida por um sistema a fim de realizar o trabalho”.

2.3.1 Turbinas a vapor

Segundo BARJA et. al. (2006, p.24), existem relatos de que os primeiros mecanismos a vapor datam de 200 anos A.C., que utilizavam pressão negativa para sua operação. Estes mecanismos não sofreram grandes alterações até a apresentação, no séc. XVIII, por Newcomen e James Watt, de uma máquina a vapor que combinava os diversos mecanismos desenvolvidos até então, capaz de utilizar o vapor de forma econômica e conveniente, por intermédio dos princípios físicos de domínio da comunidade científica.

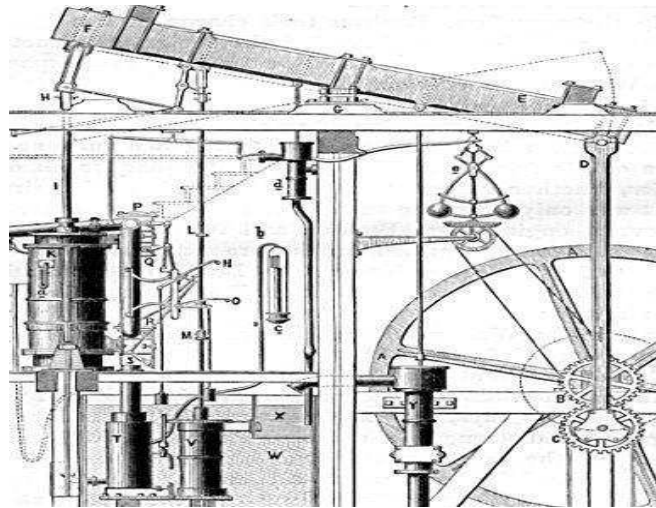


Figura 1: Primeira Máquina à Vapor.
Fonte: Projeto da UTE.

A máquina utilizada para gerar o vapor, atualmente passou por modificações, onde, foram introduzidas diversas modificações no intuito de melhorar seu rendimento. Este ciclo termodinâmico máquina térmica passou a ser conhecido como **ciclo Rankine**.

2.3.2 Ciclo Rankine

Nas usinas de cana-de-açúcar, o processo de cogeração de energia é realizado basicamente através da queima do bagaço realizado em caldeiras com a produção de vapor de alta pressão utilizado em turbinas. Depois da conversão termodinâmica ocorrida nas turbinas, o segundo passo é o vapor seguir para utilização no processo industrial, onde existem pressão e temperatura adequadas e depois de entregar parte de sua energia se condensa e é bombeado novamente para a caldeira, completando o ciclo de cogeração de alta eficiência.

Através da constante mudança do mercado e das oportunidades recentes encontradas na venda de energia elétrica nos mercados livres, o setor sucroalcooleiro tem intensificado os estudos para o aumento da geração de energia elétrica através do aproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar, onde essa ação em conjunto deverá, no longo prazo, elevar consideravelmente a participação da energia elétrica proveniente do setor sucroalcooleiro na matriz energética nacional.

Este ciclo de cogeração termodinâmico mencionado é conhecido como Ciclo Rankine. A Figura 2 abaixo mostra este entendimento.

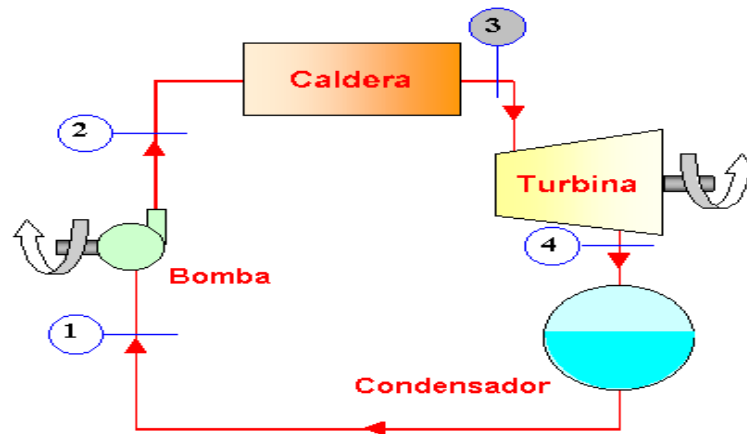


Figura 2: Ciclo Rankine.
Fonte: Projeto da UTE.

O processo do Ciclo Rankine é realizado através de processos distintos, onde cada um tem uma função distinta para que o processo da cogeração de energia seja realizado com eficiências. Os processos serão destacados a seguir para melhor entendimento.

1. **Caldeira:** A caldeira é um trocador de calor complexo, que produz vapor através da transferência da energia térmica de uma fonte quente (combustível) para o fluido vaporizante (água). É constituída de diversos equipamentos que são: Tubulões de vapor e de água; Forno; Feixe de convecção; Superaquecedor; Pré-aquecedor de ar; Economizador; Grelha; Alimentadores dosadores de combustível; Espargidores pneumáticos; Portas de visita e inspeção; Sistema de ar secundário; Dutos de ar e gases; Lavador de gases e Chaminé.
2. **Condensador:** O condensador é um trocador de calor onde o vapor de exaustão da turbina é novamente convertido em água.
3. **Turbogerador:** é constituído basicamente pelos seguintes equipamentos:
 - Turbina:** responsável pela conversão termodinâmica da energia contida no vapor de alta pressão e temperatura, em energia mecânica no seu eixo;
 - Redutor:** responsável pela adequação da rotação nominal da turbina à velocidade síncrona do gerador e
 - Gerador:** responsável pela conversão eletrodinâmica da energia mecânica do eixo da turbina em energia elétrica nos seus bornes.

2.3.3 Turbinas a gás

A turbina a gás consiste numa máquina de combustão interna de construção compacta, e que apesar do nome pode utilizar uma diversidade de combustíveis tanto líquidos quanto gasosos.

A denominação de “turbina a gás” foi dada por consequência do seu fluido de trabalho, “o ar”. Ou seja, trata-se de uma máquina composta por diversos elementos, tais como o compressor, câmara de combustão e turbina.



Figura 3: Turbina a gás.
Fonte: Projeto da UTE.

As turbinas a gás são divididas em duas classes principais, com aplicações específicas: aeroderivadas e *heavy duty*.

1. As aeroderivadas possuem construção compacta e rendimento superior, da ordem de 35% a 42%, encontradas com potências entre 2,5 a 50 MW.
2. As do tipo *heavy duty*, são turbinas que possuem propositalmente rendimentos inferiores, com a finalidade de aproveitar-se seus gases de exaustão a temperaturas elevadas o suficiente ($\sim 600^{\circ}\text{C}$) para trabalhar em ciclo combinado, ou algum processo industrial específico. São encontradas com potências superiores a 250 MW, em alguns casos. Em cogeração, a relação de produção entre eletricidade/ calor é da ordem de 0,8 a 0,5.

2.3.4 Motores alternativos

Os motores de combustão interna estão disponíveis numa grande faixa de potência, a partir de alguns quilowatts até 100 MW, possuem construção compacta, podem utilizar uma variedade de combustíveis líquidos e gasosos, elevada eficiência em ciclo simples e um bom fator de disponibilidade (80~90%). Por essas características, se apresentam como a primeira opção na aplicação em sistemas de cogeração de pequeno porte para prédios comerciais, hospitais, hotéis e supermercados. O primeiro motor de combustão interna foi concretizado em 1876, por *Otto e Lagen*.

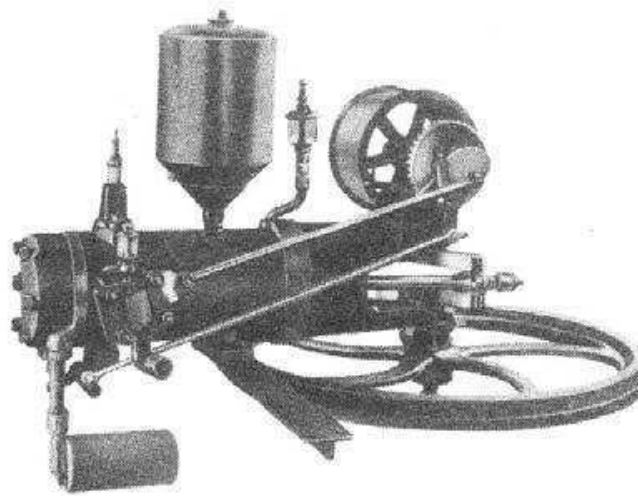


Figura 4: Motor alternativo
Fonte: Projeto da UTE.

2.3.5 Ciclo Brayton e Ciclo Combinado

O ciclo combinado é o arranjo entre dois ou mais ciclos, com a principal finalidade de aumentar-se o rendimento global da planta. Seu princípio coincide com o da própria cogeração, caracterizado pelo aproveitamento da rejeição térmica de um ciclo primário de geração eletromecânica numa segunda máquina térmica, geralmente na proporção de 2:1.

A combinação mais utilizada é o arranjo entre o ciclo *Brayton* e o ciclo *Rankine*, nesta ordem, onde os gases de exaustão da turbina a gás, com temperaturas superiores a 550°C, são encaminhados à caldeira do ciclo a vapor, fazendo com que o rendimento elétrico total supere os 60%, contra 35% se os mesmos estivessem operando em separado.

2.4 DEFINIÇÃO DE BIOMASSA

No campo da energia, o termo biomassa descreve todas as formas de plantas e derivados que podem ser convertidos em energia útil como madeira, resíduos urbanos e florestais, grãos, talos, óleos vegetais e lodo de tratamento biológico de efluentes. A energia gerada pela biomassa também é conhecida como “energia verde” ou “bioenergia”.

A ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), www.ons.org.br (2015), identifica a biomassa como sendo qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica, sendo as mesmas de acordo com a origem identificadas como florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo).

Então, a biomassa é utilizada na produção de energia a partir de processos como a combustão de matéria orgânica. Porém, nem toda a produção primária passa a incrementar a biomassa vegetal do ecossistema, sendo uma parte dessa energia acumulada é empregada pelo ecossistema para sua própria sobrevivência.

No entendimento do Atlas de Energia Elétrica do Brasil (2011), as produções em larga escala da energia elétrica e dos biocombustíveis estão relacionadas à biomassa agrícola e à utilização de tecnologias eficientes. Tendo esta produção uma condição inicial existente a partir de uma agroindústria forte e com grandes plantações de cana-de-açúcar, onde, a biomassa é obtida pelo processamento dos resíduos dessas culturas, sendo o bagaço e a palha principal fonte energético.

Entretanto, o bagaço de cana-de-açúcar é sem dúvida o recurso de maior potencial para geração de energia elétrica no país de forma sustentável e mais acessível, tendo uma alta produtividade alcançada pela lavoura canavieira acrescida de ganhos sucessivos nos processos de transformação da biomassa sucroalcooleira.

Desta forma, a biomassa que antigamente era desperdiçada, hoje é um bom recurso para geração pela quantidade que sobra após a utilização da cana-de-açúcar na indústria sucroalcooleira. Esse processo é favorável ao meio ambiente pois, elimina o resíduo sólido que poderia sofrer combustão espontânea devido a fermentação natural, as cinzas que sobram da queima da biomassa servem para

devolver ao solo os minerais retirados pelas plantas, a queima da biomassa é menos corrosiva aos equipamentos e tem baixo custo de operação quando comparada aos combustíveis fósseis.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, são apresentados os diversos elementos da metodologia científica utilizada no presente trabalho. No pensamento de Nascimento (2005), a metodologia da ciência insere-se no contexto da epistemologia e visa o estudo do método da investigação científica em geral, bem como dos métodos e técnicas próprias de cada ciência em particular.

3.1 NATUREZA DA PESQUISA

A presente pesquisa constitui-se em um estudo de caso, baseado em caráter exploratório e descritivo, com abordagem bibliográfica integrativa, que permitiu ao autor as formas mais diversas de pesquisa bibliográfica. No pensamento de Vergara (2004, p.47) “a pesquisa descritiva não tem compromisso de explicar os fenômenos que descreva, embora sirva de base para tal explicação”.

Para Azevedo e Nohara (2009), quanto à pesquisa descritiva,

[...] ele pode ser utilizado pelo investigador quando o objetivo do estudo for:

- (1) descrever as características de um grupo;
- (2) estimular a proporção dos elementos de determinada população que apresenta as características ou comportamento de interesse do pesquisador;
- (3) descobrir ou compreender as relações entre os constructos envolvidos no fenômeno em questão.

Quando se fala em estudo de caso, entende-se que é um estudo metódico e extenuante com um ou com poucos objetivos, permitindo assim o conhecimento detalhado do mesmo. Para Yin (2005) a necessidade maior da utilização do estudo de caso é que este permite uma investigação que conserva as características holísticas e expressivas dos acontecimentos reais, estes que vão desde ciclos de vida individuais até processos organizacionais e administrativos.

Entretanto, Cervo e Bervian (1996), entende que a pesquisa descritiva pode assumir a forma de um estudo exploratório que tem como finalidade realizar descrições precisas da situação e quer descobrir as relações existentes entre os elementos componentes da mesma, essa pesquisa requer um planejamento bastante flexível, para assim, possibilitar a consideração dos mais diversos aspectos de um problema ou de uma situação.

Segundo Pompeu (2009) a revisão integrativa é um método de revisão mais amplo, pois permite incluir literatura teórica e empírica bem como os estudos com diferentes abordagens metodológicas.

Conforme o que afirmam Marconi e Lakatos (2009) a pesquisa bibliográfica, ou de fontes secundárias, abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, material cartográfico etc., até meios de comunicação orais e audiovisuais.

Tais autores afirmam ainda que a pesquisa bibliográfica não é mera repetição do que já foi dito ou escrito sobre certo assunto, mas propicia o exame de um tema sobre novo enfoque ou abordagem, chegando a conclusões inovadoras.

A trajetória metodológica percorrida para análise se sustentou nas leituras exploratórias e seletivas das matérias que abrangem a temática pesquisada e que compôs o processo de síntese e análise dos resultados de vários estudos.

3.2 PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE DADOS

Sabe-se que existem vários instrumentos de coleta de dados: a observação, a entrevista individual ou coletiva, a análise de conteúdo, a história de vida e a documentação. Para a obtenção de dados, foram utilizadas as pesquisas documentais e de campo. A pesquisa de campo implica na observação dos fatos precisamente onde, quando e como ocorrem (LIMA, 1997).

Marconi e Lakatos (2006) definem a técnica de pesquisa não probabilística como a que não faz uso de formas aleatórias de seleção, tornando-se impossível a aplicação de fórmula estatística para cálculo. Esse mesmo autor afirma que o tipo mais comum de amostra não probabilística é a intencional, isto é, o pesquisador está interessado na opinião (ação, intenção, etc.) de determinados elementos.

Na visão de Chizzotti (1998) com a observação é possível ver e registrar, ordenada e integralmente, fatos e circunstâncias em situações concretas que foram definidas de antemão e que estejam ligados ao problema em estudo. Então se faz necessário determinar o tempo necessário e mais adequado à coleta de dados, a duração prevista, o pessoal necessário para efetuar o trabalho e a tarefa específica de cada pessoa, se houver mais de uma.

Neste estudo, os dados foram coletados em dois momentos: análise documental e observação do participante, onde se procuraram fazer uso desses instrumentos para obter uma análise qualitativa dos dados.

A utilização da pesquisa bibliográfica deu-se através da pesquisa documental e pesquisa de campo, ou seja, a pesquisa documental trata-se de uma análise de bibliografia já tornada pública em relação ao tema em estudo, sua finalidade foi colocar a pesquisadora em contato direto com tudo o que foi escrito sobre o assunto.

No entanto, a pesquisa de campo, conforme Lima (1997) representa a observação dos fatos exatamente onde, quando e como ocorrem. Torna-se primordial a pesquisa bibliográfica, pois o pesquisador define as categorias de análise que irão abordar a sua observação e, de forma sistematizada, registra, interpreta e relaciona os fatos sem nenhuma manipulação da realidade.

Já a observação participante foi definida por Marconi e Lakatos (2006) como a participação real do pesquisador com a comunidade ou grupo, ou seja, ele fica tão próximo quanto um membro do grupo que está estudando e participa das atividades normais deste, a desvantagem desse instrumento é que o observador participante enfrenta grandes dificuldades para manter a objetividade, por exercer influência no grupo, bem como pelo choque dos quadros de referência técnica entre o observador e o observado.

4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

A fim de complementar este trabalho, foi implementado um estudo de caso de uma usina que utiliza o processo de cogeração de energia elétrica e que irá convenientemente retratar os aspectos e teorias abordados até o momento. A empresa em questão teve seu nome descaracterizado devido a dados que são considerados confidenciais.

A partir da descrição dos instrumentos utilizados nesse estudo para identificar como a Cogeração de energia elétrica através da Biomassa será de grande importância para as empresas, passa-se para análise e interpretação dos resultados da pesquisa. Abaixo será mostrado a tabela com os principais dados de geração desta usina.

Tabela 1: Dados da geração de energia

Potência instalada nominal:	65.500 kW
Potência total gerada:	49.030 kW
Tempo de operação efetivo:	7.284 h/ano
Energia total gerada:	292.892 MWh
Demanda interna (Proc. 1G / Proc. 2 G / Auxiliares / Irrigação):	23.750 kW
Energia total consumida:	145.995 MWh
Potência total excedente:	25.280 kW
Excedente total de energia elétrica para vendas:	146.897 MWh

Fonte: Dados da Empresa

4.1 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Conforme descrito no item “Elementos Investigados na Pesquisa”, três variáveis foram apresentadas: **Cogeração de energia, Biomassa residual, Ciclos termodinâmicos para geração de energia.**

Vale destacar ainda que os instrumentos de coleta de dados foram baseados nesse conjunto de variáveis e que a análise descrita neste capítulo se refere à amostragem referente ao levantamento de dados realizado pelo autor durante a pesquisa para procedimentos de cogeração de energia através da Biomassa.

4.1.1 Resultado: Cogeração de energia no setor sucroalcooleiro

De acordo com o estudo aqui apresentado, a cogeração de energia advindas da produção do bagaço da cana-de-açúcar, já vem sendo utilizada há décadas,

tendo esta prática, a garantia de fornecimento de toda energia térmica e elétrica para as indústrias sucroalcooleiras, principalmente nos momentos de colheita.

Dentro das usinas de açúcar e álcool, a queima do bagaço da cana-de-açúcar é realizada através de caldeiras para produção de vapor de alta pressão, utilizado em turbinas para o acionamento de cargas, onde basicamente é o processo que se utiliza para a geração de energia.

Entretanto, os crescentes aumentos encontrados pelo mercado no tocante compram e vendam de energia elétrica, estes sendo realizados nos mercados livres e regulados (a exemplo dos leilões), deu início a prática de estudos correlatos para o aumento da geração de energia através da biomassa.

Desta forma, o mercado encontrou através destas ações conjuntas, no longo prazo, considerar a participação da energia elétrica advinda do setor sucroalcooleiro na matriz elétrica nacional.

4.1.2 Resultado: Biomassa residual

Após a análise do processo da biomassa nas indústrias sucroalcooleiras, observa-se que através do estudo aqui exposto que as usinas sucroalcooleiras passam a utilizar o bagaço da cana-de-açúcar como recurso de maior potencial para a geração de energia.

A partir da situação encontrada no ambiente com a degradação da natureza, muitas foram às alternativas encontradas pelo homem para que possa conservar a mesma. No campo energético, uma solução foi a “energia verde”. Este processo dar-se-á pelos materiais orgânicos que possam ser transformados em energia, onde, elas podem ser mecânicas, elétricas ou térmicas.

Portanto, nesta variável, encontra-se uma boa prática, pois, este processo é bastante favorável à natureza. Observando que o mesmo elimina os resíduos sólidos que naturalmente poderiam sofrer combustão espontânea, além de favorecer aos senhores de indústria um baixo custo neste procedimento.

4.1.3 Resultado: Ciclos Termodinâmicos

Essa variável buscou obter informações necessárias a partir da utilização do ciclo termodinâmico para a geração de energia nas usinas sucroalcooleiras. A cogeração de energia se dá através da queima do bagaço em caldeiras para

produção de vapor de alta pressão, sendo a mesma, utilizada através de turbinas para o acionamento das cargas.

Portanto, através das variáveis encontradas nesta pesquisa, foi observado que a usina em questão está implantando uma nova experiência intitulada como “a primeira planta de etanol de 2ª geração do Brasil e a primeira do mundo”.

Esta planta será responsável pela produção do etanol utilizado a partir do bagaço da cana-de-açúcar que será produzida pela usina. Os ativos da UTE existente, com potência instalada de 21.800 kW, autorizada pela resolução nº 157, de 27 de março de 2002. A partir daí, foram utilizados novos processos industriais para o atendimento da demanda de energia, como a nova central geradora termoelétrica.

A UTE utilizará para posta em marcha energia elétrica da concessionária local na alimentação das cargas auxiliares do sistema de geração, isto permite dar partida nas caldeiras, iniciar a produção de vapor, e logo que atingidas as condições mínimas requeridas de pressão e temperatura, iniciar a operação dos turbogeradores.

4.1.4 Resultado: Características dos equipamentos da nova UTE

A UTE em questão contará com os seguintes equipamentos e sistemas: caldeiras aquatubulares de alta pressão com sistema de limpeza de gases e desaerador; sistema de tratamento de água e desmineralização; turbogeradores; subestação rebaixadora de energia elétrica; sistemas de força; proteção e controle; sistema de medição de faturamento; sistema mecânico, pátio de biomassa e linha de transmissão.

4.1.4.1 Caldeira

A caldeira é um trocador de calor complexo, produzindo o vapor através da absorção de calor de uma fonte quente proveniente da queima de combustível para o fluido vaporizante que está dentro dos tubos. Devido ao seu maior rendimento térmico e segurança de operação este tipo de caldeira é a mais utilizada em termoelétricas.

Os principais equipamentos que constituem as caldeiras são: tubulões de vapor e de água, fornalha, feixe de convecção, superaquecedor, pré-aquecedor de

ar, economizador, grelha, alimentadores dosadores de combustível, espargidores pneumáticos, portas de visita e inspeção, sistema de ar secundário, dutos de ar e gases, lavador de gases e chaminé como está representada simplificada na Figura 5 a seguir.



Figura 5: Vista geral de uma caldeira de biomassa.
Fonte: Projeto da UTE.

As Tabelas 2, 3 e 4 abaixo mostram as principais características das três caldeiras usadas na usina em questão:

Tabela 2: Caldeira 1

Caldeira:	C1
Tipo:	Aquatubular
Capacidade Nominal:	170 ton/h
Pressão Manométrica Nominal:	42 kgf/cmR
Temperatura Nominal do Vapor:	450 oC
Eficiência:	89 %
Produção Vapor x Consumo Combustível:	2,29 kgvapor/kgcomb
Acessórios: • Economizadores. • Pré-aquecedor de Ar. • Lavador de Gases. • Sistema de Automação e Supervisão	

Fonte: Dados de Projeto

Tabela 3: Caldeira 2

Caldeira:	C2
Tipo:	Aquatubular
Capacidade Nominal:	ton/h
Pressão Manométrica Nominal:	21 kgf/cmR
Temperatura Nominal do Vapor:	350 oC
Eficiência:	79 %
Produção Vapor x Consumo Combustível:	2,19 kgvapor/kgcomb
Acessórios: <input type="checkbox"/> Pré-aquecedor de Ar. <input type="checkbox"/> Lavador de Gases. <input type="checkbox"/> Sistema de Automação e Supervisão	

Fonte: Dados de Projeto

Tabela 4: Caldeira 3

Caldeira:	C3
Tipo:	Aquatubular
Capacidade Nominal:	200 ton/h
Pressão Manométrica Nominal:	67 kgf/cmR
Temperatura Nominal do Vapor:	520 oC
Eficiência:	91 %
Produção Vapor x Consumo Combustível:	2,18 kgvapor/kgcomb
Acessórios: • Economizadores. • Pré-aquecedor de Ar. • Lavador de Gases. • Sistema de Automação e Supervisão.	

Fonte: Dados de Projeto

4.1.4.2 Conjunto de Turbogeneradores

O turbogenerador é composto pelos seguintes equipamentos:

- **Turbina:** converte energia termodinâmica contida no vapor em alta pressão e temperatura para energia mecânica no seu eixo;
- **Redutor:** adequa a rotação nominal da turbina à velocidade síncrona do gerador e Gerador;
- **Gerador:** responsável pela conversão da energia mecânica do eixo da turbina em energia elétrica.

Os turbogeneradores apresentam as seguintes características:

Tabela 5: Característica do Redutor

Redutor:	
Rotação Eixo de Alta:	6.000 rpm
Rotação Eixo de Baixa:	1.800 rpm
Fator de Serviço	1,44

Fonte: Dados de Projeto

Tabela 6: Características da Turbina

Turbina:	
Tipo:	Contra-pressão
Potência Nominal:	15 MW
Pressão Manométrica do Vapor da Alimentação:	42 kgf/cm ² R
Temperatura do Vapor da Alimentação:	450° C
Consumo Específico:	7,55 kg vapor/kWh
Rotação Nominal:	6.000 rpm

Fonte: Dados de Projeto

Tabela 7: Características do Gerador

Gerador:	
Tipo:	Contra-pressão
Potência Aparente Nominal:	18,75 MVA
Fator de Potência:	0,8
Tensão Nominal:	13,8 kv
Frequência Nominal:	60 Hz
Número de Pólos	4 (quatro)
Rotação Nominal:	1.800 rpm

Fonte: Dados de Projeto

Neste caso, na Figura 6 é mostrado com simplicidade este conjunto de turbogeradores.



Figura 6: Conjunto turbogerador.

Fonte: Projeto da UTE.

4.1.4.3 Condensador

O condensador é um trocador de calor responsável por liquefazer o vapor de água que circulava na turbina. Nesta usina foi utilizado o condensador do tipo casco-tubos. A água de resfriamento é bombeada através de um feixe tubular metálico resfriando o vapor que passa externamente aos tubos dentro da estrutura do condensador, na qual, o vapor cede calor progressivamente e transformando-se em água que será bombeada para o desaerador e posteriormente para a caldeira, completando o ciclo de geração.

O equipamento da central termoelétrica em questão apresentará as seguintes características:

Tabela 8: Características dos equipamentos da central termoelétrica

Tipo:	Cascos-tubos
Vazão de Vapor:	94 ton/h
Pressão de Vapor:	0,13 bar
Vazão de Água:	4.900 mV/h
Pressão de Trabalho (Feixe Tubular):	3,5 kgf/cmR
Temperatura de Entrada da Água:	30° C
Temperatura de Saída da Água:	40° C

Fonte: Dados de Projeto

A Figura 7 é ilustrativa para melhor entendimento acerca do equipamento.



Figura 7: Condensador tipo casco-tubos.

Fonte: Projeto da UTE.

4.1.4.4 Sistema de Tratamento dos Gases de Combustão

É necessário fazer o tratamento dos gases de combustão a fim de remover as partículas residuais nestes. Na UTE, a caldeira contará com um sistema de tratamento dos gases de combustão que é composta pelos equipamentos abaixo:

- Precipitadores inerciais de areia: Posicionados na saída do feixe tubular e na caixa de reversão dos gases do pré-aquecedor de ar, têm como função a coleta das partículas mais pesadas.
- Lavador de gases: Posicionado antes do exaustor, consiste de um sistema de precipitação e coleta de fuligem por via úmida em um compartimento cilíndrico, onde os gases de combustão são tratados antes de serem lançados à atmosfera através da chaminé.
- Lavador de Gases Tipo Venturi (Descrição Geral de Operação): O lavador de gases tipo Venturi, com garganta simples se caracteriza pelo baixo consumo de energia, alta eficiência de coleta, alta disponibilidade e baixo consumo de água.
 - Sistema de Separação e Recirculação da Água de Lavagem: Consiste em um sistema de bombeamento e um reservatório de decantação, para o qual a água utilizada pelo lavador de gases é enviada. Após a decantação a água limpa é novamente bombeada para o lavador, fechando o ciclo.

4.1.4.5 Destinação dos Resíduos da Operação da Caldeira

As cinzas resultantes da queima do bagaço, juntamente com as impurezas minerais contidas nesses combustíveis, são decantadas no sistema de separação e recirculação da água de lavagem e retiradas rotineiramente pela usina com a utilização de caçambas para destinação à lavoura para enriquecer o solo com os minerais que foram retirados dele. A Figura 8 serve para mostrar de forma simplificada este entendimento.



Figura 8: Aplicação de Cinzas na Lavoura.

Fonte: Projeto da UTE.

4.1.4.6 Desaerador

O desaerador é o equipamento responsável pela retirada de gases (O_2 e CO_2) dissolvidos na água oriunda do condensador da turbina, desempenhando também as funções de reaquecimento da água de alimentação e de reservatório. Isto resulta no aumento da vida útil da caldeira, visto que toda tubulação estará menos sujeita à oxidação. A Figura 9 de modo claro mostra este equipamento.



Figura 9: Desaerador.
Fonte: Projeto da UTE.

4.1.4.7 Torre de resfriamento

A torre de resfriamento reduz a temperatura da água que circula no condensador da turbina e em outros trocadores da central de geração, ou seja, é o elemento responsável pela rejeição de calor do sistema de geração para atmosfera.

O equipamento da central termoelétrica em questão apresentará as seguintes características, como a Figura 10 de forma simplificada ilustra a torre de resfriamento e enchimento de seu interior.

Tabela 9: Triagem mecânica

Tipo:	Tiragem mecânica induzida em contra-corrente
Número de células:	05
Vazão por célula:	4 x 9.000 mV/h + 1 x 2.000 mV/h
Vazão total:	5.600 mV/h
Temperatura de entrada da água:	40° C
Temperatura de saída da água:	30° C
Motobombas:	06 sendo 01 reserva = 4 x 900V/h + 2 x 2.000 mV/h

Fonte: Dados de Projeto

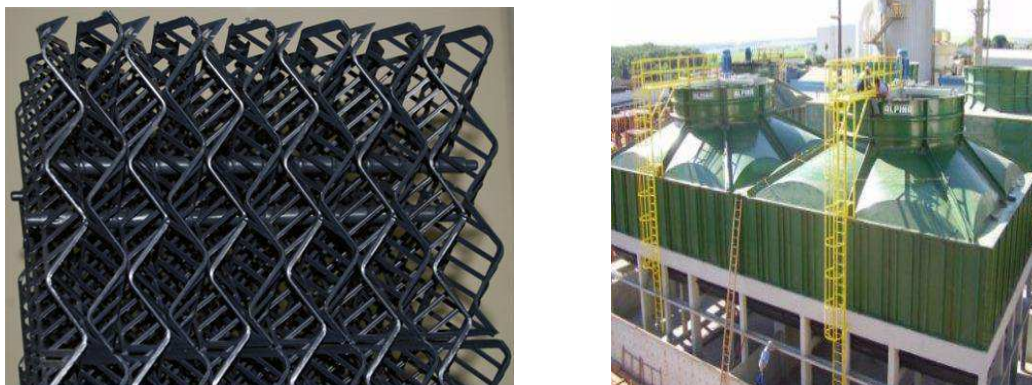


Figura 10: Torre de Resfriamento e o enchimento usado em seu interior.

Fonte: Projeto da UTE.

4.1.4.7 Sistema de tratamento de água

O tratamento de água serve para garantir a qualidade do fluido circulante nos equipamentos do sistema de geração. O tratamento de água da UTE em questão é do tipo desmineralização, composto por duas linhas, com operação automatizada, estágio preliminar de clarificação e filtragem com adição de cloro para proteção do filtro de areia e oxidação do saldo da matéria orgânica. Diante da utilização do cloro, o sistema possui um filtro de carvão na entrada dos traçadores iônicos. O objetivo deste filtro é evitar que a substância entre em contato com as resinas de troca e remover os traços finais de matéria orgânica.

4.1.5 Resultado: Diagrama Unifilar em Safra e em Entressafra

A usina funciona em dois estágios no ano: na época da colheita da cana conhecida como safra e na época em que não existe colheita ou entressafra. Dependendo da época a usina terá mais ou menos insumos o que acarretará na maior ou menor geração de energia elétrica. As figuras 11 e 12 explicitarão os diagramas unifilares para estes dois estágios e suas respectivas tabelas com dados sobre a geração nestas épocas.

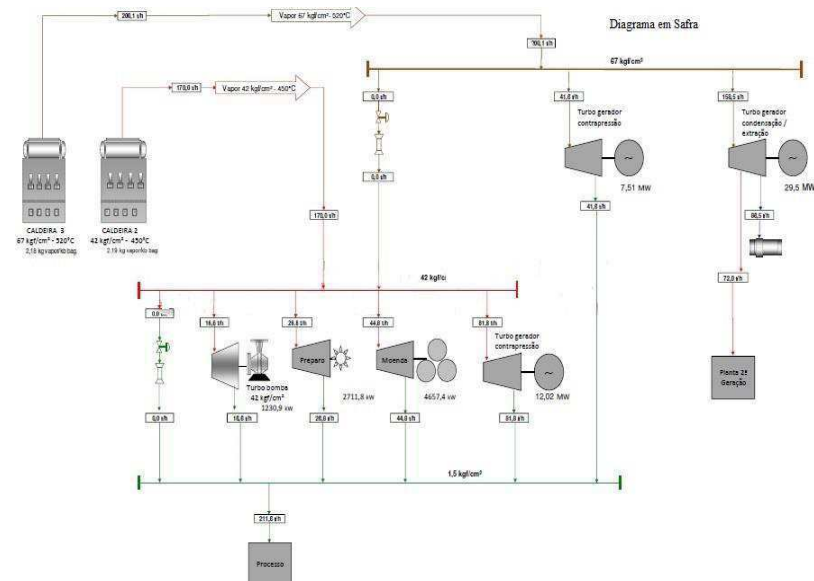


Figura 11: Diagrama Unifilar do período de safra.

Fonte: Projeto da UTE.

Tabela 10: Expectativas de consumo na safra

Safra	Potência	Hora	Total
Energia Gerada	49,03 MW	4.284 h	210.061 MW.h
Energia Consumida	23,75 MW	4.284 h	101.745 MW.h
Energia Exportada	25,28 MW	4.284 h	117.562 MW.h

Fonte: Dados de Projeto

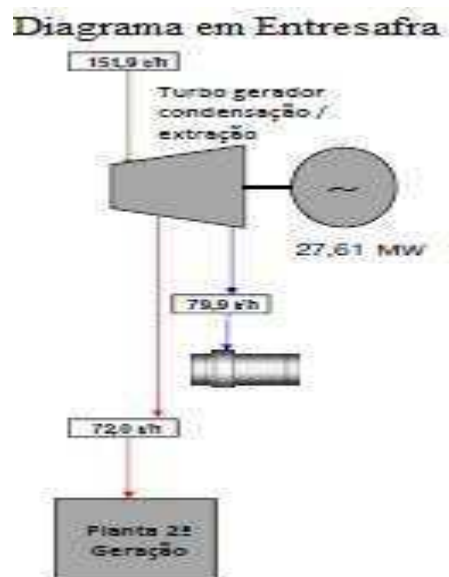


Figura 12: Diagrama Unifilar do período de entressafra.

Fonte: Projeto da UTE.

Tabela 11: Expectativa de consumo na entresafra.

Safra	Potência	Hora	Total
Energia Gerada	27,61 MW	3.000 h	82.831 MW.h
Energia Consumida	14,75 MW	3.000 h	44.250 MW.h
Energia Exportada	12,86 MW	3.000 h	38.581 MW.h

Fonte: Dados de Projeto

4.2 ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA PELAS USINAS SUCROALCOOLEIRAS

O objetivo deste estudo deu-se a partir da compreensão do licenciamento ambiental, levando em consideração a junção de duas subestações interligadas e em circuito simples e paralelo. O intuito do estudo realizado foi expandir o sistema de energia elétrica gerada através da utilização da biomassa e minimizar a utilização da energia elétrica através da subestação, pois a demanda de energia elétrica na região está em crescimento elevado.

O setor sucroalcooleiro vem praticando a cogeração de energia através da biomassa como fonte de energia elétrica e térmica que se faz necessária para o seu desenvolvimento.

De acordo com os dados obtidos no projeto podemos identificar que a usina gera aproximadamente 300 mil MWh no ano e dessa geração vende aproximadamente 150 mil MWh para a distribuidora responsável. O fator de capacidade é o tempo que a usina gera uma quantidade de energia significativa. Podemos calcular esse fator a partir da equação 1 abaixo:

$$Fc = \frac{E}{P * t}$$

Onde:

E[MWh] é a energia gerada no período de tempo t;

P[MW] é a potência instalada, assegurada, ou garantida;

t[h] é o intervalo de tempo considerado.

Podemos calcular também o rendimento que é dado pela equação 2 abaixo:

$$n = \frac{E}{Ec}$$

Onde:

E[MWh] é a energia gerada no período;

E_c [MWh] é a energia consumida no período;
 n é o rendimento.

Podemos calcular também o rendimento que é dado pela equação

Assim temos que o fator de capacidade desta usina é de 61,38% e o rendimento é 49,84% com base apenas na energia gerada e a consumida, ou seja, a energia entregue a rede não entra em questão. Vale ressaltar que os equipamentos ainda têm rendimentos específicos e podem resultar em mais perdas.

Para tanto, esta prática de cogeração de energia, se faz necessário o cumprimento da legislação ambiental para assim evitar os impactos ambientais, que possam afetar a natureza e/ou as atividades humanas. Entretanto, existem medidas minimizadoras. Neste sentido, a usina que realizar estas atividades, deve considerar ter um plano de educação ambiental que envolva toda a equipe, mas toda a comunidade do entorno, desenvolvendo assim a compreensão integrada do meio ambiente em suas múltiplas relações de envolvimento.

Desta forma, através do conteúdo aqui exposto, a utilização da biomassa pelas usinas sucroalcooleiras, passa a ser um procedimento de muita importância para a economia energética do país.

5 CONCLUSÃO

A prática da cogeração de energia elétrica advinda do bagaço da cana-de-açúcar na matriz elétrica brasileira ainda é muito sucinta, isso, quando se compara a outros países industrializados pelo resto do mundo. Neste sentido, não se justifica este atraso na prática desta atividade, pois, o país pode aumentar os benefícios que a cogeração nos traria ao aumentar a oferta de eletricidade.

A cogeração de energia através do bagaço da cana-de-açúcar é justificada energeticamente pela economia de combustível que o processo traz. Entretanto, tal estratégia de investimento deve contemplar outros fatores, onde o mais importante dar-se na “eficiência econômica” ou o retorno econômico do empreendimento. Em seguida, vem à estratégia de mercado, considerando o cenário regulatório do setor elétrico, a qual deve ser bem traçada de forma a não comprometer as premissas anteriores.

A título de sugestão indica-se que novos estudos, possam ser abordados com temas relevantes como a minimização dos custos das indústrias sucroalcooleiras, bem como as vantagens advindas pela viabilidade deste processo produtivo de energia elétrica.

Evidencia-se que os diversos tipos de cana-de-açúcar utilizada no cultivo não estão disponíveis devido a dados e tecnologias internas da empresa em questão.

REFERÊNCIAS

ALVES, F.J.C. Diagnóstico e Propostas de Políticas Públicas para o Complexo Agroindustrial Canavieiro na Macro Região de Ribeirão Preto. In: MORAES, M.A.F.D.; SHIKIDA, P.F.A. Agroindústria Canavieira no Brasil. São Paulo: Atlas, 2002.

ACEVEDO, C. R.; NOHARA, J. J. Monografia no Curso de Administração – Guia Completo de Conteúdo e Forma. São Paulo: Atlas. 2009.

BARJA, Gabriel de J. A. et al. (2006). Aspectos Regulatórios na Qualificação de Cogeneradores e na Geração Distribuída. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA. Rio de Janeiro: XI CBE.

BRONZEADO H. S. – CHESF, Á.J.P. Ramos – CHESF, J.G. de Oliveira – UFU, J.P.G. de Abreu – EFEI, A.A.C. Arruda – ELETROPAULO, A.C. Brandão – CEMIG – “Uma Proposta de Nomenclatura Nacional de Termos e Definições” – II SBQEE Seminário Brasileiro de Qualidade de Energia Elétrica, 1997

BRUGHENTI, Cláudia Rodrigues Farias. Integração do cogenerador de energia do setor sucroalcooleiro com o sistema elétrico. São Paulo, 2003, 196p. (Dissertação de Mestrado em Energia) – Programa de Inter unidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

CERVO, A.L; BERVIAN, P.A. da SILVA, R. Metodologia Científica – 4ª Ed. São Paulo: Makron Books.

CONSELHO MUNDIAL DE ENERGIA (2001); Comitê Brasileiro. *Dicionário de Terminologia Energética 2011*. 3ª ed. Rio de Janeiro.

GOLDEMBERG, J.; DONDERO, J.D. Energia meio ambiente & desenvolvimento. 2ª Ed. São Paulo: Edusp, 2003.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T. & NIGRO, E.B. F. Bioenergia no Estado de São Paulo: situação atual, perspectivas, barreiras e propostas. São Paulo: Imprensa oficial do estado de São Paulo, 2008.

GONÇALVES, D.B. Mar de Canal, Deserto Verde? Dilemas do Desenvolvimento Sustentável na Produção Canavieira Paulista. Tese (Doutorado Engenharia de Produção) São Carlos: UFSCAR/CCET, 2005.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projetos e relatórios, publicações e trabalhos científicos. São Paulo: Atlas, 2009.

LEMOS, A.A.S. Energia elétrica no Brasil e a cogeração como fonte energética alternativa. Ribeirão Preto, 1996. Monografia (Graduação) – Faculdade de Ciências Econômicas, Instituição Moura Lacerda.

MATSUDO, Eduardo (2001). *A reestruturação setorial e os reflexos sobre o planejamento e os estudos de mercado das distribuidoras de energia elétrica*. São Paulo. Dissertação (Mestrado em Energia) – Escola politécnica, USP.

MME. Balanço Energético Nacional 2000. Brasília: Eletrobrás/MME, 2001. (<http://www.mme.gov.br>, 30 de janeiro de 2002).

NEVES, Marcos F.; CONEJERO, Marco A. Sistema agroindustrial da Cana: Cenários e Agenda Estratégica. Ribeirão Preto, vol. 11, n. 4, outubro-dezembro 2007

VERGARA, S. C. *Projetos e Relatórios de Pesquisa em administração*. 2 ed. São Paulo: Makron Books. 2004.

WALTER, A. C. S.; Viabilidade e perspectivas da cogeração e da geração termoelétrica junto ao setor sucroalcooleiro. (Tese de Doutorado). Campinas, 1994.

COGERAÇÃO. Disponível em:

<http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1687>. Último acesso em 01/02/2015.

CONCEITO E TECNOLOGIAS. Disponível em:

<http://www.cogen.com.br/cog_conceito.asp>. Último acesso em 01/02/2015.