

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Henrique Silva França

Renan Abílio da Silva

**ALTERNATIVA DE OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA EM ÉPOCAS DE
ESTIAGEM UTILIZANDO A COGERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DO
BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

SÃO PAULO

2018

Henrique Silva França – 16104131

Renan Abílio da Silva - 16104392

**ALTERNATIVA DE OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA EM ÉPOCAS
DE ESTIAGEM UTILIZANDO A COGERAÇÃO DE ENERGIA A
PARTIR DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Tecnologia em Instalações Elétricas da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, como requisito para obtenção do título de Tecnólogo em Instalações Elétricas.

Orientador: Professor Mestre HÉlvio Fregolente Jr.

SÃO PAULO

2018

Aos nossos familiares, amigos e professores por todo auxílio durante o período deste trabalho e nosso curso.

“A alegria que se tem em pensar e aprender faz-nos pensar e aprender ainda mais”

Aristóteles

Índice Geral:

• Índice de Figuras.....	I
• Índice de Tabelas.....	II
• Resumo.....	III
• Abstract.....	V
1. Introdução	1
2. Produção da Cana-de-açúcar.....	2
2.1. Plantio da Cana de Açúcar.....	2
2.2. Épocas de Colheita e Procedimentos.....	2
2.3. Logística de Transporte e Armazenamento.....	3
2.4. Brasil e a Produção de Cana.....	3
3. Biomassa e Conceitos de Cogeração.....	5
3.1. Conceito de Biomassa.....	5
3.2. Conceito de Cogeração de Energia.....	5
3.3. Vantagens no Uso da Biomassa na Geração de Energia.....	6
3.4. Desvantagens no Uso da Biomassa na Geração de Energia.....	6
4. Processos de uma Usina Termelétrica	6
5. Fundamentos da Cogeração.....	8
5.1. Turbina de Gás (ciclo de Brayton).....	12
5.2. Turbina a vapor (Ciclo Rankine).....	15
5.3. Ciclo combinado	17
5.4. Caldeiras	19
5.5. Motor alternativo de Combustão Interna	21

5.6.	Cogeração em Micro Sistemas.....	23
5.7.	Microturbinas	24
5.8.	Inserção da Cogeração ao Sistema Interligado.....	25
6.	Usina Hidroelétrica.....	27
6.1.	Como Funciona a Hidroelétrica.	27
6.2.	Potencial Hidroelétrico.....	27
6.3.	Influência do clima na geração hidroelétrica.....	28
7.	Cogeração a base de cana X Terméletrica convencional	29
7.1.	Terméletrica.....	29
7.1.1.	Impacto Ambiental.....	29
7.1.2.	Impacto Social.....	30
7.2.	Cogeração	30
7.2.1.	Impacto Ambiental.....	30
7.2.2.	Impacto Social.....	32
7.3.	Relação de custo-benefício	32
8.	Aspectos Econômicos do Setor Sucroalcooleiro.....	33
8.1.	Projeções futuras para cogeração de energia em São Paulo.....	34
8.2.	Barreiras na Comercialização de Energia	35
8.3.	Finaciamento	35
8.4.	Barreiras Políticas	36
8.5.	Vantagens da Cogeração para a Usina Sucroalcooleira	36
9.	Conclusão	37
10.	Bibliografia	39

Índice de Figuras:

Figura 1: Modelo de Usina Termelétrica com Resfriamento por um Rio.	7
Figura 2: Modelo de Usina Termelétrica com resfriamento por água armazenada.	8
Figura 3:Exemplificação do rendimento de uma geração termelétrica.	9
Figura 4:Tipos de ciclos termodinâmicos para sistemas de cogeração.	10
Figura 5:Cogeração do Tipo Topping.	11
Figura 6:Cogeração do Tipo Bottoming.	11
Figura 7:Comparação dos Ciclos Térmicos.	12
Figura 8:Funcionamento típico de um sistema com Turbina a Gás.	14
Figura 9:Geração de energia elétrica por meio de turbinas a vapor.	17
Figura 10:Distribuição energética da Cogeração em Ciclo Combinado.	18
Figura 11:Funcionamento de uma caldeira Aquatubular.	20
Figura 12:Funcionamento de uma caldeira fogotubular.	21
Figura 13:Esquema geral de funcionamento de um sistema de Cogeração com motor alternativo.	23
Figura 14:Produção de energia em relação ao índice pluviométrico.	28
Figura 15:Emissão de gases na atmosfera pela Termelétrica convencional.	30
Figura 16:Emissão de gases na atmosfera pela cogeração.	31

Índice de Tabelas:

Tabela 1: Maiores produtores de cana-2010.....	4
Tabela 2:Emissões Evitadas de Poluentes de acordo com a Tecnologia Utilizada...	31
Tabela 3:Destinação da energia gerada por hora no período da safra.	34

Resumo

O presente trabalho consiste em estipular uma aplicação para o excedente de energia elétrica gerada em uma planta cogeneradora de uma usina sucroalcooleira e diminuir o impacto ambiental das termelétricas quando são utilizadas para suprir a falta das hidroelétricas. Explica o processo de plantio, colheita e armazenamento da cana-de-açúcar até a interligação com o sistema elétrico da concessionária de energia. Demonstrando os ciclos térmicos, tecnologias disponíveis, produção de cana no Brasil e em São Paulo, inserção no sistema, negociação e comercialização do excedente, comparação entre o modelo convencional termelétrico e a cogeração do bagaço da cana, riscos inerentes as questões ambientais, obstáculos e dificuldades para desenvolver esta matriz energética.

O objetivo social deste documento é incentivar um método de energia sustentável. Ainda, a diminuição do lançamento de gases poluentes na atmosfera e baratear os custos da tarifa em bandeira vermelha.

Abstract

The present study is to provide an application for the surplus of electric power generated in a cogeneration plant from a Sugarcane ethanol plant and reduce the environmental impact of thermoelectrics when they are used to address the lack of hydroelectric power plants. It explains the process of planting, harvesting and storage of sugar canes until the interconnection with the electric utility system. Demonstrating the thermal cycles, technologies that are available, production of sugar cane in Brazil and in São Paulo, system integration, negotiation and sale of surplus, comparison between the conventional thermoelectric model and the cogeneration of sugar cane's bagasse, risks of environmental issues, obstacles and difficulties to develop this energetic matrix.

The social objective of this document is not only to encourage a sustainable energy method, but also to reduce the release of pollutants into the atmosphere and cheapen the cost of rate in red flag.

1. Introdução

A seguir é feito um panorama sobre o uso da cana-de-açúcar e seu potencial energético aplicado ao período de estiagem no Estado de São Paulo. O Brasil é atualmente o maior produtor de cana do mundo, a região Centro-sul é a maior responsável pela produção e as principais unidades cogeneradoras são encontradas em São Paulo, o que gera uma grande disponibilidade de insumos para essa tarefa, ainda mais sendo o bagaço dela o combustível.

A termelétricas são as mais utilizadas para suprimento de demanda energética quando ocorre deficiência no principal método de geração nacional, o hidrelétrico. Geram eletricidade por meio de processos termodinâmicos utilizando na maioria dos casos um combustível fóssil, que além de gerar impactos negativos ao meio ambiente, possui um custo maior.

O bagaço da cana é o combustível para geração de energia, por meio da cogeração, gerando mais de um tipo de energia, na maioria das vezes: Térmica, Elétrica e/ou Mecânica. Realizada por diversos métodos que são detalhados no trabalho.

A cogeração a partir do bagaço da cana é muito comum no setor sucroalcooleiro, que se tornou auto-suficiente nas suas demandas energéticas e ainda gera receita vendendo uma parte do excedente.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma alternativa mais sustentável e menos agressiva ao meio ambiente nas épocas dos baixos níveis dos reservatórios hídricos paulistas, no qual as hidrelétricas não podem trabalhar com capacidade máxima. Ao invés de aumentar a geração das usinas termelétricas, utilizar o excedente das indústrias. Ainda, demonstrar uma visão geral da energia excedente não utilizada, o potencial disponível e a possibilidade de aumento da capacidade de geração.

2. Produção da Cana-de-açúcar.

2.1. Plantio da Cana de Açúcar.

Existem duas formas para o plantio da cana de açúcar, a mecânica e a manual.

Inicialmente deve ser feito o planejamento da área, por meio de um estudo topográfico, seguido por um estudo do solo, no qual o agricultor levanta suas especificações para saber qual será a nutrição adequada.

Para o plantio é mais utilizado o processo de sulcamento, onde são abertos sulcos, colocado o adubo e distribuído os toletes.

A distância entre os sulcos é escolhida durante o estudo do terreno, mas hoje em dia, com o aumento na colheita mecanizada, tem se optado por um distanciamento entre sulcos que combinem com a máquina utilizada para a colheita.

Os toletes são distribuídos de forma uniforme em um sistema chamado pé com ponta, onde se é feita a transposição das canas, cruzando a ponta do colmo anterior com o pé do seguinte. Após a distribuição, os colmos devem ser cortados no sulco, deixando-se sempre de 3 a 4 gemas em cada tolete.

A densidade do plantio é em torno de 12 gemas por metro linear de sulco, que, dependendo da variedade e do seu desenvolvimento vegetativo, corresponde a um gasto de 7 a 10 toneladas por hectare. Os toletes são cobertos com uma camada de terra de 7 cm, devendo ser ligeiramente compactada.

2.2. Épocas de Colheita e Procedimentos.

A colheita é planejada para ser feita no pico da maturação, o que varia com o tipo de cultivo utilizado, região e outros fatores. É necessário também se atentar para a previsão climática, para que se possa programar as retiradas da cana em áreas com relevo acidentado ou com excesso de humidade. A colheita geralmente é iniciada em abril e pode estender-se até novembro.

O corte pode ser manual ou mecânico. No manual costumava-se queimar a cana antes da colheita, o que eliminava animais peçonhentos e a palhada,

facilitando a colheita. Neste caso o rendimento médio é de 12 toneladas por homem por dia. Mas devido a poluição gerada por esta queima, este processo está perdendo espaço devido a leis proibitivas, que visam diminuir a poluição gerada, sem esta queima, o rendimento pode cair pela metade.

Com isso, é mais comumente utilizado o corte mecânico, através de colhedoras, que possuem rendimento de 15 a 20 toneladas por hora.

2.3. Logística de Transporte e Armazenamento

O transporte da cana colhida é feito por meio de caminhões, hoje há caminhões com três ou quatro carrocerias em conjunto, aumentando bastante a capacidade de transporte. Após chegar na usina, a cana é enviada para a moagem, onde é iniciado o processo de fabricação do açúcar e álcool.

A maneira mais prática e utilizada de transportar e armazenar o bagaço da cana é por compactá-lo em fardos. Estes podem ser compactados com ou sem secagem prévia, quando sem, a secagem dos fardos é feita depois, variando com o modo em foram empilhados.

Para secar o bagaço existem métodos como:

- a) usar gás de exaustão de caldeira como meio de aquecimento;
- b) usar secador munido de gerador autônomo de energia (geralmente, queima de resíduos de biomassa);
- c) sistema misto, que aquece gases a baixa temperatura (130^o-150^oC) com uma fonte autônoma de energia.

2.4. Brasil e a Produção de Cana

São Paulo é o estado com maior produção de cana do Brasil, responsável por cerca de 60% da cana, açúcar e etanol produzidos no país. A região centro-sul é a maior produtora de cana do país, a produção canavieira na safra de 2015/2016 desta região foi registrada em 605 milhões de toneladas (UNICA, 2016).

O Brasil é o maior produtor de cana do mundo, e ele, junto com a Índia são responsáveis por pouco mais da metade da cana produzida mundialmente conforme tabela 1.

Pais	Produção (1000 t)	Área (1000 ha)	Produtividade (t/ha)
Brasil	719,157	9,081	79,1
Índia	277,750	4,200	66,1
China	111,454	1,695	65,7
Tailândia	68,808	978	70,4
México	50,423	704	71,6
Paquistão	49,373	943	52,4
Filipinas	34,000	363	93,7
Austrália	31,457	405	77,6
Argentina	29,000	355	81,7
Indonésia	26,500	420	63,1
EUA	24,821	355	69,9
Colômbia	20,273	172	118,1
Guatemala	18,392	213	86,2
África do Sul	16,016	267	60,0
Egito	15,709	135	116,8
Costa Rica	3,735	56	66,9
Etiópia	2,400	19	126,9
Total Mundial	1 686,014	23,832	57,5

Tabela 1: Maiores produtores de cana-2010

Fonte: <https://www.comprerural.com/brasil-maior-produtor-de-cana-de-acucar-do-mundo-seguido-pela-india/>

Ao combinar a produção do Brasil com China e Índia, percebe-se que esses três países correspondem a dois terços da produção mundial de cana-de-açúcar a partir de aproximadamente 15 milhões de ha cultivados.

Fatores climáticos, principalmente disponibilidade hídrica, são os fatores que mais influenciam a produção. Enquanto as médias de produtividade de cana-de-açúcar no mundo são perto de 60 t/ha, no Brasil essa média chega a quase 80 t/ha.

Segundo dados do Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em 2016 apenas 175 indústrias sucroenergéticas das 370 unidades exportam os excedentes produzidos de energia elétrica, neste ano, a biomassa foi responsável por cerca de 8,8% da energia produzida, desta, 67% são do bagaço da cana. As informações são do Boletim Mensal de Energia (referência - dezembro/2016) elaborado pelo Ministério de Minas e Energia (MME).

3. Biomassa e Conceitos de Cogeração.

3.1. Conceito de Biomassa.

Biomassa é toda energia química produzida pelas plantas por meio da fotossíntese, esta energia é armazenada nos corpos dos seres vivos através da cadeia alimentar. Para nós do setor elétrico, biomassa é todo recurso renovável, provindo da decomposição de uma variedade de recursos, de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizada na produção de energia.

Hoje em dia, o bagaço da cana-de-açúcar é o recurso renovável com maior potencial para geração de energia elétrica. A alta produtividade e espaço disponíveis tornam o Brasil um dos maiores produtores de cana e de etanol do mundo.

O setor sucroalcooleiro gera uma grande quantidade de resíduos, que pode ser aproveitada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de cogeração. Ao contrário da produção de madeira, o cultivo e o beneficiamento da cana são realizados em grandes e contínuas extensões, e o aproveitamento de resíduos (bagaço, palha, etc.) é facilitado pela centralização dos processos de produção.

Na produção de etanol, cerca de 30% da cana é transformada em bagaço. Em termos energéticos, o bagaço equivale a 49,5%, o etanol a 43,2% e o vinhoto a 7,3%.

3.2. Conceito de Cogeração de Energia

Cogeração de energia é a produção de duas formas de energia a partir de uma única fonte, assim podemos produzir energia térmica e mecânica/elétrica por meio de um único combustível, como os derivados do petróleo, gás natural e a biomassa.

Onde não há cogeração de energia, apenas cerca de 35% do poder do combustível é transformado em energia, mas no caso da cogeração o sistema de

aproveitamento da energia do combustível fica entre 80 a 90%, sendo que 35% é usada para a geração de energia elétrica e cerca de 50% usada em energia térmica.

Sendo assim, o processo de cogeração é uma ação que utiliza a energia de forma racional, aumentando o rendimento no processo de geração de energia por usar um método de produção combinado, dando melhor aproveitamento ao conteúdo energético do combustível básico.

3.3. Vantagens no Uso da Biomassa na Geração de Energia.

- a) Baixo custo de aquisição;
- b) Não emite dióxido de enxofre;
- c) As cinzas são menos agressivas ao meio ambiente que as provenientes de combustíveis fósseis;
- d) Menor corrosão dos equipamentos (caldeiras, fornos);
- e) Menor risco ambiental;
- f) Recurso renovável;
- g) Emissões não contribuem para o efeito estufa.

3.4. Desvantagens no Uso da Biomassa na Geração de Energia.

- a) Menor poder calorífico;
- b) Maior possibilidade de geração de material particulado para a atmosfera. Isto significa maior custo de investimento para a caldeira e os equipamentos para remoção de material particulado;
- c) Dificuldades no estoque e armazenamento.

4. Processos de uma Usina Termelétrica

A geração de energia por meio de Usinas(ou Centrais) Termelétricas pode

ser realizada com o uso de diversos combustíveis. Independente de qual for usado, o funcionamento é semelhante, seja pela queima de algum tipo de combustível renovável ou não renovável: madeira, óleo combustível, óleo diesel, gás natural, carvão natural, urânio enriquecido e bagaços, como no caso, bagaço da cana-de-áçúcar.

O combustível escolhido é utilizado para transformar água em vapor, que por sua vez, com sua alta pressão movimentará as pás da turbina de um gerador. A energia elétrica é o resultado da energia cinética, movimentação das pás da turbina, transformando energia potencial em elétrica.

O vapor após ser utilizado é redirecionado ao ciclo, ao girar as turbinas é levado para um condensador para ser resfriado e transformado em água líquida. O resfriamento pode ser feito com água de um rio, um lago ou um mar, como na Figura 1, não muito aconselhado por aquecê-la e diminuir a quantidade de oxigênio. A utilização de torres com água armazenada é outra alternativa, como mostrado na Figura 2, porém, esta água irá para atmosfera em forma de vapor e alterará o regime das chuvas.

A energia elétrica gerada é transmitida por meio de condutores para os transformadores de elevação e direcionados aos sistemas de transmissão e distribuição de energia.

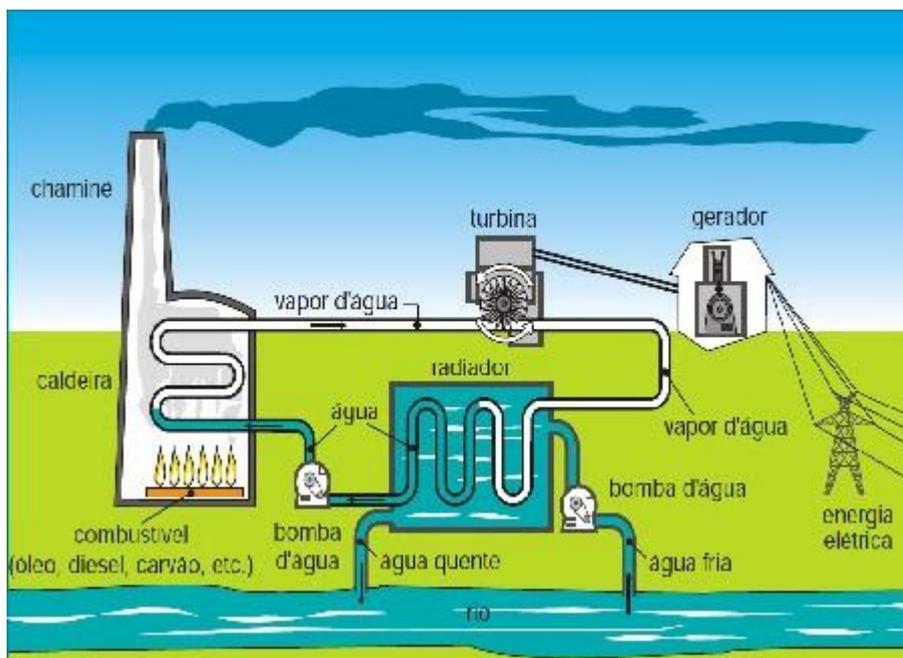


Figura 1: Modelo de Usina Termelétrica com Resfriamento por um Rio.

Fonte: <http://fisica3m3.blogspot.com/p/usinas-geradoras-de-energia-eletrica.html>.

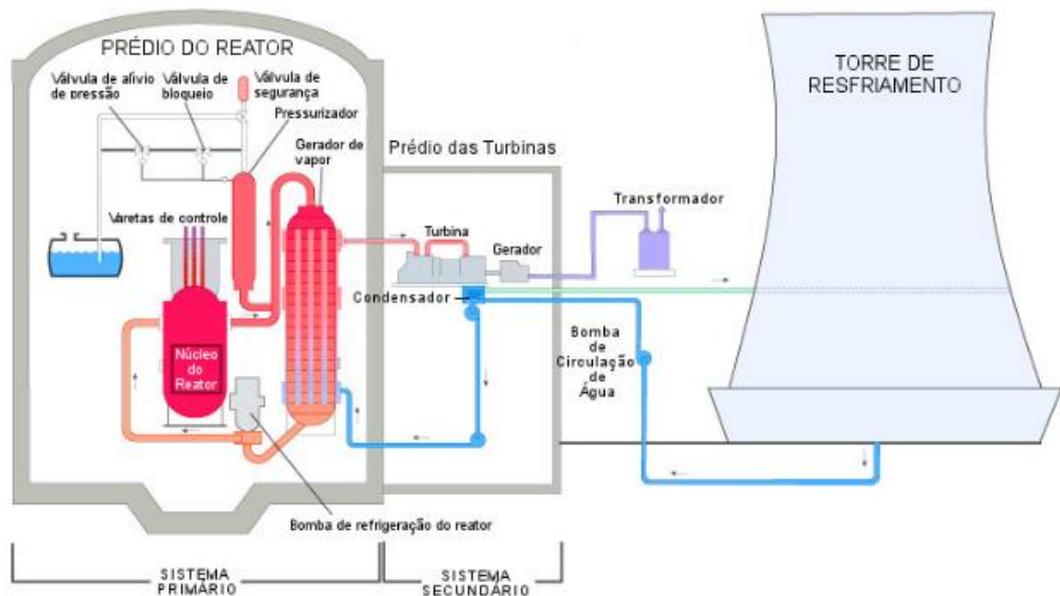


Figura 2: Modelo de Usina Termelétrica com resfriamento por água armazenada.

Fonte: <https://www.infoescola.com/fisica/usina-termoeletrica/>

O impacto ambiental não é apenas relacionado com a água de resfriamento. No interior destas grandes estruturas, em geral existem precipitadores que retêm as cinzas e outros resíduos voláteis da combustão, que podem se tornar fontes de poluição do ar através da dispersão de fuligem. As cinzas recuperadas são usadas para aproveitamento em processos de metalurgia e no campo da construção, onde são misturadas com o cimento. O maior impacto ambiental produzido pelas termoelétricas são os gases, muitos deles de efeito estufa. São produzidos óxidos e dióxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, monóxido e dióxido de carbono, outros gases e particulados.

5. Fundamentos da Cogeração

Os sistemas de cogeração estão cada vez mais comuns no Brasil, principalmente em usinas sucroalcooleiras. Nestas usinas além de reduzir bruscamente os gastos com energia, vira fonte de receita quando ocorre sobra e é "vendida" para a concessionária. Essa e a maior eficiência, em relação aos métodos tradicionais de termelétrica, são algumas das causas pela crescente diversidade de tecnologias de cogeração disponíveis no mercado.

Este método utiliza de maneira mais eficiente a energia, pelo que é muitas vezes associada às energias renováveis, encaradas de forma abrangente.

Em uma termelétrica não importa o tipo de combustível usado, sempre haverá uma perda de calor para o meio-ambiente, limitando a uma média de apenas 40% do combustível ser transformado em eletricidade. Um ciclo baseado em cogeração pode aumentar a eficiência para até 80%, como mostra a figura 3.

Os processos desta forma mais eficiente de geração são totalmente baseados em princípios termodinâmicos, principalmente na segunda lei da termodinâmica. Nesta lei, o enunciado de Kelvin-Planck diz:

"É impossível a construção de uma máquina que, operando em um ciclo termodinâmico, converta toda a quantidade de calor recebido em trabalho."

Ou seja, em um gerador nem todo calor gerado é transformado em potência de eixo. O que não usado é simplesmente descartado.

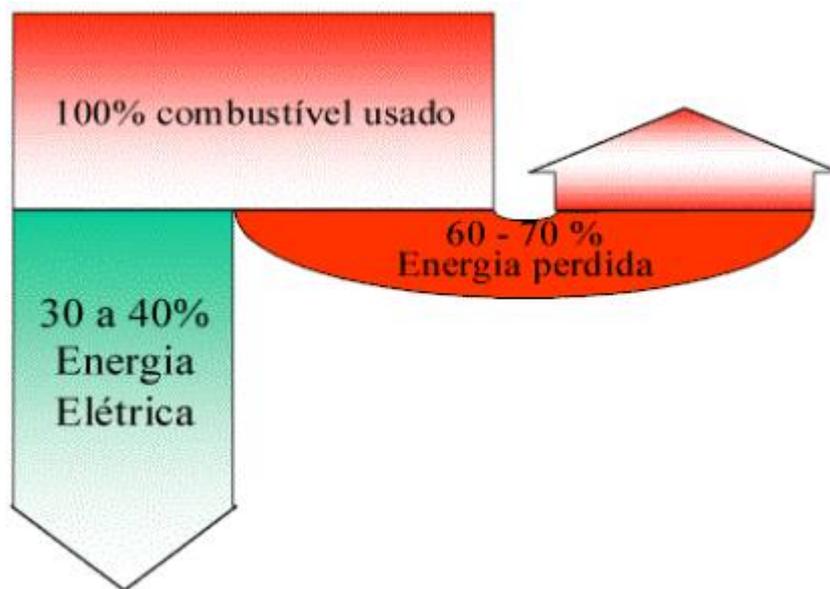


Figura 3:Exemplificação do rendimento de uma geração termelétrica.

Fonte: Instituto Nacional de Energia Elétrica. http://www.inee.org.br/forum_co_geracao.asp

10/

A cogeração pode ser aplicada com qualquer ciclo térmico. A "sobra" de calor existirá em qualquer um e poderá usar em qualquer outra atividade térmica, desde que sejam compatíveis. A turbina a vapor e a gás são as mais utilizadas nesse processo, são as que mais se encaixam às características térmicas e elétricas.

Os sistemas de cogeração são divididos em duas categorias: ciclos topping e os ciclos bottoming. A figura 4 apresenta uma exemplificação dos dois tipos de ciclo

para a cogeração.

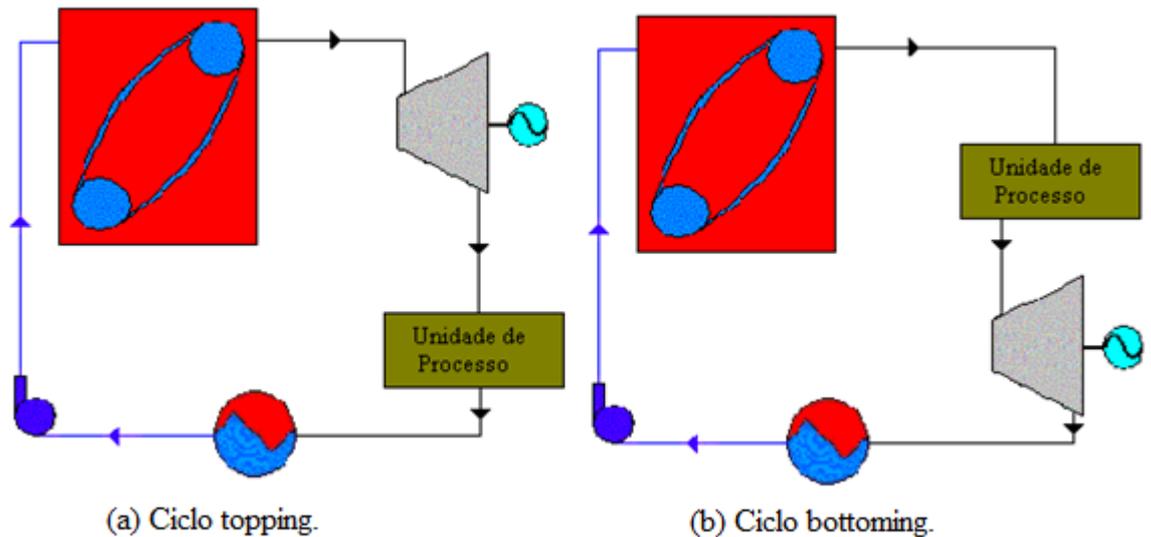


Figura 4: Tipos de ciclos termodinâmicos para sistemas de cogeração.

Fonte: SILVA, Vinícius Oliveira da. “Análise Energética e Exergética do Sistema de Cogeração de uma Usina Sucroalcooleira”, 2011. Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica. UNESP.

No ciclo topping a geração de potência ocorre primeiro, após ocorrerá o fornecimento de calor útil, demonstrado na Figura 5. Assim, os gases a uma temperatura mais elevada são utilizados para a geração de energia eletromecânica, e o calor não utilizado pelo sistema de geração de potência atende à demanda térmica.

Esta é a configuração mais comum dos processos de cogeração, pois a maioria dos processos industriais requer vapor de baixa pressão, que é produzido nesse ciclo.



Figura 5: Cogeração do Tipo Topping.

Fonte: BARJA, Gabriel de Jesus Azevedo. A Cogeração e sua inserção ao sistema elétrico, 2006. Tese de Mestrado em Ciências Mecânicas. Universidade de Brasília.

No ciclo bottoming a geração de potência ocorre após o uso do vapor pelo processo, mostrado na Figura 6. Assim, é a energia dos gases de exaustão que é utilizada para a produção de energia eletromecânica. Este ciclo é menos utilizado porque, em geral, o calor rejeitado em processos industriais já está com a temperatura relativamente baixos para produção de potência. Em geral, este tipo de ciclo serve apenas quando o calor não usado por um processo industrial está em uma temperatura bem elevada, como nos casos de uma planta metalúrgica.



Figura 6: Cogeração do Tipo Bottoming.

Fonte: BARJA, Gabriel de Jesus Azevedo. A Cogeração e sua inserção ao sistema elétrico, 2006. Tese de Mestrado em Ciências Mecânicas. Universidade de Brasília.

A escolha de qual ciclo será utilizado depende de uma série de fatores. Deve-se analisar a relação entre a potência e o calor rejeitado. Máquinas a combustão

costumam produzir mais energia mecânica em consequência do calor em relação a turbinas a gás.

A qualidade do combustível deve ser levada em consideração, pois turbina a gás não pode haver contaminantes no mesmo. já o motor a combustão aceita combustível de qualidade inferior.

Quando a biomassa é utilizada, o sistema deve possuir caldeiras para a sua combustão, segue-se o princípio das turbinas a vapor (ciclo rankine).

A figura 7 apresenta uma relação entre a eficiência dos dois tipos de ciclos:

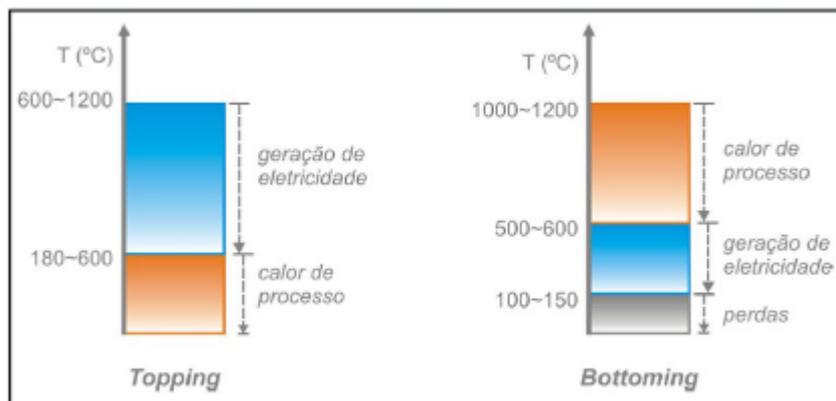


Figura 7: Comparação dos Ciclos Térmicos.

Fonte: BARJA, Gabriel de Jesus Azevedo. A Cogeração e sua inserção ao sistema elétrico, 2006. Tese de Mestrado em Ciências Mecânicas. Universidade de Brasília.

Um grande responsável pelo crescimento da cogeração é a utilização da mesma em sistemas refrigerantes. Neste tipo de geração, a energia gerada, seja eletromecânica ou térmica, possui diversas utilidades. A energia térmica de baixa temperatura (ou "frio"), gerada por máquinas de refrigeração por absorção de calor potencializaram a possibilidade da cogeração de pequeno porte.

5.1. Turbina de Gás (ciclo de Brayton)

O uso de turbinas a gás vem aumentando como forma de suprir a alta demanda energética do país. Apenas sendo usada juntamente com o gás natural já

é responsável por mais de 10% da capacidade da matriz energética. Com o uso destas turbinas na cogeração, aumenta a presença das mesmas na geração de energia em território nacional. Segundo a Aneel, Atualmente, as maiores turbinas a gás chegam a 330 MW de potência e os rendimentos térmicos atingem 42%. Em 1999, os menores custos de capital foram inferiores a US\$ 200 por kW instalado, em várias situações e faixas de potência (110-330 MW)

A geração de energia elétrica a partir de gás natural é feita com o uso de turbinas a gás, que são basicamente um tipo de motor térmico onde é produzido trabalho a partir de uma passagem contínua de gases quentes, resultados da queima do combustível.

Mesmo com o aumento no rendimento térmico das turbinas a gás operando em ciclo simples, seu desempenho tem sido afetado pela eliminação de energia nos gases de exaustão. O uso do ciclo combinado é a principal saída utilizada na recuperação dessa energia, por meio da geração de vapor e da produção de potência adicional. Faz-se uma combinação dos ciclos de turbinas a gás e turbinas a vapor, com trocadores de calor, nos quais ocorre a geração de vapor e aproveitando a energia dos gases de exaustão da turbina a gás. Esse processo ainda pode ser melhorado com a queima de combustível suplementar, principalmente quando há disponibilidade de combustíveis residuais.

O sistema de geração de energia elétrica por meio de turbinas a gás é basicamente formado por 5 principais partes: Sistema de entrada do gás, compressor, câmara de combustão, turbina de expansão e sistema de exaustão, como mostra a figura 8.

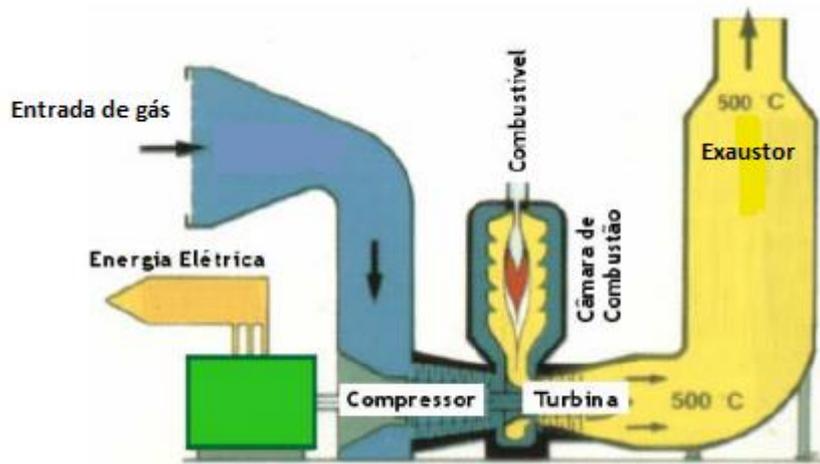


Figura 8: Funcionamento típico de um sistema com Turbina a Gás.

Fonte: BRANDÃO, Sérgio da Silva. Produção e Planeamento de Energia Elétrica, 2004. Universidade de Coimbra. Editado.

Esta máquina térmica trabalha em ciclo Brayton aberto (entretanto existem ciclos com realimentação), comprimido ar atmosférico em vários estágios no compressor e levado à câmara de combustão, onde é injetado o combustível para formar uma chama contínua, fazendo elevar a temperatura e pressão da mistura, que se expande em vários estágios, convertendo a energia cinética do escoamento em trabalho mecânico, o que faz girar o rotor da turbina. Nesta máquina térmica, grande parte do trabalho obtido na turbina é consumida no compressor, em torno de metade da produção, e outra rejeitada nos gases de exaustão. É importante destacar a alta razão ar-combustível, em torno de 50:1 em massa, o que faz com que as condições climáticas (temperatura ambiente e umidade relativa) influenciem de forma significativa no seu desempenho, provocando alterações tanto no rendimento quanto na potência gerada, ambos piorando conforme a elevação da temperatura. Por trabalhar com excesso de ar, os gases de exaustão ainda possuem concentrações de oxigênio em torno de 15 a 16%, o que viabiliza a sua queima posterior em algumas aplicações.

As turbinas a gás são divididas em duas classes principais, com aplicações específicas, existem a aeroderivada e a heavy duty, ou estacionária:

As aeroderivadas possuem construção compacta e rendimento superior, da ordem de 35% a 42%, encontradas com potências entre 2,5 a 50 MW.

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, em torno de 600°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 e calor é de 0,8 a 0,5.

A operação das turbinas a gás é bastante elástica em relação aos regimes de carga, com vantagens para a cogeração por possuir baixo custo de instalação, alto fator de disponibilidade, baixo custo de manutenção, altas temperaturas de exaustão e boa eficiência.

Vantagens:

- Manutenção simples (menores tempos de paragem);
- Elevada fiabilidade;
- Baixa poluição ambiental;
- Não necessita de vigilância permanente;
- Disponibiliza energia térmica a temperaturas elevadas (500° a 600°);
- Unidades compactas e de pequeno peso;
- Arranque rápido;
- Baixo nível de vibrações;

Desvantagens:

- Limitado a nível de variedade de combustível consumido;
- Tempo de vida útil curto;
- Ineficácia em processos com poucas necessidades térmicas
- Necessidade de uso de dispositivos anti-poeiras/sujidade, anti-corrosão (em especial em casos de pausas de funcionamento prolongado);

5.2. Turbina a vapor (Ciclo Rankine).

Atualmente, as máquinas a vapor trabalham utilizando o ciclo Rankine, será apresentado a seguir. A máquina a vapor possui basicamente três partes principais: fonte de calor, turbina a vapor e condensador.

A característica que mais diferencia o ciclo Rankine dos demais é a combustão externa ao fluido de trabalho. Com isso, pode-se utilizar qualquer tipo de combustível, sólido, líquido ou gasoso. Seja o bagaço de cana, no nosso caso; madeira; lixo; óleo diesel; gás natural

A Cogeração com esta tecnologia tem-se difundido principalmente na produção centralizada de energia elétrica nas grandes instalações (acima dos 20MW), e em indústrias onde são indispensáveis elevadas quantidades de vapor para o processo. Como as indústrias de pasta de papel, refinação de petróleo, química pesada e entre outras.

O sistema opera com um ciclo fechado, onde a água é o fluido de trabalho. Para iniciar o ciclo, ocorre a pressurização do fluido citado ou o bombeamento do mesmo, na ordem de 60 a 100 atm, seguindo para caldeira (gerador de vapor), apresentado na Figura 9.

Na caldeira tem-se a queima do combustível, a energia térmica liberada é transferida para o fluido, este podendo chegar até mais de 500°C. A geradora de vapor pode ser alimentada com o calor residual de outros processos industriais como fornos e reatores químicos, e até mesmo de outro ciclo de geração elétrica, formando o “ciclo combinado”.

O vapor com alta pressão e temperatura é então expandido na turbina, onde é transformado em energia cinética durante sua expansão, em seguida a quantidade de movimento do fluxo de vapor é transferida às palhetas fixas e móveis do rotor, em um ou mais estágios, convertendo-se em potência de eixo. Os estágios normalmente são rotores alternados com bocais ou palhetas fixas.

A cogeração pode ser utilizada após saída do vapor pela turbina, com baixa temperatura e pressão, precisando ser condensada e não transferindo para o meio ambiente. No instante em que acontece a rejeição de energia térmica do ciclo, pode então ser encaminhada para utilização posterior. Mas o vapor de processo poderá ser extraído também de outros pontos do ciclo, como nas extrações intermediárias da turbina.

As turbinas a vapor podem ser de contrapressão, quando a pressão do vapor na saída da turbina é superior a atmosférica, ou de condensação, quando a pressão na saída é inferior a atmosférica.

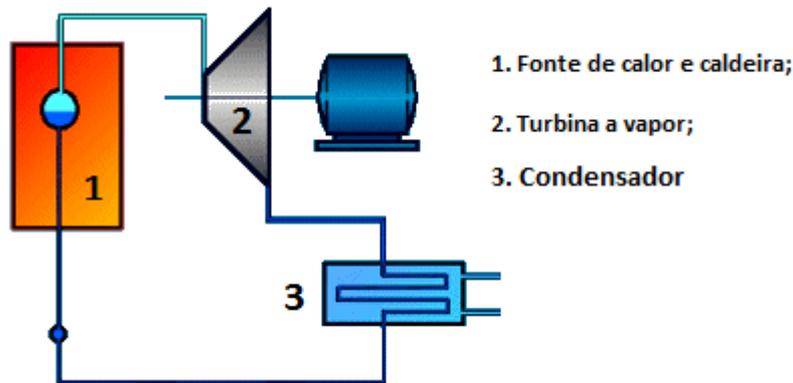


Figura 9: Geração de energia elétrica por meio de turbinas a vapor.

Fonte: http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/prodenerg/centrais_vapor.htm Editado.

Vantagens:

- Alto tempo de vida útil;
- Não necessita de vigilância constante;
- Equipamento seguro;
- Eficiência global elevada;
- Capacidade de fornecer vapor a alta pressão e/ou pressão atmosférica;
- Elevado tempo de trabalho entre manutenções;

Desvantagens:

- Reduzido número de aplicações;
- Baixo rendimento elétrico;
- Arranque lento;
- Problemas de controlo de emissão de poluentes;
- Dependência de um tipo de combustível no dimensionamento;
- Reduzido número de aplicações;
- alto investimento inicial;
- Baixo rendimento elétrico;

5.3. Ciclo combinado

O ciclo combinado, como está implícito em seu nome, é a agregação de duas tecnologias em um só sistema. Com a evolução tecnológica, surgiu este método

com maior eficiência e rendimento global da cogeração.

Pode ser definido como um conjunto de instalações e equipamentos com a finalidade de gerar energia elétrica, a partir da operação sequencial de uma turbina à gás e uma turbina à vapor. Primeiramente a turbina à gás, movida pela queima de gás natural ou óleo diesel, é diretamente ligada a um gerador; em seguida, os gases de escape deste processo, devido à alta temperatura, causam a transformação da água em vapor acionando a turbina a vapor, nas mesmas condições descritas no processo de operação de uma termelétrica convencional.

Este sistema possui os princípios da cogeração, a energia térmica rejeitada por uma geração eletromecânica é reaproveitada em outra atividade. O mais comum é a combinação das duas tecnologias vistas anteriormente, o ciclo Brayton e o ciclo Rankine, nesta ordem, onde os gases de exaustão da turbina a gás, com temperaturas entre 450 e 550°C, são direcionados a uma caldeira de recuperação para ser utilizado no ciclo a vapor, aumentando o rendimento elétrico total de 30%, quando operam separados, para 60%, operando em conjunto.

Considerando a baixa temperatura utilizada na maioria dos processos industriais, a cogeração em ciclos combinados, em geral, não recupera calor dos gases de exaustão da turbina a gás, mas sim mediante extrações intermediárias da turbina a vapor, bem como no calor rejeitado pela mesma no condensador, o restante vapor originado na caldeira, juntamente com o vapor residual usado para acionar a segunda turbina é conduzido de forma a ser utilizado como vapor de processo. O resultado disso são sistemas de cogeração com eficiências totais que podem chegar a valores de 85%. Como mostra a Figura 10.



Figura 10: Distribuição energética da Cogeração em Ciclo Combinado.

Fonte: BRANDÃO, Sérgio da Silva. Produção e Planejamento de Energia Elétrica, 2004.

Universidade de Coimbra. Editado.

Este tipo de sistema possui uma grande flexibilidade em relação ao tipo de energia a ser gerado, seja térmica ou elétrica, variando de acordo com o tipo da carga consumidora.

Podendo ser aplicado em uma demanda elétrica superior a demanda térmica. Existem modelos deste sistema que podem operar desde a produção máxima de energia eletromecânica sem extração de vapor para uso no processo industrial, até à produção máxima de vapor para processo sem a produção de energia eletromecânica. Ainda, pode ser utilizada diretamente acoplada a motores elétricos ao invés de geradores.

A forma mais eficiente e limpa de gerar energia elétrica com bagaço é através de tecnologias modernas, como a Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC). O processo gaseifica o bagaço e o gás produzido alimenta a câmara de combustão de uma turbina a gás. Esta tecnologia possibilita o aproveitamento integral da cana-de-açúcar.

Vantagens:

- Elevada eficiência;
- Grande flexibilidade na quantidade de energia térmica produzida;
- Redução custos globais de operação;

Desvantagens:

- Sistema global sujeito a um somatório das desvantagens dos dois sistemas em separado (Cogeração com Turbina a Gás e a Vapor);
- Maior complexidade do sistema global;

5.4. Caldeiras

As caldeiras são equipamentos utilizados na geração de vapor, uma máquina térmica com a função principal de transformar água em vapor água com a queima de qualquer combustível, como o bagaço da cana-de-açúcar. Utilizadas em processos industriais que demandem altas temperaturas, em indústrias químicas e petroquímicas e em outros diversos ramos industriais.

A ebulição da água pode ocorrer pelos gases quentes do fogo que atravessavam os canos para esquentar a água no tanque e gerar vapor para utilização nos processos industriais, caldeira com tubo de fogo (Figura 11); ou de maneira invertida com a água correndo através do conjunto de tubos que é instalado na passagem dos gases quentes do fogo produzido, caldeiras tubulares de água (Figura 12).

As caldeiras convencionais de queima de combustíveis sólidos demandam vapor superaquecido, assim, exigem o modelo caldeira de tubos de água ou Aquatubular de maior rendimento, aproximadamente 90%, produzindo vapor a pressões e temperaturas elevadas.

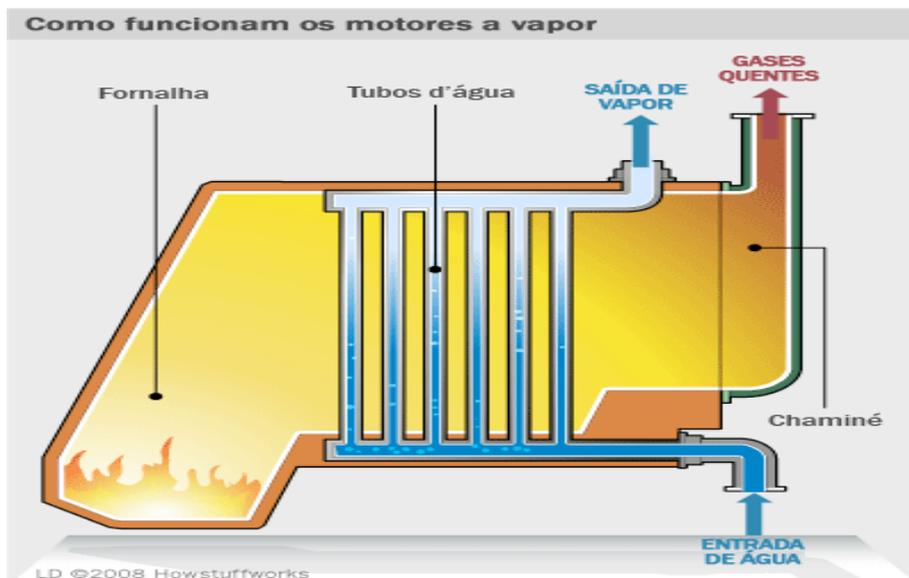


Figura 11: Funcionamento de uma caldeira Aquatubular.

Fonte: <https://okna-vega.ru/funcionamento-de-caldeira-a-vapor/>

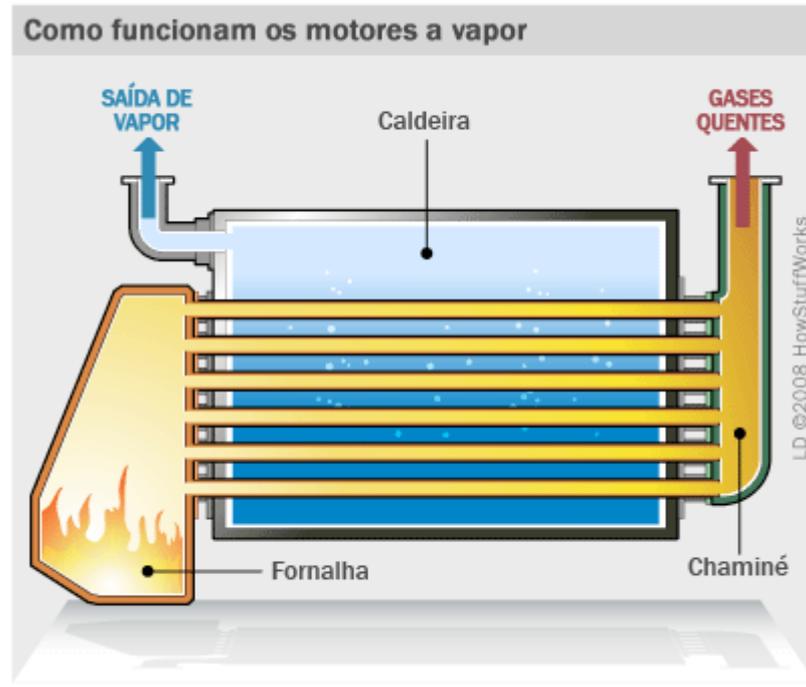


Figura 12: Funcionamento de uma caldeira fogotubular.

Fonte: https://www.solucoesindustriais.com.br/images/produtos/imagens_269/motores-a-vapor-caldeira-agif.gif

Vantagens:

- Exige pouca alvenaria;
- Resposta rápida ao aumento instantâneo de demanda térmica;
- baixa complexidade.

Desvantagens:

- Baixo rendimento térmico;
- Partida lenta devido à grande quantidade de água (no caso da fogotubular);
- Exige cuidado para evitar acidentes;
- Acidentes podem ser fatais;
- Emissor de gases agravantes do efeito estufa.

5.5. Motor alternativo de Combustão Interna

Os motores alternativos de Combustão Interna ou Motores alternativos Geradores são comumente utilizados no terceiro setor e nas pequenas indústrias, em sistemas de produção de energia de emergência e na cobertura de situações de

isolamento geográfico.

São usados na cogeração quando a demanda térmica é insignificante ou muito baixa e quando os consumos de energia sofrem variações durante o dia. Geralmente, instaladas em consumidores de até 10MW, porém, existem instalações que consomem mais de 20MW.

Esta tecnologia aproveita a energia térmica contida nos gases de exaustão e nos fluidos de refrigeração e lubrificação, como mostra a Figura 13.

Utilizam como combustível mais frequente o gás natural, mas também pode ser usado outros combustíveis, como o biogás a partir da liquefação da do bagaço cana.

Em relação aos motores que usam o ciclo Diesel, os combustíveis permitidos e mais utilizados abrangem uma grande variedade de combustíveis líquidos, desde os vários tipos de fuelóleo ao gasóleo e ainda misturas de combustíveis gasosos com líquidos em proporções que permitam a auto-ignição, denominados de dual fuel.

A eficiência global deste tipo de sistema chega aos 75%, com aproximadamente 30% da energia do combustível é diretamente convertida em energia mecânica e cerca de 45% em calor, aproveitada através dos métodos descritos a seguir:

A recuperação de calor dos óleos lubrificantes e do fluido de refrigeração dos turbo compressores, aproximadamente 70°C, é usado somente na produção de água quente para uso doméstico, em processos de lavagem e na alimentação de caldeiras. Já os gases de exaustão, com temperaturas próximas a 700°C, representam a segunda fonte mais importante para a recuperação de calor de um motor. O calor que seria desperdiçado pode ser aproveitado diretamente ou então ser recuperado numa caldeira para produção de vapor. No entanto com o aproveitamento do calor dos gases de escape não ser recomendável reduzir sua temperatura abaixo de 180°C para evitar que surjam alguns problemas no sistema, como: refluxo de condensados para o motor, a corrosão prematura de componentes do sistema de escape e a elevação da área da superfície de troca de calor, limitando a recuperação a aproximadamente 50% do disponível.

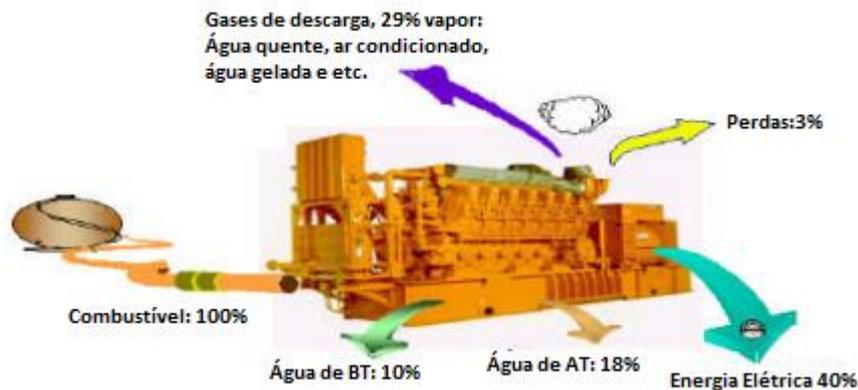


Figura 13: Esquema geral de funcionamento dum sistema de Cogeração com motor alternativo.

Fonte: BRANDÃO, Sérgio da Silva. Produção e Planeamento de Energia Eléctrica, 2004. Universidade de Coimbra. Editado.

Vantagens:

- Arranque rápido;
- Fácil adaptação a variações das necessidades térmicas;
- Elevada eficiência mecânica;
- Não necessita de vigilância constante.

Desvantagens:

- Tempo de vida útil curto;
- Baixo rendimento térmico;
- Custos de manutenção elevados (paragens frequentes).

5.6. Cogeração em Micro Sistemas

O mais comum é o uso de cogeração em indústrias pela forte demanda por calor e eletricidade e o elevado fator de utilização facilitam a sua viabilização, o que facilita suas aplicações. Um grande empecilho é a relação do porte da central de cogeração ser inversamente proporcional ao custo específico do investimento inicial da planta, ou seja, quanto menor o porte, maior o seu custo específico (R\$/kW instalado). Nas últimas décadas, o aumento do custo dos insumos energéticos – principalmente da energia elétrica, agregado ao avanço tecnológico que permitiu o equilíbrio dos custos de implantação em relação ao porte dos equipamentos (ausência de economia de escala), fizeram com que os sistemas de cogeração se tornassem viáveis para aplicações de pequeno porte, como pequenas indústrias,

prédios comerciais, hospitais, hotéis, shopping centers e até mesmo residências

Em geral, o combustível utilizado nos sistemas de cogeração de pequeno porte é o gás natural, dado o seu baixo custo e a reduzida emissão de poluentes, não necessitando investimentos em sistemas de tratamento para gases de exaustão. Os microssistemas de cogeração são disponibilizados em máquinas compactas que em alguns casos são agregadas em apenas um equipamento. As tecnologias utilizadas abrangem as microturbinas, as células a combustível e os motores alternativos (este com maior frequência).

Entretanto, a viabilização da cogeração de pequeno porte no Brasil esbarra numa grande barreira regulatória. Avaliando que o uso destes sistemas está associado a aplicações com baixo fator de utilização, como em residências – em que há grande demanda durante o horário de ponta e consumo reduzido no resto do período, o investimento na tecnologia de autoprodução não se justifica de maneira econômica. Caso a microcentral pudesse exportar à rede da concessionária o excedente produzido durante o período fora de ponta, certamente o investimento teria o merecido retorno econômico. E o beneficiário não seria somente o autoprodutor, mas também à concessionária, observando a redução da demanda de ponta e o conseqüente custo evitado de reforços e expansão do sistema de distribuição.

5.7. Microturbinas

Não há nenhuma norma para a definição de microturbina, porém a sua principal característica é o arranjo montado sob eixo único de um compressor radial simples com uma turbina radial e um gerador, com um recuperador utilizado para pré-aquecer o ar de combustão e aumentar a eficiência do sistema. O eixo do sistema atinge velocidades angulares elevadas, em torno de 45.000 a 100.000 rpm. A rotação elevada produz correntes alternadas de alta frequência, o que traz a necessidade do uso de um inversor para sua adequação ao uso (60 Hz). Outra solução consiste no uso de uma caixa de redução para adequação da rotação do gerador, menos utilizado que a anterior. As microturbinas possuem como característica baixos níveis de emissões de poluentes, podendo ser utilizadas sem a necessidade de tratamento dos gases de exaustão. Em geral são dimensionadas para operar com combustíveis gasosos (gás natural, biogás ou propano), mas

podem operar com alguns combustíveis líquidos leves, porém com níveis de emissões mais elevados. O porte destes sistemas pode variar entre 30 e 250 kW, com razão entre eletricidade/ calor em torno de 0,5 a 0,3 e temperatura de exaustão da ordem de 300 °C. Alguns modelos de microturbinas utilizam tecnologia de mancal lubrificado a ar, e também sistema de resfriamento a ar, eliminando a necessidade da utilização de fluidos lubrificantes e refrigerantes. Esta tecnologia se preza de alta taxa de disponibilidade e custos de manutenção reduzidos, comparando-se aos motores alternativos de mesmo porte.

5.8. Inserção da Cogeração ao Sistema Interligado

Na geração de energia elétrica por meio de processos termodinâmicos é usado uma máquina síncrona instalada para trabalhar como um gerador de potência. Os geradores síncronos são os principais responsáveis por gerar eletricidade, estão presentes nas hidrelétricas, termelétricas e entre outras.

Uma máquina síncrona é uma máquina de corrente alternada na qual a frequência da tensão induzida e a velocidade possuem uma relação constante. A sua velocidade de rotação é por esse motivo designada a velocidade de sincronismo e é dada por $n = f \times p / 60$ (rpm), em que f é a frequência e p o número de pares de pólos.

De forma bem sintética, é equipamento composto por um estator, bobinas elétricas, e um rotor, núcleo elétrico. Ao girar o rotor, ocorrerá uma variação do campo magnético e consequentemente a geração de eletricidade.

O gerador deve ter capacidade de produzir uma tensão elétrica com frequência de 60 ciclos ou Hertz, pois esta é a configuração de frequência adotada em todo sistema elétrico do Brasil.

O sistema elétrico de potência, que possui o objetivo de fornecimento de energia, é dividido em três partes: geração, transmissão e distribuição. Todo o sistema, desde a geração até as cargas, deve estar equalizado em níveis de tensão e frequência, assim, manté-se níveis pré-estabelecidos ao longo da rede.

O sistema interligado Nacional – SIN é formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região norte. Um sistema de

grande porte em que apenas 3,4% da capacidade de produção de eletricidade do país não está ligado a ele, por ser quase todo interligado o equilíbrio deve ser mantido, pois falhas em áreas deste sistema podem acabar prejudicando todo o sistema.

A tensão da unidade cogeneradora deve ser compatível aos padrões nacionais de transmissão, que variam de acordo com cada região: 13,8 kV, 34,5 kV, 69 kV ou 138 kV, dependendo de cada região.

A cogeração a partir do bagaço da cana é comumente realizada a 13,8 kV, devido a característica da maioria dos geradores utilizados. Porém, a distribuição não ocorrerá necessariamente neste valor, devido a perdas.

No setor sucroalcooleiro paulista, na maioria das usinas com plantas de cogeração a quantidade de energia excedente ultrapassa 5 MW, o transporte de grandes quantidades de energia em 13,8 kV, acima desta potência e a uma certa distância, como por volta de 15 quilômetros, acarreta em perdas de 30% a 40% do montante total de energia gerado.

O transporte de energia em tensões mais elevadas, como é o caso de 69kV ou 138 kV, permitem o transporte de grandes quantidades de energia, a partir de 5 MW a longas distâncias, com baixas perdas de aproximadamente 1% a 2% do montante de energia disponibilizado na rede de distribuição. Portanto, utilizar uma tensão de 13,8 kV só é viável para potências até 5MW e distâncias pequenas, em torno de um quilômetro. A planta cogeneradora deverá ter uma subestação elevadora de 13,8 kV até 69 ou 138 kV.

Para se ter uma interligação confiável e satisfatória entre a concessionária e o empreendimento deve-se possuir um projeto e estudo especial sobre perfil de tensão, perdas, proteção, excitação e regulação dos geradores, manutenção e geração de harmônicos. Isso tudo para ter uma geração segura e evitar acionamentos das proteções. Os reguladores de tensão e velocidade necessitam de uma atenção especial, pois controlarão os parâmetros de frequência e tensão. A frequência de rotação das máquinas precisa gerar energia elétrica com características técnicas aceitáveis, dentro da faixa de frequência padrão, pois o gerador foi projetado para ter um rendimento ótimo em determinada rotação, e os componentes envolvidos foram calculados para suportar os esforços desta rotação.

Basicamente, os reguladores de velocidade servem para manter a frequência e para controlar a potência gerada. Os reguladores de tensão têm a

função principal de manter a tensão nos terminais da máquina dentro dos limites aceitáveis em torno do valor ideal.

Para cada conexão de distribuição da energia elétrica de uma planta cogeneradora, é necessário um estudo específico para a realização da interligação, não sendo possível adotar uma solução única devido ao fato dos diferentes tipos de equipamentos aplicados. Deve-se analisar curto-circuito, estudo de fluxo de potência, análise de proteções e seletividade, etc. originando dados suficientes para um aprofundamento no assunto.

6. Usina Hidroelétrica.

A usina hidroelétrica usa o potencial da água de um rio para a geração de energia elétrica. Este potencial é fornecido pelos desníveis do rio, seja esse desnível conseguido por meio de uma barragem ou pelo desvio do rio de seu leito natural.

As partes que fazem parte da usina hidroelétrica são: barragem, sistema de captação da água, casa de força e sistema de restituição da água ao rio.

6.1. Como Funciona a Hidroelétrica.

A água do lago chega até a casa de força por meio do sistema de captação, passa pela turbina e é devolvida ao rio. A turbina hidráulica é a responsável por usar a potência hidráulica e transformar em potência mecânica, por estar acoplada ao gerador faz com ele também gire, transformando a potência mecânica em potência elétrica. A energia elétrica gerada é transmitida até o transformador elevador, que adequa a tensão aos sistemas de transmissão. É levada então aos transformadores abaixadores e depois aos consumidores

6.2. Potencial Hidroelétrico.

As dimensões geográficas e disponibilidade hídrica do Brasil favorecem o uso de usinas hidrelétricas, por isso há tanto investimento em sua implantação.

Atualmente a hidroeletricidade é a base do suprimento energético do Brasil. Produzido por usinas de grande porte, representa cerca de 70% do potencial energético do país.

6.3. Influência do clima na geração hidroelétrica

Um dos maiores problemas encontrados no grande uso da energia hídrica no Brasil é o fato de esta ser totalmente dependente do regime de chuvas, que abastecem os reservatórios e permitem a vazão necessária para o funcionamento ideal das usinas. Isso indica que, em períodos de chuva, quando há um aumento significativo no volume da água, a usina consegue trabalhar próxima de sua capacidade máxima. O contrário também acontece, em períodos de estiagem, com baixo índice de chuvas, há uma redução na produção de energia elétrica. A figura 14 indica a produção de energia em relação ao índice pluviométrico.



Figura 14: Produção de energia em relação ao índice pluviométrico. (Referência bacia do Paraná, rio Grande, região onde está instalada a UHE Funil)

Fonte : <http://aliancaenergia.com.br/br/influencia-das-chuvas-na-geracao-de-energia-eletrica/>

De acordo com um balanço energético feito pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2013 as hidrelétricas geraram quase 25 TWh a menos do que em 2012, devido à falta de chuvas. 1 TWh é, mais ou menos, o suficiente para abastecer uma cidade de pequeno a médio porte. Então, é como se 25 cidades deixassem de ser atendidas por este tipo de energia.

Quando isso ocorre, para suprir a necessidade de energia, fontes geradoras alternativas são acionadas, no caso do Brasil, as termelétricas convencionais com combustíveis de origem fóssil. Nos últimos anos, todos nos deparamos com a bandeira tarifária amarela e vermelha na conta de luz, isso acontece porque a energia termelétrica é mais cara comparada a hidroelétrica.

Com isso em mente analisaremos se é possível substituir o uso das termelétricas em períodos de estiagem pela cogeração de energia pelo bagaço-da-cana.

7. Cogeração a base de cana X Termelétrica convencional

7.1. Termelétrica

7.1.1. Impacto Ambiental

As usinas termelétricas além de utilizarem com combustíveis fósseis, possui outros impactos negativos, como a formação de cinzas e outros resíduos voláteis da combustão que se não forem recuperados são fontes de poluição do ar.

Este tipo de geração operam com um ciclo fechado em que a água é utilizada como vapor e depois retorna para seu estado líquido, o processo de resfriamento pode envolver um rio ou um mar, parte do calor extraído é lançado em um deles, isto depende se a usina está instalada próxima de um ou outro. O calor despejado nessas águas altera a fauna e a flora aquática, afeta a reprodução e sobrevivência das espécies locais.

O maior impacto ambiental é a emissão de gases, na sua maioria

agravadores do efeito estufa, mostrado na Figura 15.

São gerados óxidos e dióxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, monóxido e dióxido de carbono, hidrocarbonetos, dióxido de carbono, gás carbônico, óxidos de nitrogênio que formarão o ozônio, monóxido de carbono e carbono puro. O ozônio a nível terrestre é muito prejudicial a saúde respiratória.

O uso do carvão é o mais utilizado e o mais agressivo em relação que o gás natural, porém, o gás natural não é produzido no país e é importado de países instáveis.



Figura 15: Emissão de gases na atmosfera pela Termelétrica convencional.

Fonte. CONFEA (Conselho Federal de Engenharia e Agronomia)

<http://www.confea.org.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infol=8266&sid=10>

7.1.2. Impacto Social

Os impactos sociais referentes as usinas termelétricas são a queda brusca na qualidade do ar e o aumento de doenças respiratórias para os moradores nas regiões próximas ao empreendimento.

A energia proveniente dessas usinas é mais cara, em relação a hidrelétrica, quando usadas geram um impacto econômico-social.

7.2. Cogeração

7.2.1. Impacto Ambiental

Em questão ambiental, na cogeração de energia ocorre a emissão de gases

como nitrogênio, um dos responsáveis pela chuva ácida, afeta as vias respiratórias e na presença da luz solar forma o ozônio troposférico. Em nível do solo o ozônio é um poluente prejudicial à saúde humana, atacando os olhos e as mucosas do sistema respiratório. O regime de chuvas da região da usina também é afetado devido ao vapor despejado no ambiente.

Porém, o sistema baseado na cogeração emite muito menos em relação ao convencional, Figura 16.



Figura 16: Emissão de gases na atmosfera pela cogeração.

Fonte. CONFEA (Conselho Federal de Engenharia e Agronomia)

<http://www.confea.org.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=8266&sid=10>

A Tabela 2 mostra que a substituição de usinas termelétricas a carvão e a gás natural por usinas a base do bagaço da cana evita emissões de poluentes.

Tecnologia de Cogeração com Bagaço de Cana	Emissões Evitadas			
	Emissões de carbono (ton/ton.CANA)	Emissões de Monóxido de Carbono CO (Kg/ton.CANA)	Emissões de Metano CH ₄ (Kg/ton.CANA)	Emissões de Compostos Nitrogenados NO _x (kg/ton.CANA)
Usina Termoelétrica a Gás Natural				
CEST	47,5	94,6	16,6	183,5
BIGSTIG	184,3	367,4	64,4	712,4
Usina Termoelétrica a Carvão				
CEST	75,0	255,2	2,1	555,8
BIGSTIG	290,9	990,7	8,2	2.157,5

Tabela 2: Emissões Evitadas de Poluentes de acordo com a Tecnologia Utilizada

Fonte: Análises de Opções Tecnológicas para Projetos de Co-geração no Setor Sucro-Alcooleiro

7.2.2. Impacto Social

O modo como a cana-de-açúcar é cultivada é baseado na monocultura, criticada por alguns movimentos sociais por reconfigurar a geografia local e modificar o hábito da agricultura familiar, causando desigualdades no campo. A mesma ocupa o terceiro lugar em relação a área plantada, atrás somente do milho e da soja.

7.3. Relação de custo-benefício

O uso de usinas termelétricas ocorre por poder ser construída mais rapidamente e ser mais barata do que uma usina hidrelétrica, permite ser instalada em regiões habitadas sem causar problemas e assim diminuir os gastos com a transmissão da energia.

A maior parte da geração de energia em território nacional é proveniente de usinas hidrelétricas, em torno de 70% da energia total gerada, segundo dados do final de 2017 do Ministério de Minas e Energia. As usinas termelétricas atuam somente se existir demanda de energia elétrica, na maioria dos casos, isso ocorre quando existir escassez hidrográfica. Mesmo que o seu combustível possua um custo mais caro, só é utilizado quando as turbinas térmicas forem acionadas. Porém, no Brasil as termoelétricas geram gastos mesmo em períodos onde não são usadas, devido as dívidas provenientes dos investimentos na época de suas construções.

Como já foi visto, o modelo convencional destas usinas térmicas é mais agressivo ao meio ambiente se forem comparadas ao método de cogeração, ainda mais se o combustível usado for o carvão, o que ocorre na maioria dos casos. Embora a tendência seja implantar o uso de gás natural por total, devido as pressões dos órgãos ambientais, o método cogrador possui vantagem por utilizar biomassa.

O valor do quilowatt-hora entre os dois métodos varia muito de uma região para outra, é difícil ter um valor exato do quanto custaria a energia em cada método.

Segundo a EPE(Empresa de Pesquisa Energética), com seu Plano Decenal de Expansão 2007 - 2016 , o kwh com o carvão como combustível foi de R\$ 0,087 e utilizando o gás natural foi de R\$ 0,107.

Ainda, pode ser feito uma estimativa com valores utilizados na cidade de São Paulo, com o valor da bandeira vermelha, quando as termelétricas são mais utilizadas.

O preço passado pela AES Eletropaulo do kwh em São Paulo, sem tributos e outros elementos, segundo dados atualizados em 22/11/2018 pela ANEEL é de R\$ 0,484 em bandeira verde, com a bandeira vermelha ocorre um acréscimo de R\$ 0,055 a cada kwh. Ou seja, é cobrado pela concessionária um valor de R\$ 0,539 por kwh quando ocorre um período de estiagem e as termelétricas são mais utilizadas.

Em contrapartida, o preço do quilowatt-hora na cogeração à partir do bagaço, segundo dados do Ministério da Agricultura sobre a safra de 2009-2010, foi de R\$ 0,14 por kwh, sem o custo da transmissão.

Não se sabe ao certo o valor da energia elétrica gerado em uma termelétrica, porém quando elas são mais utilizadas, o valor do kwh é maior que o de uma unidade cogeneradora. Também não é possível fazer a relação de cobrança entre o kwh se for fornecido juntamente pela geração hidrelétrica e cogeneradora, mas há possibilidade de ser competitivo ou até mais em conta que preço repassado ao consumidor em épocas de bandeira vermelha. A competitividade é permitida principalmente se for entre cogeração do bagaço e termelétrica movida a gás.

8. Aspectos Econômicos do Setor Sucroalcooleiro

No quesito da cogeração, o setor sucroalcooleiro possui grandes vantagens em relação as outras indústrias que utilizam este método. Além de poder ser considerado como auto-suficiente em termos de geração de energia elétrica para consumo próprio, uma vez que a grande maioria das usinas de açúcar e álcool produz a eletricidade que é consumida nos seus processos, também possui o potencial de gerar excedentes de energia.

Este setor possui uma grande quantidade de resíduos que seriam descartados, mas são úteis na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de cogeração.

8.1. Projeções futuras para cogeração de energia em São Paulo

A época de secas ocorre justamente no período em que as usinas de São Paulo estão moendo a cana para produzir açúcar e álcool, assim, este período seria aproveitado para produzir energia proveniente do bagaço da cana e utilizado para substituir a energia da geração termelétrica.

Segundo estimativas da Revista Nova Cana, o maior veículo de comunicação do setor sucroenergético do Brasil, a eletricidade excedente gerada em KWh por tonelada de cana é de 87,8. E de acordo com a Conab (Companhia Nacional de Abastecimento) a estimativa de produção de cana para a safra de 2018/19 é de 635,51 milhões de toneladas, e para São Paulo 341,37 milhões de toneladas.

Com estes dados, obtemos uma projeção de cogeração de energia elétrica.

A tabela 3 indica a geração média por hora das indústrias sucroalcooleiras do Brasil nas safras de 2009-2010. Nesta época, o excedente de eletricidade era de 40KWh/t de cana, situação comum no setor sucroalcooleiro brasileiro.

ESTADO/REGIÃO	GERAÇÃO MÉDIA POR HORA PELAS UNIDADES DO ESTADO NO PERÍODO DA SAFRA (MWH)	AUTOCONSUMO MÉDIO POR HORA PELAS UNIDADES DO ESTADO NO PERÍODO DA SAFRA (MWH)	VENDA MÉDIA POR HORA PELAS UNIDADES DO ESTADO NO PERÍODO DA SAFRA (MWH)
SP	32	14	18
PR	24,8	10,4	14,4
MG	20,1	9,5	10,6
GO	28,6	11,5	17,1
MS	20,9	9,8	11,2
MT	22,7	13,5	9,2
RJ	-	-	-
ES	5,8	3,9	1,9
MÉDIA DA REGIÃO CENTRO-SUL	28,7	12,7	16
AL	12,1	7,9	4,3
PE	11,3	6,2	5
PB	15,5	7,5	8,1
RN	10,9	7,3	3,6
BA	8,6	5,4	3,3
SE	3,2	1,4	1,8
MA, PI, CE	6,6	5,6	1
AM, TO, PA	5,6	2,5	3,1
MÉDIA DA REGIÃO NORTE-NORDESTE	10,3	6,3	4
BRASIL	25,1	11,4	13,6

Tabela 3: Destinação da energia gerada por hora no período da safra.

Fonte: A Geração Termoelétrica com a Queima do Bagaço da Cana-de-Açúcar no Brasil – CONAB

A tabela mostra que o estado de São Paulo teve uma produção excedente de 18MWh, neste período, o total de cana moída foi de 192,9 milhões de toneladas.

Ante o excedente de 40KWh/t cana, novas perspectivas para a produção nas destilarias sem planta de hidrólise sugerem que a eletricidade excedente seja 87,8KWh/t cana. Partindo desse ponto, podemos estimar para São Paulo, mediante estimativa da CONAB de 341,37 milhões de toneladas de cana para a safra de 2018/19, uma produção excedente de energia de 29,97 MWh.

8.2. Barreiras na Comercialização de Energia

Em relação à comercialização da energia, as principais barreiras são:

- Falta de garantia de compra da energia gerada em contratos de longo prazo;
- Preço não competitivo sendo oferecido pelas concessionárias para contratos de curto ou longo prazo, o preço oferecido não viabiliza a venda de excedentes;
- Necessidade de pagamento da tarifa de transmissão, ao contrário do que ocorre com a energia de (Pequenas Centrais Hidrelétricas) PCH's (isenção de até 100%);
- Dificuldades de interligação com a rede de transmissão local. Apesar de não existirem dificuldades técnicas reais, é necessária a definição de regras claras que viabilizem a solução deste problema.

8.3. Financiamento

O financiamento de projetos de cogeração de energia já foi mais difícil, principalmente por parte do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Social) que exigia garantias desnecessárias e em alguns casos a taxa de juros utilizadas não viabilizam as opções tecnológicas mais eficientes.

Porém, o cenário está mudando devido a corrida por saídas para o suprimento de energia elétrica no país, aprovações de empréstimo relacionadas a esta área se tornaram mais flexíveis e o financiamento a empreendimentos de cogeração energética a partir do bagaço da cana-de açúcar está em linha com as

expectativas positivas de crescimento da demanda por fontes de energias renováveis no Brasil e no mundo.

O exemplo disso foi a aprovação pelo BNDS, em 2 de outubro de 2018, de um aporte financeiro de R\$ 63 milhões para a ampliação da capacidade de cogeração de energia elétrica da Pitangueiras Açúcar e Álcool Ltda, usina localizada no município de Pitangueiras (SP), a 60 km de Ribeirão Preto. O objetivo é ampliar em 180% a energia gerada, produzindo o suficiente para suprir anualmente 44 mil residências.

8.4. Barreiras Políticas

Não há interesses por grande parte das concessionárias em comprar eletricidade de auto-produtores, produtores independentes de energia e cogeradores, principalmente em contratos de longo prazo. Ainda, existem as exigências técnicas para regularização das unidades de cogeração e para interligação e venda de excedentes, bem como as dificuldades burocráticas impostas pela legislação, em particular para venda de eletricidade a terceiros. As usinas que poderiam gerar excedentes, ou aumentar sua geração, optam por não assumir maiores responsabilidades.

8.5. Vantagens da Cogeração para a Usina Sucroalcooleira

Para um empresário do ramo sucroalcooleiro, a cogeração de energia diminui os custos com eletricidade e energia térmica, ao invés de comprar a energia vinda concessionária, só precisa arcar com os custos de manutenção dos equipamentos; O combustível a ser utilizado já está disponível dentro das suas unidades; Diminuição de resíduos a serem descartados e os gastos com isso; Incentivos fiscais ambientais por parte do governo; e a energia excedente pode ser comercializada aumentando a receita da empresa em uma média de 6%.

9. Conclusão

O método de cogeração de energia, utilizado pelas usinas sucroalcooleiras a partir do bagaço da cana é uma alternativa mais limpa e sustentável, em relação as termelétricas, para suprir essa deficiência energética. Ele realiza um melhor aproveitamento do combustível no processo termodinâmico de geração elétrica, no método convencional cerca de 35% do poder dele é transformado em energia, mas no seu caso o aproveitamento da energia do combustível fica entre 80 e 90%. O método ciclo combinado apresenta ser o mais viável, pois aproveita ainda mais o combustível aumentando o rendimento elétrico de 30%, do ciclo Rankine e Brayton operando separados, para 60%, operando em conjunto.

O bagaço da cana é perfeito para esta atividade porque em termos energéticos equivale a 49,5% do total da cana, além disso, o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo e São Paulo é o estado responsável por cerca de 60% da produção. Conseqüentemente, a maioria das usinas sucroalcooleiras e suas unidades cogedoras estão nesta região, facilitando as questões relacionadas a transmissão de energia para as cidades do estado.

As usinas sucroalcooleiras de São Paulo produzem, em média, um excedente de 18MWH, com um total de cana moída de 192,9 milhões de toneladas. A expectativa para próxima safra (2018/2019) é de 29,97 MWh com 341,37 milhões de

toneladas de cana disponível. Apenas 175 das 375 indústrias sucroenergéticas exportam os excedentes produzidos de energia elétrica, para o aproveitamento total do excedente todas as usinas de açúcar e álcool devem exportar o mesmo.

A quantidade de excedente não supriria totalmente a deficiência energética das hidrelétricas no período da seca, cerca de 25 TWH a menos. Porém, quanto mais for usada a cogeração, menor será a agressão ao meio ambiente. Com esse maior uso também pode ocorrer uma economia, com os valores encontrados é possível uma estimativa em que o kwh cogerao é competitivo com o termelétrico, principalmente o proveniente do gás natural. Para a concessionária, será muito interessante se for mais barato.

Para o dono do empreendimento existem muitas vantagens, como: a auto-suficiência energética, o aumento da receita em torno de 6%, a diminuição do gasto com resíduos orgânicos e menor risco de multa ambiental. As desvantagens são relacionadas a questões burocráticas e legislativas, o financiamento para este setor está se tornando mais fácil devido as políticas sustentáveis e de energia renovável e a questão da instalação de subestação elevadora para conseguir transmitir uma tensão em nível adequado. Não foi encontrado valores relacionados ao investimento de uma planta cogerao e sua vida útil.

Para a expansão da cogeração é necessário incentivo do governo, fiscal, burocrático e até programas de financiamento, e assim, conseguir chegar a um nível próximo ou total do necessário para substituir as usinas termelétricas.

Para estudos futuros, podem ser realizados estudos econômicos sobre plantas cogerao; projetos técnicos sobre como gerar e transmitir um fluxo contínuo e equilibrado; implantação de cogeração nas usinas termelétricas, ou mesmo a utilização do bagaço da cana como combustível; ou seja, encontrar maneiras de interligar as cogerao de forma contínua ao sistema interligado nacional.

10. Bibliografia

a) Livros:

SILVA, Vinícius Oliveira da. **“Análise Energética e Exergética do Sistema de Cogeração de uma Usina Sucroalcooleira”**, 2011. Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica. UNESP

BARJA, Gabriel de Jesus Azevedo. **A Cogeração e sua inserção ao sistema elétrico**. Brasília. Tese de Mestrado em Ciências Mecânicas. Universidade de Brasília. 2006.

BRIGHENTI, Claudia Rodrigues Faria. **Integração do Cogrador de Energia do Setor Sucroalcooleiro com o Sistema Elétrico**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Escola Politécnica. 2003.

INSTITUTO EUVALDO LODI E OUTROS. **O Novo Ciclo da Cana**. São Paulo: Editora Sebrae. ISBN 85.8725.718.8. 2005.

LORA, Edito Eduardo Silva e Nascimento, Marco Antonio Rosa do. **Geração Termelétrica – Planejamento, Projeto e Operação**. Editora Interciência.1998.

MEDEIROS, Giuliano Sávio. **Geração de energia através do uso de micro turbinas com a utilização do Bagaço da cana**. Belo Horizonte. Trabalho de Conclusão de Curso. PUC-MG. 2006.

PAULA, Cláudio Paiva de. **Geração Distribuída e Cogeração no Sistema Elétrico**. São Paulo. Tese Doutorado em Energia. Universidade de São Paulo. 2004

REIS, Lineu Bélico dos. **Geração de Energia Elétrica**. São Paulo: Editora Manole. ISBN 85.2041.536.9. 2003.

ROSILLO-CALLE, Frank e outros. **Uso da Biomassa para Produção de Energia na Indústria Brasileira**. Campinas: UNICAMP. ISBN 85.2680.685.8. 2005.

TOLMASQUIM, Maurício Tiomno. **Geração de Energia Elétrica no Brasil**. São Paulo: Editora [Interciência](#). ISBN 85.7193.125.9. 2005.

VASCONCELLOS, Gilberto F. **Biomassa - A Eterna Energia do Futuro**. São Paulo: Editora SENAC. ISBN 85.7359.236.2. 2002.

BRANDÃO, Sérgio da Silva. **Produção e Planejamento de Energia Elétrica**, 2004. Universidade de Coimbra. Editado.

PESSINE, Roberto T. **Cogeração: Impactos positivos e adversos no meio ambiente**. USP. 2008

b) Sites de Internet:

EMBRAPA.

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_33_711200516717.html

10/08/2018. 15:25h

Canal Bioenergia

<http://www.canalbioenergia.com.br/qual-o-melhor-espacamento-no-plantio-da-cana-de-acucar/>

10/08/2018. 19:30h

Nova Cana

<https://www.novacana.com/cana/colheita-da-cana-producao-acucar-etanol>

12/08/2018. 17:00h

<https://www.novacana.com/usina/cogeracao-como-funciona-producao-energia-eletrica>

15/10/2018. 19:00h

<https://www.novacana.com/cana/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo>

17/08/2018. 14:50h

<https://www.novacana.com/usina/geracao-energia-aumento-producao-etanol>

18/08/2018. 16:20h

<https://www.novacana.com/estudos/projecoes-producao-cana-acucar-etanol-safra-2023-2024-fiesp-mb-agro>

15/09/2018. 16:40h

Beef Point

<https://www.beefpoint.com.br/como-definir-o-ponto-de-colheita-da-cana-de-acucar-67828/>

13/08/2018. 15:30h

Secretaria de Energia e Mineração

<http://www.energia.sp.gov.br/energias-renovaveis/bioenergia/biomassa/potencial-da-biomassa-no-estado/>

15/08/2018. 19:25h

Revista Abril

<https://super.abril.com.br/mundo-estranho/como-e-produzido-o-etanol/>

17/08/2018. 16:30h

Ministério de Minas e Energia

http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/biomassa-e-a-segunda-maior-fonte-de-energia-em-2016

20/08/2018. 16:10h

Instituto Nacional de Eficiência Energética

http://www.inee.org.br/forum_co_geracao.asp

20/08/2018. 20:40h

http://www.inee.org.br/forum_co_geracao.asp

10/10/18, 23:00h

Compre Rural

<https://www.comprerural.com/brasil-maior-produtor-de-cana-de-acucar-do-mundo-seguido-pela-india/>

20/08/2018. 22:20h

Eco Debate

<https://www.ecodebate.com.br/2014/11/13/sobre-os-impactos-de-usinas-termelétricas-artigo-de-roberto-naime/>

20/08/2018. 19:20h

RE Engenharia

<http://www.rwengenharia.eng.br/como-funciona-uma-caldeira/>

10/10/2018. 20:20h

Revista Tecmundo

<https://www.tecmundo.com.br/aviao/33110-como-funciona-um-motor-com-turbina-a-gas-de-um-aviao-infografico-.htm>

28/10/2018. 20:50h

ANEEL

http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/gas_natural/9_3.htm

28/10/2018. 23:25h

<http://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas#back-top>

08/11/2018. 16:00h

http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8415&id_area=90

08/11/2018. 18:30h

Empresa de Pesquisa Energética

<http://epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/petroleo-gas-e-biocombustiveis/consumo-de-g%C3%A1s-natural>

29/10/2018. 16:30h

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-termoeletrica-com-a-queima-do-bagaco-de-cana-de-acucar/termoeletrica-com-a-queima-do-bagaco-de-cana-de-acucar-no-brasil-safra-2009-2010.pdf>

10/09/2018. 15:00h

<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-termoeletrica-com-a-queima-do-bagaco-de-cana-de-acucar/termoeletrica-com-a-queima-do-bagaco-de-cana-de-acucar-no-brasil-safra-2009-2010.pdf>

10/11/2018. 21:20h

Revista Época

<https://epoca.globo.com/colunas-e-blogs/blog-do-planeta/noticia/2015/02/por-que-falta-daqua-pode-nos-deixar-sem-luz-be-vice-versab.html>

11/10/2018. 18:50h

Jornal G1

<http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2011/03/entenda-como-geracao-de-energia-eletrica-afeta-o-meio-ambiente.html>

10/11/2018. 14:15h

CONFEA (Conselho Federal de Engenharia e Agronomia)

<http://www.confea.org.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=8266&sid=10>

12/11/2018. 22:30h

Banco Nacional do Desenvolvimento Social

<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-aprova-r63-milhoes-para-geracao-de-energia-com-bagaco-de-cana>

20/11/2018. 22:50h