

**REDE DOCTUM DE ENSINO  
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA ATRAVÉS DE UM SISTEMA DE  
COGERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DO BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR NA  
USINA X**

**WALLISON DOMINGOS GOMES**

**Trabalho de Conclusão de Curso**

**Caratinga/MG**

**2017**

**WALLISON DOMINGOS GOMES**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA ATRAVÉS DE UM SISTEMA DE  
COGERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DO BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR NA  
USINA X**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Elétrica das Faculdades Doctum de Caratinga como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.  
Professor Orientador: Vinícius Murilo .

**Caratinga/MG**

**2017**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA ATRAVÉS DE UM SISTEMA DE COGERAÇÃO NA USINA X, elaborado pelo(s) aluno(s) WALLISON DOMINGOS GOMES foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA ELÉTRICA das FACULDADES DOCTUM CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

**BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.**

Caratinga 13 de Dezembro de 2017



Vinicius Murilo

Prof. Orientador



Daniel Mageste

Prof. Avaliador 1



José Eugenio

Prof. Examinador 2

*À Deus por todas as bênçãos desta vida, a minha mãe Maria Aparecida, minha irmã Sarah Barbosa, meu irmão Wellington Domingos Gomes que sempre foi um espelho para mim, e a minha namorada Thauanny Alves, dedico também para os meus colegas de sala que sempre me ajudaram nessa caminhada de 5 anos, são eles Natanael Lopes, Matheus Miranda, Werick Maciel, Rodrigo Lopes, Luã Martins, Ítalo César e Natan Aniceto, sou muito grato a vocês.*

## **AGRADECIMENTOS**

Sou grato a DEUS por ter me concedido essa vitória, esse grande sonho de se conquistar o ensino superior, agradeço a minha família por acreditar em mim, em especial minha mãe Maria Aparecida, meu irmão Wellington Domingos, minha irmã Sarah Barbosa, minha namorada Thauanny Alves, a todos os meus colegas de sala e todos os professores do curso de Engenharia Elétrica pelos ensinamentos que eu vou guardar e usar para o resto da vida, sou muito grato a todos vocês.

*“A vida é feita de escolhas. Hoje você faz suas escolhas, e amanhã suas escolhas fazem você.*

**(NELSON JUNIOR)**

DOMINGOS GOMES, Wallison. **Análise de Viabilidade Econômica Através de um Sistema de Cogeração na Usina X**. Caratinga, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Doctum de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2017.

## RESUMO

O presente trabalho visa avaliar a cogeração de energia do setor sucroalcooleiro como uma alternativa para complementar à matriz energética brasileira. Considerando o estudo de caso na Usina X é possível observar as principais vantagens no investimento de equipamentos mais potentes para cogeração de energia, capazes não apenas de suprir a necessidade energética da própria instalação, mas também visando a venda do excedente de energia. A demanda da Usina X vem sofrendo algumas dificuldades em termos de potência para os equipamentos, devido a grandes investimentos de equipamentos mais novos e eficientes ao longo dos anos. O estudo foi elaborado para suprir esse déficit de potência para uma aquisição de um novo turbogerador de 5MW ou 6250 KVA, além de suprir a indústria, e ainda com planos futuros para venda do excedente de energia. Com a crise de água e consequente crise na energia brasileira, vários estudos começam a surgir para uma geração de energia sustentável. Considera-se que essa geração a partir da indústria sucroalcooleira é uma alternativa disponível, que necessita de investimentos. O estudo mostra que se considerado um valor fixo de R\$25,00 para o bagaço, o ponto de equilíbrio ocorre quando a energia atingir R\$192,00, sendo este um preço considerado abaixo do mercado atual então em um cenário menos propício para venda de energia, ainda será possível a venda do bagaço, cujo mercado está em alta, sendo a indústria capaz de alternar a direção que o bagaço excedente deverá seguir de acordo com as mudanças de mercado.

**Palavras-chave:** Cogeração, Bagaço, Turbogenerador, Excedente.

DOMINGOS GOMES, Wallison. **Análise de Viabilidade Econômica Através de um Sistema de Cogeração na Usina X**. Caratinga, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Doctum de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2017.

## **ABSTRACT**

The present work aims at an energy company of the sugar and alcohol sector as a main alternative to the Brazilian energy matrix. Considering the case study in Plant X it is possible to observe as main advantages in the investment of more powerful equipment for the production of energy, not only to supply an energy need for installation, but also to sell energy surplus. The demand for Usina X has been experiencing some difficulties in terms of power for the equipment, due to large investments of new and efficient equipment over the years. The study was designed to address this shortfall in power for a new 5MW or 6250 KVA turbogenerator, and to supply the industry with a surplus of energy. The theme can be treated as one of the main alternatives, not better, the energy generated in the hydroelectric dams. With a water crisis and consequent crisis in Brazilian energy, several studies are beginning to emerge for a sustainable energy generation. It considers that this generation from the sugar and alcohol industry is an available alternative, which needs investments. The study shows that a fixed value of R\$ 25.00 for bagasse, the break-even point, when the energy is R\$ 192.00 is considered a price considered below the current market in a scenario less conducive to energy sales, in addition to a sale of bagasse, whose market is up, being a tool to change the direction of the market as a market change.

**Key-words:** Cogeneration, Bagasse, Turbogenerator, Surplus.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Bagaço Excedente . . . . .	17
<b>Figura 2</b> – Fluxograma Cogeração . . . . .	18
<b>Figura 3</b> – Caldeira em funcionamento . . . . .	20
<b>Figura 4</b> – Caldeira Aquatubular . . . . .	21
<b>Figura 5</b> – Caldeira Flamotubular . . . . .	21
<b>Figura 6</b> – Ciclo Turbina Contrapressão . . . . .	24
<b>Figura 7</b> – Ciclo Turbina Condensação . . . . .	25
<b>Figura 8</b> – Turbogenerador . . . . .	26
<b>Figura 9</b> – localização da Usina X . . . . .	28
<b>Figura 10</b> – Diagrama Sistema de cogeração . . . . .	29
<b>Figura 11</b> – Gráfico comparativo da Energia disponibilizada. . . . .	34
<b>Figura 12</b> – Ponto de equilíbrio entre ganhos com a energia e preço da energia . . . . .	37
<b>Figura 13</b> – - Grafico Receita . . . . .	37
<b>Figura 14</b> – Cotação . . . . .	42

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	– Dados da caldeira . . . . .	22
<b>Tabela 2</b>	– Dados do Processo Industrial . . . . .	30
<b>Tabela 3</b>	– Demonstrativo do balanço do consumo de bagaço. . . . .	33
<b>Tabela 4</b>	– Cenário energético comparativo . . . . .	34
<b>Tabela 5</b>	– Cenário 01 – Preço do Bagaço R\$ 25,00 . . . . .	35
<b>Tabela 6</b>	– Receita originária da venda de energia . . . . .	35
<b>Tabela 7</b>	– Mercado (Preço) . . . . .	36
<b>Tabela 8</b>	– Resultados do Ponto de Equilíbrio . . . . .	36
<b>Tabela 9</b>	– Valores do Investimento . . . . .	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EPE	Empresa de Pesquisa Energética
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
SIN	Sistema Interligado Nacional
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais S.A
NG	Narciso Gobbin
PCC	Pol da Cana Corrigido
CPC	Conceito Preliminar de Curso
FBC	Fibra Bruta da Cana
CP	Capacidade da Caldeira
CL	Calor Latente
QV	Calor Trocado Entre Produtos de Combustão e Água
PCI	Poder Calorífico Inferior
n	Rendimento
BD	Bagaço Disponível
CM	Cana Moída por Dia
BC	Bagaço de Cana
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABB	Asea Brown Boveri
WEG	Werner Eggon Geraldo

## LISTA DE SÍMBOLOS

KW	Quilowatt
KVA	Quilovolt-ampere
KV	Quilovolt
$\Delta$	Variação do Tempo
CV	Cavalo Vapor
TWh	Terawatt-Hora
KG	Quilograma
KGf	Quilograma-Força
Cm	Centímetro
TH	Tonelada - Hora
KGh	Quilograma - Hora
MW	Megawatt
MWh	Megawatt - Hora

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>2 DESENVOLVIMENTO</b>	<b>16</b>
2.1 Bagaço de Cana - de - Açúcar	16
2.2 Cogeração de Energia Através do Bagaço de Cana	17
2.3 Vasos Sob Pressão	19
2.4 Tipos de Caldeiras	20
<b>2.4.1 Princípio de Funcionamento Caldeira Aquatubular</b>	<b>20</b>
<b>2.4.2 Princípio de Funcionamento Caldeira Flamotubular</b>	<b>21</b>
<b>2.4.3 Dados da Caldeira</b>	<b>22</b>
2.5 Turbinas a Vapor	23
<b>2.5.1 Por que Utilizar Turbinas a Vapor?</b>	<b>23</b>
<b>2.5.2 Classificação Quanto ao Princípio de Expansão do Vapor</b>	<b>23</b>
<b>2.5.3 Turbinas de Ação (impulso)</b>	<b>24</b>
<b>2.5.4 Turbinas de Reação</b>	<b>24</b>
<b>2.5.5 Turbinas de Contrapressão</b>	<b>24</b>
<b>2.5.6 Turbinas de Condensação</b>	<b>24</b>
2.6 Turbo Gerador	26
2.7 Payback	26
<b>2.7.1 Vantagens do Payback</b>	<b>26</b>
2.8 Ponto de Equilíbrio	27
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>28</b>
3.1 Diagrama Sistema de Cogeração	29
3.2 Modelos Matemáticos	30
<b>3.2.1 Equação 1</b>	<b>30</b>
<b>3.2.2 Equação 2</b>	<b>31</b>
<b>3.2.3 Equação 3</b>	<b>31</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>33</b>
<b>4.0.1 Cenário 01</b>	<b>35</b>
<b>4.0.2 Cenário 02</b>	<b>35</b>
4.1 Cotação Turbo gerador	38
<b>5 CONCLUSÃO</b>	<b>39</b>
5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros	39
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>40</b>
<b>ANEXO A Orçamento pela empresa WEG</b>	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento energético da biomassa disponível de acordo com Molion, (2013), foi essencial para a evolução humana, sendo que o próprio meio de obtenção e uso progrediram juntos, desde a lenha catada para cocção, proteção e aquecimento, até as modernas práticas de produção silvo-agropecuárias e indústrias, de transformação e uso de biocombustíveis para geração de calor, força motriz e eletricidade. Esta última, símbolo de evolução tecnológica e ambiental.

A principal biomassa empregada para geração elétrica no Brasil é o bagaço de cana. Sua participação tem sido crescente no cenário nacional, decorrente da indústria de etanol e açúcar estabelecida em solo nacional. Historicamente, uma das políticas de maior impacto para introdução dos biocombustíveis no mercado brasileiro foi o Programa Nacional de Álcool (Pro álcool), 1975. Com ele, a indústria sucroenergética nacional foi considerada e ampliada, tornando - se referência internacional EPE,(2015).

De acordo com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica- CCEE (2015), a venda de energia pode ser feita direto no mercado livre onde acontecem os leilões, ou será feita às companhias elétricas. No Brasil, os leilões são a principal forma de contratação de energia, de forma que as concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviço público de distribuição de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN) garantem o atendimento à totalidade de seu mercado no Ambiente de Contratação Regulada (ACR). Quem realiza os leilões de energia elétrica é a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), por delegação da Aneel.

Ainda de acordo com a CCEE (2015) existem vários tipos de leilões, são eles: leilão de vendas; leilão de fontes alternativas; leilão de excedentes; leilão estruturante; leilão de energia de reserva; leilão de energia nova; leilão de energia existente; leilão de compra e leilão de ajuste. A energia da biomassa se enquadra nos leilões de fontes alternativas que foi instituído para atender não só a energia da biomassa, mas também eólica e de pequenas Centrais Hidrelétricas.

Em meio a novas previsões de crise energética e aumento de preço da energia elétrica em 2015, o MME – Ministério de Minas e Energia divulgou em dezembro de 2014 a realização de cinco leilões de energia. O mercado regulado de energia também é uma boa opção para as usinas venderem possíveis excedentes de eletricidade. A biomassa ganhou destaque no Leilão A-5, realizado em dezembro do ano passado. Tradicionalmente associada a outras modalidades renováveis como solar ou eólica, a biomassa conseguiu participar do certame com preços mais competitivos (GONÇALVES, 2015).

Sistemas supridos por fonte renovável mediante uso da biomassa da cana de açúcar tornaram -se alternativa para geração de energia em unidades industriais, e vem crescendo a cada ano com a implantação de geradores conectados a rede de distribuição do sistema elétrico interligado. Em consequência disso, este tipo de geração de energia elétrica tem se

tornado uma importante fonte de produção de energia capaz de suprir a necessidade dos próprios consumidores denominados de autoprodutores, algo de relevância, por auxiliar na economia de água nos reservatórios de usinas hidrelétricas na época de safra, posto que, o período de maior geração dessa modalidade coincide com o estação de seca.

Para a construção do presente trabalho, analisou-se um caso real de uma Usina X, apresentando um mau dimensionamento entre cargas no setor de industria e irrigação, no período de safra os geradores atuais não estão suportando grandes cargas, que ao longos dos anos foram adicionadas à planta.

O estudo de caso apresentado foi elaborado com base em dados reais e em alguns equipamentos que se apresentavam saturados, trabalhando acima de sua potencia nominal e ainda assim não suportando as a potência instalada.

O objetivo geral do trabalho é avaliar o estudo de cenários para adição de equipamentos mais potentes (turbogeradores), para a cogeração de energia em usinas sucroalcooleiras.

Baseado nisso, foram feito análises e simulações para adição de um novo turbogerador de 5MW, somando com os outros dois turbogeradores já existentes na Usina. À análise nos mostrará as necessidades para preencher a demanda de energia para a planta no geral, e ainda gerar um excedente de energia, que seria interligado no sistema elétrico da CEMIG.

O estudo tem como objetivos específicos utilizar modelos matemáticos para simulações de cenários a partir da venda de energia e do bagaço de cana-de-açúcar e avaliar o melhor cenário do ponto de equilíbrio entre essas vendas.

O trabalho se divide em quatro capítulos, sendo este primeiro a introdução.

No segundo capítulo será abordado o referencial teórico, acerca dos principais assuntos que compõem o trabalho. O mencionado capítulo traz os fundamentos necessários para atendimento e elaboração do estudo de caso.

O terceiro capítulo trará o estudo de caso, onde está apresentada a análise econômica, através de cálculos, modelos matemáticos e simulações por meio de tabelas relacionadas ao estudo. Nesta etapa, será demonstrada a metodologia utilizada na construção do estudo de caso. Além das simulações com os dados reais, será possível verificar seu investimento e o payback dessa aquisição através dos resultados dispostos de forma gráfica e de fácil entendimento.

O quarto e último capítulo, abordarão conclusão e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 DESENVOLVIMENTO

De acordo com Cerqueira (2015) devido à falta de chuva, o Brasil vem passando por situações muito complicadas, principalmente na região Sudeste. A crise hídrica que estamos vivendo nos últimos anos é incomum e está trazendo sérias consequências econômicas e sócias, em vários aspectos, como na geração de energia elétrica e no abastecimento das cidades e na agricultura.

Mudanças importantes foram realizadas no desenvolvimento deste setor, tendo como decorrência, a diminuição de concorrentes das unidades industriais e a expansão do cultivo da cana de açúcar e a adequação dos métodos adotados pelas empresas Santos (2012).

Em conformidade com os dados da EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2010) a geração de energia elétrica no Brasil em sedes de serviço público e auto-produtores alcançou um valor de 4.566,2 TWh em 2009, um resultado de 0,7% superior ao ano de 2008, representando 87,8% da geração total do país. No meio dessas centrais de serviços públicos a principal fonte é a energia hidráulica, que apontou uma elevação de 4,9% na comparação com 2008, em função do regime hidrológico satisfatório observado no período.

Segundo Gonçalves (2015) no ano de 2014, com fechamento de usinas, queda da moagem de cana e resultados de safras deprimentes, o setor sucroalcooleiro começou no ano de 2015 buscar novas saídas para sua reabilitação. A cogeração de energia a partir da biomassa aparece como principal alternativa de negócio nas usinas. Conforme a CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, entre 1 e 13 de janeiro, a cogeração a partir do bagaço de cana e outras biomassas cresceram 107% no país comparado ao ano de 2014.

De acordo com Cortez et al.,(2008) verificando as tecnologias das fontes energéticas renováveis já prontas para serem empregadas comercialmente, apenas a biomassa, aplicada em processos modernos com alta eficiência tecnológica, possui a elasticidade de suprir a demanda tanto para produção de energia elétrica, quanto para mover o setor de transmissão.

### 2.1 BAGAÇO DE CANA - DE - AÇÚCAR

Conforme Genovese (2006), biomassa é a matéria orgânica da terra, principalmente os resíduos de matéria prima utilizados nas indústrias. No campo da energia, o termo biomassa é usado para descrever todas as formas de plantas e derivados que podem ser convertidos em energia utilizável como, madeira, resíduos urbanos e florestais, grãos, talos, óleos vegetais e lodo de tratamento biológico de efluentes. A energia gerada pela biomassa é também conhecida como energia verde ou bioenergia.

Uma das formas de utilização da biomassa é através da queima direta, para produzir

energia térmica e elétrica. É uma fonte primária de energia e que está se desenvolvendo em muitos países. Outra forma de utilização, é através do processamento da biomassa para produção de combustíveis.

Inicialmente, o bagaço era considerado um resíduo industrial, sendo queimado nas próprias usinas para geração de calor, porém com a principal finalidade de evitar os transtornos que trazia para indústria. Posteriormente, devido as crises do petróleo e para diminuir os custos de produção no setor sucroalcooleiro, o bagaço começou a ser usado como subproduto, especialmente como insumo energético. O bagaço tem uma composição que depende da variedade da cana-de-açúcar, do método de colheita e da eficiência das moendas da fábrica. Sua constituição é de fibra ou celulose, água, açúcares e impurezas, e sua umidade encontra-se geralmente em torno de 40 – 50% de umidade (INNOCENTE, 2011).

A atividade consiste na queima do bagaço de cana excedente (figura 1), para a geração de energia térmica e elétrica. Considerando a geração de vapor, no setor sucroalcooleiro, utiliza-se como elemento energético o bagaço de cana remanescente da moagem. Apenas no início da safra ou em caso de falta do bagaço durante a safra, as usinas utilizam a lenha como combustível, por esse motivo, o aspecto principal nessa parte recai sobre as medidas voltadas a biomassa como elemento energético Camargo,(1990).

A figura abaixo mostra o excedente de bagaço de cana.

**Figura 1:** Bagaço Excedente



Fonte: [www.canamix.com.br](http://www.canamix.com.br)

## 2.2 COGERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DO BAGAÇO DE CANA

A geração paralela de energia elétrica/mecânica/térmica através da queima de um único combustível e ainda utilizando parte do calor dispensado define - se como sendo cogeração, reduzindo perdas energéticas e aumentando a eficiência em geral do sistema Mogawer,(2005).

Conforme Lima (2011), as usinas produtoras de álcool e açúcar exercem a cogeração através da queima do bagaço de cana - de - açúcar obtendo desta forma um grande rendimento

energético, responsável pela redução dos custos gerados pela empresa e também pela diminuição dos impactos ambientais. Este subproduto torna - se mais satisfatório e mais lucrativo que o álcool e o açúcar, quando produzindo em períodos de seca, pois essas usinas comercializam o excesso de energia para as concessionárias fornecedoras de eletricidade.

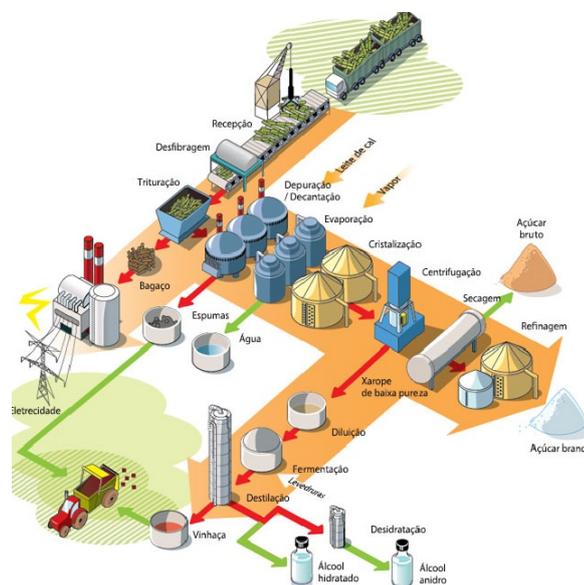
Segundo Santos (2010) são dois ciclos básicos de operação utilizados para gerar eletricidade: ciclo bottoming e topping.

No ciclo topping ocorre primeiro a produção de energia elétrica através dos gases de combustão a uma temperatura mais elevada, seguida da utilização da energia residual em forma de calor para o processo. Já no ciclo bottoming, há geração inicial de energia térmica em um processo e em seguida utiliza - se o calor residual para gerar energia elétrica/mecânica.

De acordo com Leite (2014) na geração de energia da indústria sucroalcooleira a queima do bagaço resulta em uma formação de gases com altas temperaturas, que evaporará a água de dentro dos balões da caldeira, formando o vapor superaquecido para girar as turbinas que, por sua vez, acionam os geradores produzindo energia elétrica, esquematizado na figura 2.

A figura abaixo nos mostra um fluxograma da geração de energia desde a entrada de bagaço à saída de energia.

**Figura 2: Fluxograma Cogeração**



Fonte: <http://www.cocal.com.br/conteudo/21/3/fluxograma-de-fabricacao>

O bagaço com cerca de 50% de umidade, e teor de fibra de aproximadamente 15% é queimado na caldeira aquecendo a água até atingir o estado gasoso. O vapor inicial passa através de serpentinas, onde acontece o incremento de temperatura de 310°C, atingindo uma pressão de trabalho de 21 Kg.cm<sup>2</sup>. O vapor aquecido em alta temperatura movimenta a turbina, geralmente essa turbina, geralmente é acoplada a um redutor devido à rotação da mesma ser mais elevada

que a rotação do gerador, tendo como produto final a energia elétrica. Esta segue para a própria indústria, para o campo (irrigação) e/ou para venda.

### 2.3 VASOS SOB PRESSÃO

De acordo Innocente (2011) os dispositivos que tem como função mudar o estado da água líquida para vapor são chamados de geradores de vapor ou caldeiras. Outros fluidos podem ser utilizados para produção de vapor, no entanto a água é preferida, pois possui elevado calor específico e abundância no meio industrial. Os turbogeradores a vapor são utilizados em processos industriais e na geração de energia elétrica.

As indústrias de processo químico têm o vapor como principal fonte de aquecimento para alimentar o processo: trocadores de calor, evaporadores, secadores, equipamentos térmicos entre outros. Diferentes setores industriais, como metalúrgico, metal-mecânico, eletrônico, podem se utilizar de vapor como fonte de aquecimentos de diversos processos.

O vapor saturado tem a grande vantagem de manter a temperatura constante durante a condensação à pressão constante. A pressão de condensação do vapor saturado controla indiretamente a temperatura dos processos. O controle de pressão, por ser um ajuste mecânico de ação direta é conseguido muito mais facilmente que o controle direto de temperatura.

O vapor superaquecido é utilizado e produzido para geração de energia elétrica ou mecânica em ciclos termodinâmicos, e neste caso a limitação das temperaturas de trabalho fica por conta dos materiais de construção empregados. Em utilização industrial, poderíamos arbitrar uma classificação de geradores de vapor em relação à pressão de trabalho:

- Baixa pressão: até 10 kgf/cm<sup>2</sup>
- Média pressão: de 11 a 40 kgf/cm<sup>2</sup>
- Alta pressão: maior que 40 kgf/cm<sup>2</sup>

As caldeiras flamotubulares têm o inconveniente de apresentar uma superfície de aquecimento muito pequena, mesmo se o número de tubos for aumentado. A necessidade de caldeiras de maior rendimento, rapidez de geração de grandes quantidades de vapor com níveis de pressão mais elevados, levou ao surgimento da caldeira aquatubular. Nesse tipo de caldeira, os tubos que, nas caldeiras flamotubulares, conduziam gases aquecidos, passaram a conduzir a água, o que aumentou muito a superfície de aquecimento, aumentando bastante a capacidade de produção de vapor (POUBEL, 2015).

A figura abaixo nos mostra caldeira em funcionamento.

**Figura 3:** Caldeira em funcionamento

Fonte: [www.sermatec.com.br](http://www.sermatec.com.br)

## 2.4 TIPOS DE CALDEIRAS

Atualmente, podemos classificar as caldeiras em dois tipos básicos:

**Flamotubulares**, onde os gases de combustão circulam por dentro de tubos, vaporizando a água que fica por fora dos mesmos.

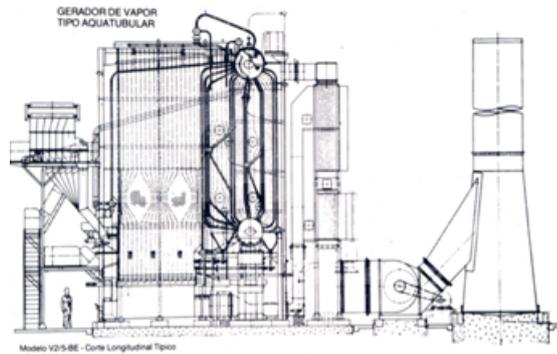
**Aquatubulares**, onde os gases circulam por fora dos tubos, e a vaporização da água se dá dentro dos mesmos.

É possível fazer uma comparação visualizando os dois tipos de caldeiras a partir das figuras abaixo que mostram o princípio de funcionamento de caldeira aquatubular e flamotubular respectivamente.

### 2.4.1 Princípio de Funcionamento Caldeira Aquatubular

De acordo com Poubel,(2015) as Aquotubulares são de uso abrangente, de pequeno a grande porte. Podem ser utilizadas para qualquer faixa de pressão de vapor. Normalmente têm economizador e superaquecedor figura 4.

A figura abaixo mostra um modelo de caldeira aquatubular.

**Figura 4:** Caldeira Aquatubular

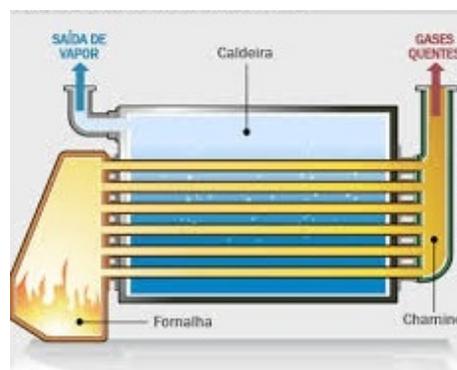
Fonte: [www.vaticaldeiras.com.br/caldeiras](http://www.vaticaldeiras.com.br/caldeiras)

Segundo Rein (2013) uma das principais tendências evolutivas na geração de vapor pode ser descrita como o aumento das pressões de vapor e temperaturas para possibilitar o aumento da energia a ser cogenerada, em função do ganho energético e conseqüentemente da queda do consumo específico.

As caldeiras aquatubulares tem a produção de vapor dentro de tubos que interligam dois ou mais reservatórios cilíndricos horizontais. O tubulão superior, onde se dá a separação da fase líquida e do vapor, e o tubulão inferior, onde é feita a decantação dos sólidos em suspensão.

#### 2.4.2 Princípio de Funcionamento Caldeira Flamotubular

As flamotubulares são de pequeno porte, para produções de até 15 Th vapor saturado figura 5.

**Figura 5:** Caldeira Flamotubular

Fonte: [nianur37.wordpress.com/2015/06/06/boiler-pipa-api-dan-boiler-pipa-air/](http://nianur37.wordpress.com/2015/06/06/boiler-pipa-api-dan-boiler-pipa-air/)

A caldeira é alimentada com bagaço de cana vindo do processo de moagem, através de esteiras transportadoras e nela será queimado continuamente. Para que haja uma combustão eficiente, existe uma entrada de ar para ventilação quente de forma a ocorrer um melhor desem-

penho na produção de vapor superaquecido, a água já deve entrar na caldeira a uma temperatura elevada.

O vapor produzido é transportado para as turbinas. É importante enfatizar que algumas vezes as temperaturas e pressões do vapor que saem das caldeiras não são suportadas nas turbinas, em face do material utilizado na sua construção. Nestes casos o vapor antes de chegar às máquinas, deve passar por válvulas que diminuam a pressão de trabalho. Elas são chamadas de válvulas redutoras de pressão.

Nesse estudo o vapor gerado é conduzido por uma tubulação direto para as turbinas, existe uma ramificação, uma outra tubulação que antes de chegar às turbinas do gerador leva o vapor também para as moendas para manter o processo de preparo do bagaço, alimentando as caldeiras e armazenando o mesmo.

De acordo Lima (2011) a queima do bagaço libera energia suficiente para evaporar a água que está presente nas serpentinas da caldeira, este vapor é utilizado como energia térmica nos processos de aquecimento, evaporação e cozimento. Através de turbinas, o vapor é transformado em energia mecânica, que movimenta o maquinário da moenda e/ou difusor e do tratamento de caldo, e com a utilização de geradores ocorre a produção de energia elétrica, que movimenta os laboratórios e a iluminação da usina. Portanto o vapor gerado nas caldeiras, pela queima do bagaço, é responsável pela geração de energia térmica, mecânica e elétrica.

### 2.4.3 Dados da Caldeira

A tabela abaixo nos mostra as especificações técnicas da caldeira.

**Tabela 1:** Dados da caldeira

PARÂMETROS	ESPECIFICAÇÕES
Fabricante Original	M.DEDINI S.A METALURGICA
Modelo/Nova Designação	V-2/4-UA OTIMIZADA
Nº do Equipamento/Série	741.123
Ano de Reforma	2005
Pressão Máxima de Trabalho Admissível	23,6 Kgf/cm <sup>2</sup>
Pressão de Teste Hidrostático	35,4Kgf/cm <sup>2</sup>
Capacidade de Produção de Vapor	80.000 Kg/h
Temperatura de Saída de Vapor	300 C
Área da superfície de Aquecimento	1.560 m <sup>2</sup>
Norma de Projeto	ASME I/ 1998
Categoria da Caldeira	A

Considerando no total uma produção de vapor de 80 Ton/hora.

## 2.5 TURBINAS A VAPOR

De acordo com Rein, (2010) a turbina a vapor é uma máquina motriz, que converte a energia térmica contida no vapor em energia cinética(trabalho útil),energia térmica potencial, energia mecânica.

Consiste basicamente de um rotor alojado dentro de uma carcaça, cujo eixo horizontal é apoiado em mancais, jatos de vapor oriundos de bocais, dispostos na parte interna desta carcaça, são dirigidos para palhetas fixadas no rotor, provocando o seu movimento giratório.

De acordo com Pedro (2008) as turbinas de vapor são máquinas rotativas que aproveitam a variação de entalpia de um fluido, regra geral a água, para produzir trabalho através da rotação de um órgão móvel: o rotor. São máquinas de ponta, sujeitas a grandes esforços, que operam a grandes velocidades, pressões e temperaturas, que conseguem aproveitar a quase totalidade da energia contida no vapor antes deste começar a condensar. Num modo muito simplista, pode-se dizer que as turbinas são hélices que funcionam inversamente, aproveitando o fluxo de um fluido para realizar trabalho.

### 2.5.1 Por que Utilizar Turbinas a Vapor?

Pela disponibilidade de vapor na planta que pressupõe a disponibilidade de combustível, de água e existência de caldeira, pela necessidade de vapor em processo de cascata, com aproveitamento energético em estações rebaixadoras, pela necessidade de independência, ou diminuição da dependência de energia fornecida pela concessionária, pela necessidade de cogeração (processos que demandam energia elétrica e vapor simultaneamente), pela necessidade de não interromper um processo quando da falta de energia elétrica na planta.

### 2.5.2 Classificação Quanto ao Princípio de Expansão do Vapor

As turbinas a vapor poderão ser classificadas quanto ao princípio de expansão do vapor da seguinte maneira: Como máquinas motrizes, as turbinas a vapor, são empregadas no acionamento de diversos equipamentos mecânicos e de geradores de eletricidade.

Os tipos de acionamentos podem ser:

- 1 - Direto: Velocidade da turbina = equipamento
- 2 - Com redutores: Velocidade da turbina > equipamento acionado
- 3 - Com multiplicadores: Velocidade da turbina < equipamento acionado

### 2.5.3 Turbinas de Ação (impulso)

Nas turbinas de ação, as palhetas fixas e bocais, com incidência de vapor em alta velocidade, convertem a energia térmica em energia cinética (transformação da variação de entalpia em energia cinética) e redirecionam o fluxo de vapor para as palhetas móveis, onde o mesmo atravessa à pressão constante, atuando sobre elas em razão da sua velocidade, convertendo a energia cinética em trabalho.

### 2.5.4 Turbinas de Reação

Utilizam, ao mesmo tempo, a pressão do vapor e a sua expansão nas rodas móveis.

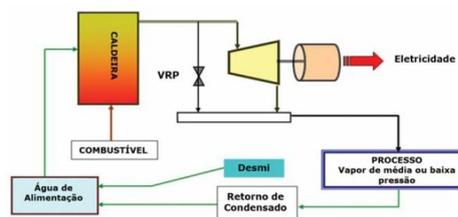
As turbinas de reação, e as palhetas fixas, com incidência de vapor em alta velocidade, convertem parte da energia térmica em energia cinética (transformação de parte da variação de entalpia em energia cinética) e redirecionam o fluxo de vapor para as palhetas móveis, onde o mesmo atravessa com redução de pressão atuando sobre elas, convertendo o restante da energia térmica e a energia cinética em trabalho.

### 2.5.5 Turbinas de Contrapressão

São turbinas em que a pressão de escape é maior que a pressão atmosférica.

As turbinas de contrapressão liberam, além da energia mecânica, vapor para o processo a ser utilizado na indústria. As de condensação possuem em sua base um condensador que transforma o vapor de saída em água condensada, esta água é devolvida à caldeira para ser reutilizada no processo figura 6.

**Figura 6:** Ciclo Turbina Contrapressão



Fonte: [www.revistatae.com.br/200-noticias](http://www.revistatae.com.br/200-noticias)

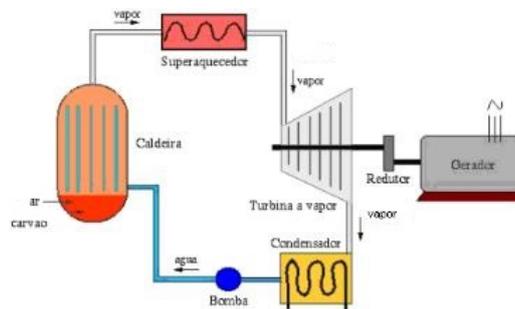
### 2.5.6 Turbinas de Condensação

As de condensação possuem em sua base um condensador que transforma o vapor de saída em água condensada, esta água é devolvida à caldeira para ser reutilizada no processo.

São turbinas em que a pressão de escape é menor que a pressão atmosférica, através do uso de um sistema de condensação de vapor.

Segundo Rein (2013) muitas unidades necessitam de um turbogerador de condensação que opere separadamente do processo, com o intuito de fornecer energia voltada para o campo, onde a água tem que ser bombeada para a irrigação, principalmente durante a safra, que se realiza no período de pouca pluviometria. Estes turbogeradores reduzem o nível de importação de energia figura 7.

**Figura 7:** Ciclo Turbina Condensação



Fonte: [www.revistatae.com.br/200-noticias](http://www.revistatae.com.br/200-noticias)

A diferença básica está no consumo específico da máquina. Enquanto a turbina de contrapressão opera a 12 Kg vapor gerado, a de condensação opera a 4,5 kg gerado. O benefício do baixo consumo tende a ser perdido em função da impossibilidade de geração de vapor de processo.

De acordo com Saran (2010) nas plantas que têm por objetivo produzir excedente de energia elétrica para venda, o vapor é fornecido a um turbo gerador de maior eficiência, que rebaixará a pressão do vapor a níveis desejados e produzirá energia elétrica. Após a passagem por esse turbo gerador, o vapor poderá ser direcionado para outras turbinas de acionamento mecânico, destinadas aos processos de fabricação de açúcar e álcool.

As turbinas são acopladas a geradores, tendo em muitos projetos um redutor de velocidade entre eles. Elas recebem o vapor superaquecido de alta pressão vindo da caldeira e após realizar trabalho, enviam vapor de baixa pressão (escape ou processo) para a indústria e/ou para o desareador, que é o equipamento que centraliza todas as águas que irão alimentar a caldeira. O vapor vindo da caldeira movimenta os rotores das turbinas, que produzem energia mecânica necessária para os geradores.

De acordo com Rein (2013), para um fluxo de vapor constante através da turbina (ou seja, sem sangria de vapor), a diferença em calor total por unidade de peso (entalpia específica) na entrada e saída de vapor da turbina, representa a energia extraída do vapor na forma de trabalho mecânico, utilizado ou para acionar uma carga mecânica, ou para acionar um gerador rotativo de

corrente alternada.

## 2.6 TURBO GERADOR

Desenvolvidos para aplicações em centrais termoelétricas, possuem uma grande faixa de potências, definidas com base em uma ampla pesquisa de mercado e na experiência WEG no fornecimento e dimensionamento de turbogeradores, podendo ser aplicados a turbinas a vapor, a gás, entre outras.

Os geradores são compostos principalmente de um rotor e de um estator. Ainda segundo Rein (2013) neste rotor existe um eletroímã que é energizado por uma corrente contínua – CC de excitação. O movimento relativo entre o campo magnético rotativo e as bobinas do estator produz uma saída de corrente alternada.

São os geradores que realizam a transformação de energia mecânica, vinda das turbinas, em energia elétrica.

O vapor que sai da caldeira através de tubulações, são transportados até as turbinas fazendo - a girar e assim acopladas aos geradores produzindo energia elétrica figura 8.

**Figura 8:** Turbogenerador



Fonte: [www.weg.net/institucional](http://www.weg.net/institucional)

## 2.7 PAYBACK

De acordo com Brito (2013) “Payback” em português significa retorno. É uma técnica de análise de investimento bastante utilizada atualmente, a definição técnica para “payback” é que ele calcula o tempo entre o investimento/empréstimo inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala ao valor desse investimento/empréstimo.

### 2.7.1 Vantagens do Payback

- 1 - O fato de ser bastante simples na sua forma de cálculo e de fácil compreensão;

- 2 - Fornece uma ideia do grau de liquidez e de risco do projeto;
- 3 - É uma forma de aumentar a segurança dos negócios da empresa;
- 4 - Adequado à avaliação de projetos em contexto de risco elevado;
- 5 - Adequado à avaliação de projetos com vida limitada:

## 2.8 PONTO DE EQUILÍBRIO

O ponto de equilíbrio contábil é o mais utilizado e mais simples. Nele, divide-se o valor dos custos e despesas fixas pela margem de contribuição. O resultado é a receita necessária para igualar os gastos.

O ponto de equilíbrio é um indicador de segurança do negócio, pois mostra o quanto é necessário vender para que as receitas se igualem aos custos. Ele indica em que momento, a partir das projeções de vendas do empreendedor, a empresa estará igualando suas receitas e seus custos. Com isso, é eliminada a possibilidade de prejuízo em sua operação. É, em geral, calculado sob a forma de percentual da receita projetada. Por exemplo, um ponto de equilíbrio de 65% para uma receita de R\$ 100.000,00 anuais indica que a empresa terá eliminado as possibilidades de prejuízo quando tiver atingido o montante de R\$ 65.000,00 em vendas, passando, a partir de então, a acumular lucro. A lógica do ponto de equilíbrio mostra que, quanto mais baixo for o indicador, menos arriscado é o negócio (SEBRAE, 2015).

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho foi desenvolvido em uma Usina X produtora de álcool e açúcar situada no município de Urucânia, Estado de Minas Gerais, figura 9.

**Figura 9:** localização da Usina X



**Fonte: Google Earth**

Atualmente a Usina X possui uma capacidade de moagem com uma média de 5.280 TD e recebe 196,93 Th de caldo para fabrica de açúcar e 70,05 Th de caldo para fermentação na destilaria.

O estudo se baseou no uso de planilhas de cálculos, modelos matemáticos e dados reais do processo industrial da Usina, para criar e simular cenários da venda de energia produzida através do bagaço de cana. Com o intuito de avaliar as vantagens e desvantagens para uma futura aquisição pela mesma.

A Usina dispõe de três caldeiras com capacidade para gerar 140 Tonelada/hora de vapor, trabalha com uma pressão de 21 kgf.cm<sup>2</sup> de pressão com uma temperatura de 310°C.

Os dados do gerador e da turbina de contrapressão também levados em consideração estão descritos a seguir:

- 1 - Consumo de bagaço caldeira: 38,09 Th
- 2 - Pressão de Trabalho: 21 kgf.cm<sup>2</sup>
- 3 - Temperatura do vapor: 310°C
- 4 - Capacidade de geração: 3600 KW

O estudo se baseou na capacidade máxima de uma das caldeiras 80 Th.

A partir do total de potência ativa gerada no valor de 3600 KW, em média 2300 KW são suprido pela indústria, e 1100 KW são enviados para irrigação durante a safra. As caldeiras contam com motobombas, com potencia que podem chegar até 300 CV, responsável por levar água do desareador para as caldeiras. Essas motobombas podem chegar a consumir ate 220 KW de potência.

Os geradores acoplados a essa turbina são responsáveis por suprir a produção de energia na Usina, o vapor com uma pressão de 21 Kgf.cm<sup>2</sup> é injetado nas turbinas de contrapressão através de tubos de 32 polegadas, com isso libera no escape cerca 1,5 Kgf.cm<sup>2</sup> de vapor, que segue para o processo de fabricação de álcool e açúcar.

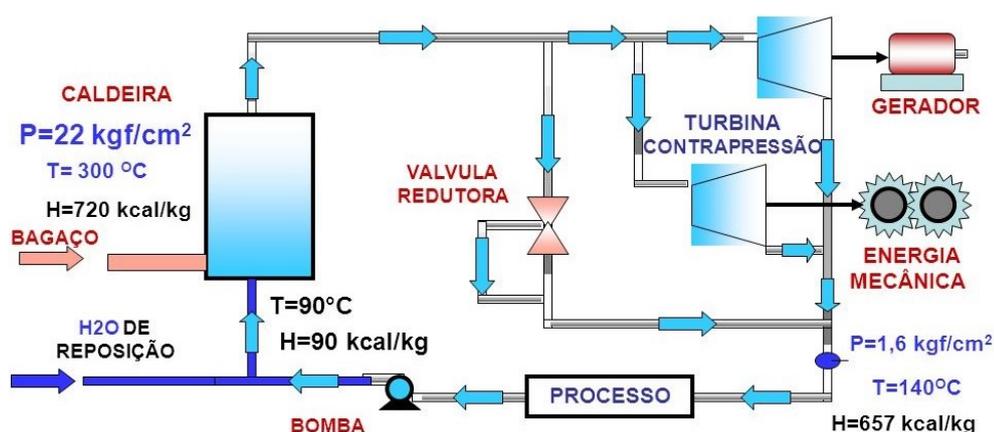
A água condensada segue para o desareador, retornando de volta para o processo.

A figura a seguir nos mostra basicamente o aproveitamento da água que sai do processo e retorna para caldeira.

### 3.1 DIAGRAMA SISTEMA DE COGERAÇÃO

A figura a seguir nos mostra basicamente o aproveitamento da água que sai do processo e retorna para caldeira.

**Figura 10:** Diagrama Sistema de cogeração



Fonte: [www.revistatae.com.br](http://www.revistatae.com.br)

Atualmente o mercado de energia sofre variações constantemente, principalmente no Brasil, cujo a matriz principal é a energia gerada e fornecida pelas hidroelétricas, devido ser indiscutivelmente dependentes dos fatores climáticos, chuvas, afluência dos rios etc. No entanto

na situação do setores sucroalcooleiros essa alteração podem ser limitada pela possibilidade da venda do bagaço da cana que se adéqua como opção de um ápice de excedente de energia.

Para construção dos cenários foram utilizados o procedimento abaixo.

Na simulação feita na Usina X, foi levado em consideração a produção máxima e os dados do processo da safra 2017/2018.

**Tabela 2:** Dados do Processo Industrial

PARAMETROS	VALORES
Moagem da safra2017/2018	650753 ton.
Moagem de cana em ton.dia	5280 ton.dia
Tempo de Aproveitamento	86%
Moagem p/hora em ton.cana	220,3 Ton.h
Fibra da cana	12%
P.C.C	13%

Fonte: Autor,2017

### 3.2 MODELOS MATEMÁTICOS

A metodologia adotada baseou-se em cálculos a partir dos dados reais disponibilizados pela usina, referentes à moagem, produção de bagaço, umidade do bagaço, rendimento das caldeiras, bagaço disponível e geração de vapor.

As equações descritas a seguir são utilizadas na simulação dos cenários e no cálculo das variáveis dentro do processo para a projeção de cenários com melhor viabilidade técnica e econômica.

#### 3.2.1 Equação 1

$$vapor = \frac{[C_p \cdot (\Delta t)]}{Cl} \quad (3.1)$$

Onde:

$C_p$  = Capacidade da caldeira em Ton/h;

$\Delta t$  = Variação de temperatura;

CI = Calor latente para que o resultado seja em Kg/h;

### 3.2.2 Equação 2

$$n = \frac{Q_v}{PCI} \cdot 100 \quad (3.2)$$

Onde:

$Q_v$  = Calor trocado entre produtos de combustão e água para forma vapor KJ/kg

PCI = Poder Calorífico Inferior do Bagaço em KJ/kg de bagaço

$n$  = Rendimentos das caldeiras em %

### 3.2.3 Equação 3

$$BD = \frac{C_m}{24} \cdot B_c \quad (3.3)$$

Onde:

BD = Bagaço disponível

$C_m$  = Cana moída por hora

$B_c$  = Bagaço por cento de cana

A Usina X já realiza o sistema de cogeração para seu consumo, mas ainda não funciona com sistema interligado à CEMIG.

Atualmente a planta possui dois turbogeradores trabalhando em ilha e de forma seletiva conforme, distribuição de cargas atuais. Um dos geradores já efetua o paralelismo operacional com a CEMIG em sua partida, e ele foi o selecionado para realizar a conexão para exportação de energia para a rede, devido suas características atuais de controle. O turbogerador mencionado possui turbina, fabricada pela (NG) controlada com um conversor de corrente para pressão(CPC) e Regulador 2311D da woodward e um gerador de 2500 KVA da WEG com um regulador de tensão Unitrol 1000 da ABB.

O outro turbogerador 2000 KVA não efetua o paralelismo operacional com a CEMIG.

A caldeira selecionada para o estudo foi a caldeira modelo V-2/4 de 1560 m<sup>2</sup> com capacidade de produção de vapor de 80.000 Kg/h. Ambos mencionados acima foram selecionados para uma análise de viabilidade econômica do sistema de cogeração.

Devido alguns fatores a Usina X sofre por falta de potência ativa, devido os geradores não estão conseguindo suprir a demanda da Usina, que a cada ano que passa vem fazendo mudanças, investimentos e aquisição para melhoria da planta.

O estudo a seguir nos mostra uma simulação para uma futura aquisição para o empreendimento.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a implantação do turbogerador de contrapressão, cuja capacidade total é de 5 MW, o qual difere dos turbogeradores de contrapressão atuais pelo seu baixo consumo em função da sua pressão e temperatura de trabalho, não será preciso alterar os parâmetros que vem do vapor da caldeira.

O novo turbogerador, trabalha com uma pressão de 21 Kgf de vapor, a uma temperatura 310 ° C, o novo gerador poderá trabalhar com a potência de 5 MW, que resultará na formação de todo o vapor de processo a ser utilizado pela usina, não sendo mais necessária a utilização de nenhuma válvula redutora.

Vale a ressaltar que a indústria só necessita de 2.300 KW (partindo da premissa que todos os parâmetros estão no seu máximo), de forma que será enviado para a irrigação um total de 1.100 KW de energia. Analisando os dados da safra desse ano 2017/2018 podemos observar a quantidade de bagaço produzido, considerando Aneel(2014), cada tonelada de cana moída para qualquer finalidade, produz em media 250 Kg de bagaço como subproduto.

A tabela 3 mostra a produção de bagaço com a mudança dos geradores levando-se em , que a capacidade da caldeira permanece a mesma.

**Tabela 3:** Demonstrativo do balanço do consumo de bagaço.

PARÂMETROS	EQUAÇÕES	CÁLCULOS	RESULTADOS
Produção bagaço	T.C.H * 25% de bagaço na cana	220*0,25	55 ton.hora
Caldeira	Capacidade	–	80 ton.hora
Relação	Relação do consumo de bagaço	–	2,1 ton.hora
Consumo Caldeira	Capacidade Caldeira/ Relação	80/2,1	38,09 ton.hora
Sobra Bagaço.hora	Prod. de bagaço – Cons.Caldeira	55-38,09	16,91 ton.hora
Sobra Tonelada.dia	Sobra de bagaço por hora * 24h	16,91*24	405,84 ton.dia
Sobra Total.Safra	Sobra ton.dia * dias de safra	405,84*124	50.324,1 ton.Saf.
Consumo Bagaço Safra	Consumo* 24h*Dias da safra	38,09*24*124	113.355,8 ton

Fonte: Autor,2017

A tabela 4 a seguir mostra a comparação na produção de energia quando comparado ao novo turbogerador.

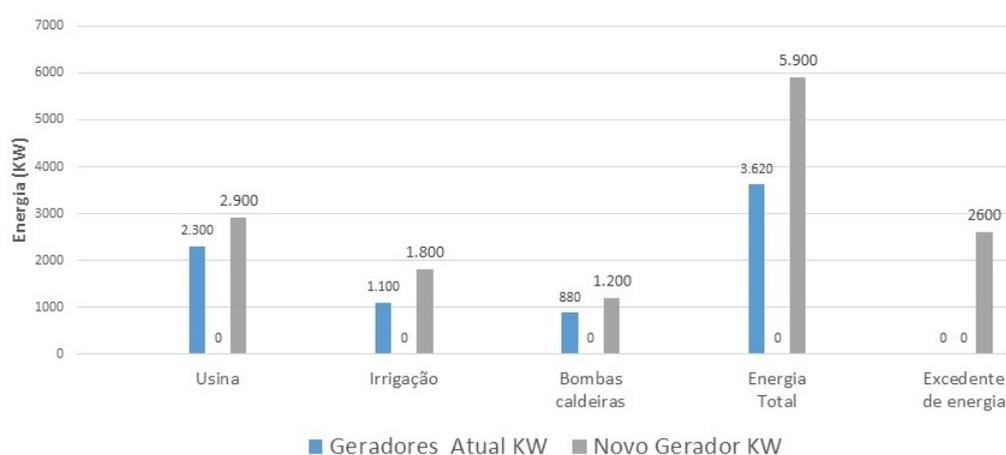
**Tabela 4:** Cenário energético comparativo

Geradores Atual		Novo Gerador	
Consumo	KW	Consumo	KW
Usina	2.300	Usina	2.900
Irrigação	1.100	Irrigação	1.800
Bombas caldeiras	880	Bombas caldeiras	1.200
<b>Energia Total</b>	<b>3.620</b>	<b>Potência Total</b>	<b>5.900</b>
<b>Excedente de energia</b>	<b>0</b>	<b>Excedente de energia</b>	<b>2600</b>

Fonte: Autor, 2017

Percebe-se que houve um aumento de aproximadamente 60% da energia total gerada para o consumo em KW em relação aos geradores de contrapressão do sistema atual. Sendo este um aumento de 2280 KW, mantendo-se o mesmo consumo de bagaço para geração de 80 Th para um período de safra de 124 dias.

Como pode ser visto na figura 11 a seguir, que mostra um comparativo energético entre o sistema atual e o novo.

**Figura 11:** Gráfico comparativo da Energia disponibilizada.

Fonte: Autor, 2017

Fazendo-se a simulação do cenário, percebe-se que ao considerarmos o preço do bagaço a R\$ 25,00 por tonelada teremos os resultados demonstrados na tabela 5.

#### 4.0.1 Cenário 01

**Tabela 5:** Cenário 01 – Preço do Bagaço R\$ 25,00

PARÂMENTROS	DEFINIÇÃO DA EQUAÇÃO	CÁLCULO	Valores R\$
Ganho Dia	Sobra por dia * Preço Bagaço	405,84 * 25	10.146,00
Ganho Mês	Ganho por dia * 30 dias	10.146,00*30	304.380,00
Ganho Safra	Sobra por safra * Preço Bagaço	50.324,00*25	1.258.100,00

Fonte: Autor,2017

A tabela 06 mostra a venda de Potencia Ativa com um máximo de 2,6 MW livre pra gerar durante a safra, que se inicia no período de seca nos meses de maio a outubro.

De acordo com Aneel (2016) o valor do MW/h em Usinas Termoelétricas em média está aproximadamente R\$ 278,46 para a venda a concessionária.

#### 4.0.2 Cenário 02

##### Cenário 02 – Preço do Megawhatt R\$ 278,46

**Tabela 6:** Receita originária da venda de energia

PARÂMETRO	DEFINIÇÃO	CÁLCULO	RESULTADO
Ganho dia	MW*24h*Valor do MW	2,6*24h*278,46	17.375,90
Ganho mês	Ganho dia *30 dias	17375,90*30	521.277,12
MW safra	MW*24h* dias da safra	2,6*24*124	7.737
Ganho safra	Ganho dia*Dias da safra	17375,90*124	2.154.611,60

Fonte: Autor, 2017

Com base nos dados da tabela 02 foram obtidos os resultados para cada cenário apresentado na tabela 7 a seguir. Obtiveram-se os paybacks para diferentes cenários de mercado, com o uso do gerador com capacidade de geração de 5 MW e um excedente de 2,6 MW interligado no sistema da CEMIG, com variações de preço da energia.

Os cenários da tabela 7 demonstram o payback em safras é possível aumentar a margem de lucro diminuindo o tempo do payback.

**Tabela 7:** Mercado (Preço)

<b>Preço da Energia (R\$)</b>	<b>Mw p/ Venda</b>	<b>Ganhos com Energia(R\$)</b>	<b>Ganho total (R\$)</b>	<b>Valor do investimento (R\$)</b>	<b>Payback n<sup>o</sup> de safras</b>
150	7.737	1.160.550,00	1.160.550,00	3.445.000,00	3,0
210	7.737	1.624.770,00	1.624.770,00	3.445.000,00	2,2
300	7.737	2.321.100,00	2.321.100,00	3.445.000,00	1,5
400	7.737	3.094.800,00	3.094.800,00	3.445.000,00	1,2

Fonte: Autor, 2017

A tabela 8 a seguir mostra a simulação feita para a Usina X. Quando o preço da energia estiver acima do ponto de equilíbrio (menor preço) é preferível a venda do bagaço, se estiver abaixo do ponto de equilíbrio (maior preço) é preferível a venda de energia.

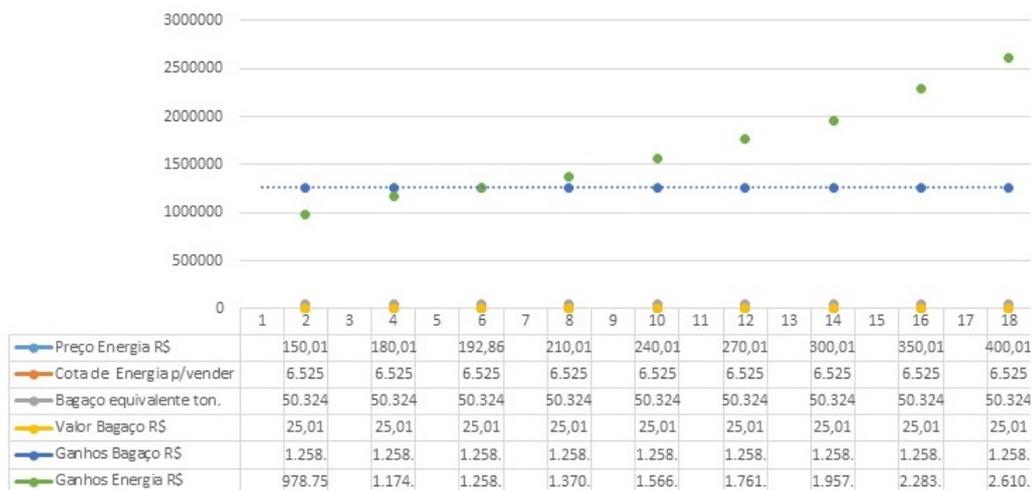
Considerando um total de 6525 MWh por safra de excedente de energia cogerada interligado no setor elétrico da CEMIG, vejamos na tabela abaixo os resultados.

**Tabela 8:** Resultados do Ponto de Equilíbrio

<b>Preço Energia R\$</b>	<b>Cota de Energia p/vender</b>	<b>Bagaço equivalente ton.</b>	<b>Valor Bagaço R\$</b>	<b>Ganhos Bagaço R\$</b>	<b>Ganhos Energia R\$</b>	<b>Resultados</b>
150,00	6.525	50.324	25,00	1.258.100,00	978.750,00	BAGAÇO
180,00	6.525	50.324	25,00	1.258.100,00	1.174.500,00	BAGAÇO
<b>192,86</b>	<b>6.525</b>	<b>50.324</b>	<b>25,00</b>	<b>1.258.100,00</b>	<b>1.258.411,50</b>	<b>EQUILBRIO</b>
210,00	6.525	50.324	25,00	1.258.100,00	1.370.250,00	ENERGIA
240,00	6.525	50.324	25,00	1.258.100,00	1.566.000,00	ENERGIA
270,00	6.525	50.324	25,00	1.258.100,00	1.761.750,00	ENERGIA
300,00	6.525	50.324	25,00	1.258.100,00	1.957.500,00	ENERGIA
350,00	6.525	50.324	25,00	1.258.100,00	2.283.750,00	ENERGIA
400,00	6.525	50.324	25,00	1.258.100,00	2.610.000,00	ENERGIA

Verifica-se dessa forma que o valor da energia no ponto de equilíbrio é de R\$192,86, dado este, melhor visualizado na figura 12 a seguir.

**Figura 12:** Ponto de equilíbrio entre ganhos com a energia e preço da energia



**Fonte: Autor, 2017**

Com base nos dados obtidos da venda da receita de energia e a partir da simulação dos cenários foi possível encontrar uma relação de valores, que pode ser visto na figura 13.

**Figura 13:** - Grafico Receita



**Fonte: Autor, 2017**

#### 4.1 COTAÇÃO TURBOGERADOR

Foi realizado um orçamento de equipamentos, materiais e mão de obra com a empresa WEG DRIVES & CONTROLES - AUTOMAÇÃO

**Tabela 9:** Valores do Investimento

<b>Cotação pela Empresa WEG</b>	
<b>Equipamentos</b>	<b>Valores</b>
Turbo gerador Vapor 5 MW Tensão 440 volts	1.500.000,00
Painéis de acionamento + Relé de sincronismo	600.000,00
Transformador 6000 KVA 440 V /13,8 KV	500.000,00
Materiais + Montagem + Start - up + Mão de Obra	800.000,00
Transporte valor estimado Município Urucânia	45.000,00
<b>Total</b>	<b>3.445.000,00</b>

Autor, 2017

Com isso é possível determinar: sempre que o valor do MW for igual ou superior 192,86 R\$, é viável a cogeração de energia com sistema interligado a CEMIG.

De acordo com a simulação de payback considerado na tabela 7, espera - se que em até no máximo três a quatro safras, o valor do investimento estaria quitado.

## 5 CONCLUSÃO

O estudo levou em consideração a caldeira com geração máxima de 80 Th de vapor, contudo, é possível trabalhar com a margem de até 85 ton.h o que significa um ganho de aproximadamente 275 KWh.

A cogeração de energia é extremamente importante para que as indústrias sucroalcooleiras tenham custos mais baixos e possam atender o país em caso de crise hídrica. Investir no melhoramento de equipamentos para esta cogeração, deixa de ser uma melhoria e passa a ser uma alternativa energética, representando também um ganho financeiro para o produtor. Aquelas que não inovarem, se adequando as novas tecnologias, serão absorvidas pelo mercado, ficando assim defasadas.

Pôde-se observar, com o uso de modelos matemáticos para a simulação de cenários, que a compra do gerador de contrapressão de 5 MW de maior potencia, terá um impacto relevante quanto à cogeração de energia, atendendo a demanda de potencia na Usina.

Além disso, é importante salientar que a partir do estudo dos cenários prospectivos de venda de energia e de bagaço, o projeto pode se adequar a diferentes realidades de unidades sucroalcooleiras, e com o ponto de equilíbrio identificado, a indústria pode alternar entre a venda do bagaço e da energia de acordo com as vantagens econômicas dos mesmos, de forma que ela não terá prejuízos.

A Usina X pretende adquirir o turbogerador em questão e deseja implantá-lo durante a entre - safra 2018-2019.

O projeto é viável para a Usina e ao mesmo tempo eficiente como bioenergia, sendo uma alternativa a energia de fontes renováveis, mas principalmente às hidrelétricas brasileiras que vêm passando por crises em função do regime irregular de chuvas.

### 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Fazer um estudo mais detalhado, aproveitando a parte mais técnica para o sistema interligado ao sistema elétrico da CEMIG.

Realizar uma análise mais compacta e detalhada sobre o mercado de energia com a inclusão da Usina X no mercado.

Realizar um estudo mais aprofundado utilizando a autorização para divulgação dos registros em fotos e nome da empresa.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2014, “Balanço Energético Nacional”, Disponível em [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). Acesso em: 25 outubro 2017.

BRANDE, M. A. O uso da bioenergia. [www.solumad.com.br/artigos/201011171820591.pdf](http://www.solumad.com.br/artigos/201011171820591.pdf). Acesso em 01 de agosto de 2017.

BRITO, C. Payback: O que é e como calcular. [//admsolucoes.blogspot.com.br/2013/02/payback-o-que-e-e-como-calculiar.html](http://admsolucoes.blogspot.com.br/2013/02/payback-o-que-e-e-como-calculiar.html). Acesso em 21 de setembro de 2017.

Câmara de comercialização de energia elétrica. Disponível em: [//www.ccee.org.br/](http://www.ccee.org.br/). Acesso em 29 de Setembro de 2017.

CERQUEIRA, G. A. et al. A Crise Hídrica e suas Consequências. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, abril/2015. [www.senado.leg.br/estudos](http://www.senado.leg.br/estudos). Acesso em 05 de agosto de 2017.

COCAL - Energia Responsável - Disponível em: [www.cocal.com.br](http://www.cocal.com.br). Acesso 15 de outubro 2017

CORTEZ, L. A. B. et al. Biomassa para energia. – Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2008.

COSTA, P. R. de O.; DUARTE, F. S. A utilização da biomassa da cana-de-açúcar como fonte de energia. [publicacoes.fatea.br/index.php/raf/article/view/455/300](http://publicacoes.fatea.br/index.php/raf/article/view/455/300) Acesso em 11 de Agosto de 2017.

Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). Balanço Energético Nacional 2010: ano base 2009. Rio de Janeiro: EPE, 2010.

GENOVESE, A. L. et al. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. Disponível em: [www.proceedings.scielo.br](http://www.proceedings.scielo.br). Acesso em 20 de setembro de 2017.

GONÇALVES, T. Opinião: A biomassa e o setor sucroenergético em 2015. . Disponível em: [www.canalbioenergia.com.br/opinio-a-biomassa-e-o-setorsucroenergetico-em-2015/](http://www.canalbioenergia.com.br/opinio-a-biomassa-e-o-setorsucroenergetico-em-2015/). Acesso em 22 de Agosto de 2017.

INNOCENTE, A. F. Cogeração a partir da biomassa residual de cana-de-açúcar: estudo de caso. 2011. 111 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2011. Disponível em: [//hdl.handle.net/11449/90495](http://hdl.handle.net/11449/90495). Acesso em 28 de agosto de 2017.

KAZAY, H. F.; LEGEY, L. F. L. Fontes alternativas de energia: o que o Brasil tem feito?. Revista Brasil Sempre, Rio de Janeiro, v. 3, n. 10, p. 2-9, 2002.

LEITE, M. T. Aproveitamento Integral da Cana-de-açúcar: O bagaço de cana como combustível e a cogeração de energia. 2014. Notas de Aula.

LIMA, T. M. Estudo energético do bagaço de diferentes variedades de cana-de-açúcar. 2011. 73 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, 2011. Disponível em: [//hdl.handle.net/11449/97755](http://hdl.handle.net/11449/97755)>. Acesso em 19 de agosto de 2017.

MENDONÇA, M. F. de. et al. Preparo de solo e fosfatagem - II. Rendimento agrícola e industrial da cana-de-açúcar. 150.165.111.246/ojspatos/index.php/ACSA/article/viewFile/588/pdf. Acesso em 21 de agosto de 2017.

MOLION, L. C. B. Energias Renováveis. [www.icat.ufal.br//uploads/pdf/ENERGIAS%C3%81VEIS.pdf](http://www.icat.ufal.br/uploads/pdf/ENERGIAS%C3%81VEIS.pdf). setembro em 11 de agosto de 2017.

MOGAWER, T. Análise técnica e econômica para seleção de sistemas de cogeração em ciclo combinado. 2005. 133 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, 2005. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/99343>>. Acesso em 13 de agosto de 2017.

NIANUR - Disponível em : [www.nianur37.wordpress.com/2015/06/06/boiler-pipa-api-dan-boiler-pipa-air](http://www.nianur37.wordpress.com/2015/06/06/boiler-pipa-api-dan-boiler-pipa-air). Acesso em 22 de outubro 2017

NG - Turbinas - Disponível em: [www.ngmetalurgica.com.br](http://www.ngmetalurgica.com.br). Acesso em 20 de outubro 2017

Portal Cana Mix - Disponível em: [www.canamix.com.br](http://www.canamix.com.br). Acesso em 23 de outubro 2017

REIN, P. Engenharia do Açúcar de Cana. Bartens, 2013.

SANTOS, F. et al. Cana-De-Açúcar: Bioenergia, açúcar e etanol: tecnologias e perspectivas. - 2. ed.-Viçosa, MG: Os Editores, 2011.

SEBRAE. Ponto de equilíbrio.[www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/Ponto-de-equilíbrio](http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/Ponto-de-equilíbrio). Acesso em 21 de outubro de 2017.

ÚNICA –Sistemas de Cogeração–2014.[www.unica.com.br](http://www.unica.com.br).06 Setembro 2017. UDOP-Energia

VATI - Caldeiras Disponível em: [www.vaticaldeiras.com.br](http://www.vaticaldeiras.com.br) - Acesso em 8 de outubro 2017

WEG - Automação e Controle - 2015. [www.weg.net/institutional](http://www.weg.net/institutional).Acesso em 06 outubro 2017

ZANINI - Disponível [www.sermatec.com.br](http://www.sermatec.com.br) - Acesso 10 de outubro 2017

## ANEXO A ORÇAMENTO PELA EMPRESA WEG

Figura 14: Cotação



WEG S.A. Avenida Prefeito Waldemar Grubba, 3300 - 89256-900 - Jaraquá do Sul - SC / Brasil  
 CNPJ:84.429.695/0001-11  
 Fone: (11) 5053-2107 / Fax: (11) 5052-4223 E-MAIL: <cleytons@weg.net>

CLIENTE: WALLISON DOMINGOS GOMES  
 CONTATO: CLEYTON EVANGELISTA SILVA  
 DEPTO. VENDAS  
 REFERENTE: ORÇAMENTO

ITEM	QUANTIDADE	EQUIPAMENTOS	R\$ TOTAL	PRAZO
1	1	TURBOGERADOR 5MW TEN SÃO 440 V	R\$ 1.500.000,00	45 DIA \$
2	3	PAINÉIS ELÉTRICOS PARA CIONAMENTO + RELÉ SE SICRONISMO	R\$ 600.000,00	45 DIA \$
3	1	TRANSFORMADOR 6000 KVA 440/13,8 KV	R\$ 500.000,00	45 DIA \$
4	1	MATERIAIS (valor estimado) + Montagem + Comissionamento Start-Up + Mão de obra	R\$ 800.000,00	45 DIA \$
5	3	TRANSPORTE	R\$ 45.000,00	45 DIA \$

TOTAL 3.445.000,00

Fonte: www.weg.net/br