

RODRIGO DA SILVA OLIMPIO

**UM ESTUDO DE CASO: REATIVAÇÃO DA
USINA TERMELÉTRICA EM UNIDADE
FRIGORÍFICA NO INTERIOR DE SÃO PAULO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso MBA em Executivo em Administração: Setor Elétrico, de Pós-Graduação *lato sensu*, Nível de Especialização, da FGV/IDE como pré-requisito para a obtenção do título de Especialista.

Orientador: Andriei José Beber, Dr.

**CURITIBA – PARANÁ
2019**

RODRIGO DA SILVA OLIMPIO

UM ESTUDO DE CASO: REATIVAÇÃO DA USINA TERMELÉTRICA EM
UNIDADE FRIGORÍFICA NO INTERIOR DE SÃO PAULO

Andriei José Beber, Dr.

Orientador

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso MBA em Executivo
em Administração: Setor Elétrico de Pós-
Graduação *lato sensu*, Nível de
Especialização, do Programa FGV
Management como pré-requisito para a
obtenção do título de Especialista TURMA
1/17

Curitiba – Paraná
2019

O Trabalho de Conclusão de Curso

UM ESTUDO DE CASO: REATIVAÇÃO DA USINA TERMELÉTRICA EM
UNIDADE FRIGORÍFICA NO INTERIOR DE SÃO PAULO

Elaborado por Rodrigo da Silva Olimpio e aprovado pela Coordenação Acadêmica foi aceito como pré-requisito para a obtenção Curso de Pós-Graduação *lato sensu*, Nível de Especialização, do Programa FGV Management, MBA em Executivo em Administração: Setor Elétrico.

Data da aprovação: _____ de _____ de _____

Coordenador Acadêmico
Prof. Fabiano Simões Coelho, Ph.D.

Professor orientador
Andriei José Beber, Dr.

Dedicatória

*Aos meus pais, Cláudio e Fátima, por todo apoio e pelo grande estímulo,
me ajudando a manter o foco e a vencer mais uma etapa em minha vida.*

*Aos meus irmãos, Marcelo e Naiara, por colaborarem em todas as vezes
que precisei e por toda a parceria nos momentos de dificuldades.*

À minha noiva Hevelline, pelo seu amor, motivação, companheirismo e compreensão.

Declaração

Declaro que os dados utilizados neste Trabalho de Conclusão de Curso referentes à uma indústria frigorífica, localizada no interior do estado de São Paulo, foram obtidos a partir da divulgação da própria empresa; o nome da empresa, onde se realizou a pesquisa, não será citado, pois, a mesma não autorizou divulgá-lo, com isso, a chamaremos por ser nome fictício, Frigoríficasp. Além disso, este trabalho é de cunho estritamente acadêmico, não servindo de base para quaisquer tomadas de decisão econômica por parte de seu usuário.

....., de, de 2019

RODRIGO DA SILVA OLIMPIO

TERMO DE COMPROMISSO

O aluno Rodrigo da Silva Olimpio, abaixo-assinado, do Curso de Pós-Graduação lato sensu, Nível de Especialização, do Programa FGV Management, MBA em Executivo em Administração: Setor Elétrico, realizado nas dependências da instituição conveniada ISAE – Instituto Superior de Administração e Economia, no período de 21 de Outubro de 2017 a 26 de Maio de 2019, declara que o conteúdo do trabalho de conclusão de curso intitulado: Um estudo de caso: reativação da usina termelétrica em unidade frigorífica no interior de São Paulo, é autêntico, original, e de sua autoria exclusiva.

Curitiba, _____ de _____ de 2019.

Rodrigo da Silva Olimpio

Sumário

INTRODUÇÃO – ELEMENTOS INICIAIS	12
1 REFERENCIAL TEÓRICO	14
1.1 Termelétrica.....	14
1.2 Formação do bagaço de cana-de-açúcar para a Geração de Energia ...	16
1.3 A Caldeira.....	17
1.4 A Turbina	19
1.4.1 Tipos de turbinas para centrais termelétricas de combustível que utilizam bagaço de cana-de-açúcar	19
1.5 Gerador Síncrono	24
2 ESTUDO DE CASO	25
2.1 Impacto do retorno da cogeração existente	28
2.2 Projeto de uma cogeração nova, com maior capacidade, melhor eficiência e tecnologia.....	32
2.2.1 Turbina, redutor de velocidade e condensador de vapor.....	33
2.2.2 Subestação de energia elétrica	34
2.2.3 Geração de energia elétrica	35
2.2.4 Custo global com cogeração utilizando cavaco de madeira como combustível.....	37
2.2.5 Pay-Back do investimento.....	37
3 ANÁLISE	39
4 CONCLUSÃO	41
5 BIBLIOGRAFIA	42

Índice de Tabelas

Tabela 1. Custo global – processo produtivo.	25
Tabela 2. Condições de operação da fábrica nos dias atuais.....	29
Tabela 3. Custos operacionais anual sem a cogeração existente – Caldeira	30
Tabela 4. Custos operacionais anual com a cogeração existente - Caldeira	31
Tabela 5. Consumo de Combustível – gerando 45 toneladas de vapor/hora.	33
Tabela 6. Custo operacional com a nova cogeração Bagaço de cana- de-açúcar versus Cavaco de madeira.....	35

Índice de Figuras

Figura 1. Esquema da visão geral de uma termelétrica.....	14
Figura 2. Visão externa caldeira em termelétrica.....	18
Figura 3 Turbina de ação e princípio de força de ação.	20
Figura 4. Turbina de reação e princípio de força de reação.	20
Figura 5. Turbina de contrapressão.	21
Figura 6. Turbina de contrapressão com extração.....	22
Figura 7. Turbina de condensação.....	22
Figura 8. Ciclo de cada tipo de turbina em termelétrica.	23
Figura 9. Condensador.....	23
Figura 10. Gerador Síncrono: visão externa.....	24
Figura 11. Turbina de extração e condensação – A) Parte frontal da turbina; B) Rotor da turbina; C) Carcaça superior da turbina.	27
Figura 12. Gerador síncrono– A) Lado desacoplado do gerador com visão da excitatriz aberta; B) gerador acoplado ao redutor de velocidade.	27
Figura 13. Caldeira.	28

Lista de Siglas e Abreviaturas

Kgf/cm ²	Quilograma-força por centímetro quadrado
MW	Megawatt
MW/h	Megawatt-hora
O&M	Operação e manutenção
Rpm	Rotações por minuto
Ton/h	Tonelada por hora
TUSD	Tarifa de uso dos sistemas elétricos de distribuição

RESUMO

Esse trabalho de conclusão de curso tem como base, analisar a viabilidade técnica/econômica e relatar novas alternativas para reativar a geração de energia elétrica, proveniente de fonte termelétrica. O estudo tem a missão de explorar e definir os impactos financeiros e no processo, causado com o retorno da termelétrica existente e propor a aquisição de uma termelétrica nova. A estrutura metodológica está embasada em informações obtidas através de um estudo de caso com valores reais. Os resultados relatados no estudo de caso evidenciam a importância das indústrias, serem autossuficientes, gerando sua própria energia elétrica, para tornar seu produto mais competitivo no mercado.

INTRODUÇÃO – ELEMENTOS INICIAIS

O estudo para criação de novas alternativas vem sendo uma das missões mais difíceis dentro de uma grande organização. A energia elétrica é um item extremamente essencial para o processo de qualquer produto e, no ramo das indústrias frigoríficas, não é diferente, pois esse item impacta em 40% do custo para processar o produto final. Tal relevância faz com que as empresas busquem alternativas visando reduzir esse custo, investindo em sua geração de energia elétrica própria.

Nesse viés, o investimento em geração própria torna-se tendência mundial e no Brasil, essa necessidade é maior, pois a grande carga tributária e encargos tornam a energia elétrica uma das mais caras, impactando expressivamente no custo final de qualquer produto produzido no país. As empresas, além de buscarem alternativas em investimentos para a sua própria geração de energia elétrica, também estão com máxima atenção para que essa energia seja proveniente de fontes renováveis, colaborando para a sustentabilidade dos recursos e tornando seu produto mais competitivo.

Em função da análise supracitada, a Frigoríficasp¹ (empresa onde o estudo de caso, apresentado nesse trabalho, foi realizado) busca alternativas para tornar-se uma empresa mais sustentável e com um produto mais competitivo no mercado. Em meados de 2003, a Frigoríficasp construiu uma estrutura civil e adquiriu equipamentos (caldeira, turbina e gerador) usados

¹ O real nome da empresa, onde se realizou a pesquisa/estudo de caso, não será citado, pois, a mesma não autorizou divulgá-lo, com isso, a chamaremos por ser nome fictício, Frigoríficasp.

para gerar energia elétrica, com capacidade de 4MWh; na época, totalmente viável, pois utilizava bagaço de cana-de-açúcar como fonte de queima para a caldeira. Esse bagaço (biomassa) era descartado pelas usinas e adquirido para uso pela Frigoríficasp, tornando-se uma geração com custo variável unitário – CVU muito baixo.

No ano de 2006, devido ao crescimento de fontes de energia biomassa, esse combustível começou a ficar mais escasso e ter um custo. No mesmo ano, a Frigoríficasp precisou de manutenção corretiva na turbina e caldeira, mas esse reparo foi inviabilizado pela diretoria da empresa, que optou por desativar a cogeração existente. Nos dias atuais, o departamento de engenharia da empresa apresentou para a atual diretoria geral o quão viável é, financeira e sustentavelmente, investir em sua própria geração de energia elétrica através de fonte renovável. A proposta do setor de engenharia apresentou uma análise comparativa da reativação da cogeração existente em relação à construção de uma nova cogeração (com maior capacidade e melhor eficiência).

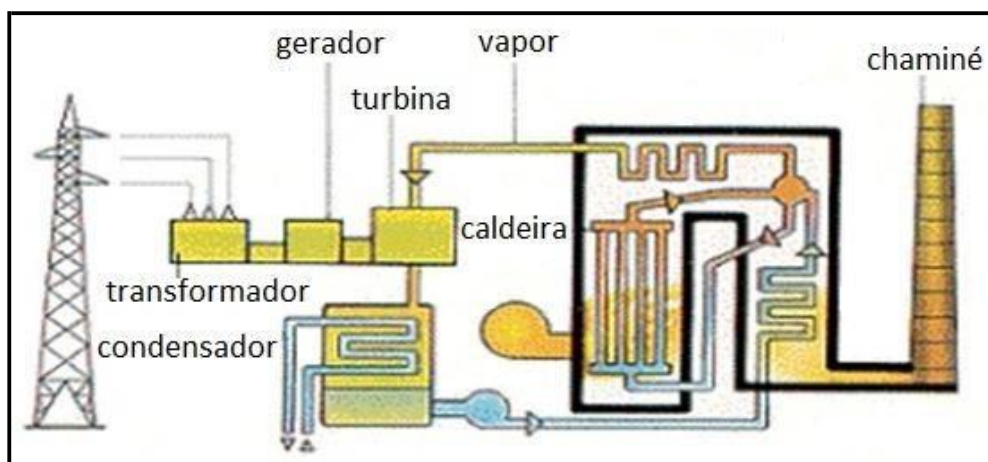
O estudo de caso, aborda toda a estrutura de funcionamento da usina termelétrica, mensura o pay-back do investimento para reformar a geração existente (termelétrica desativada, por defeitos na turbina a vapor) na indústria e de uma nova geração com maior capacidade, melhor tecnologia e maior viabilidade financeira. Este trabalho tem como objetivo demonstrar o quão vantajoso é o investimento em geração de energia elétrica, levando em consideração todas as particularidades do processo em uma indústria frigorífica, bem como os grandes benefícios gerados.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Termelétrica

Define-se Usina termelétrica (Figura 1) como uma instalação industrial, a qual tem como intuito, através de seu funcionamento, a geração de energia elétrica. Para que ocorra a geração dessa energia, são utilizados meios combustíveis renováveis ou não renováveis, por exemplo: bagaço de cana-de-açúcar, óleo diesel, carvão natural, urânio (enriquecido), madeira e gás natural, l (TODA MATÉRIA, 2015; SILVA, et al., 2015).

Figura 1. Esquema da visão geral de uma termelétrica



Fonte: BRANCO, 2005.

O funcionamento de uma termelétrica dá-se primeiramente, através da caldeira, na qual ocorre o processo de aquecimento da água. A fonte para a geração desse aquecimento gerado, é realizada através da queima de um combustível específico, a exemplo, o bagaço de cana-de-açúcar e a partir dessa queima, produz

vapor acima da pressão atmosférica. Tubulações conduzem o vapor até a turbina, onde a energia térmica (provinho do vapor) é usada como energia cinética, transformando essa energia cinética em mecânica de rotação (por meio do vapor, que atua nas pás rotativas). Na sequência a turbina é conectada a um redutor de velocidade e o gerador elétrico no eixo de baixa velocidade, resultando no movimento do gerador; esse movimento (energia mecânica), por sua vez, gera energia elétrica. Através de cabos condutores, a energia elétrica é transmitida, consumida internamente (dependendo da planta industrial) e também será conduzida para uma subestação de energia. Na subestação de energia, haverá a ação de transformadores, os quais, são responsáveis em elevar o nível de tensão, possibilitando assim, que a energia elétrica seja distribuída para as linhas de transmissões (BRANCO, 2005; SILVA, et al., 2015).

Conforme o tipo de turbina (tipo contra-pressão ou condensação), o vapor produzido pode ser conduzido a um condensador ou utilizado em processos industriais, os quais, necessitem de aquecimento. É no condensador, que a circulação de água (proveniente da torre de resfriamento) ocorre e o vapor é resfriado, o que o faz retornar em sua fase inicial (fase líquida); o ciclo recomeça, pois, a água condensada retorna para a caldeira (BRANCO, 2005).

As termelétricas trazem vantagens e desvantagens, no âmbito de implantação e funcionamento. Uma vantagem é que a planta industrial de uma termelétrica tem possibilidade de ser construída de forma rápida e em locais acessíveis, próximos às cidades. Devido sua proximidade ao ambiente urbano (ponto final de utilização), tem-se como resultado, uma diminuição consideravelmente vantajosa em relação às linhas de transmissões, reduzindo custos e desperdícios de energia. Em relação à desvantagem, um dos pontos em evidência, é sobre a queima dos combustíveis utilizados para geração da energia, devido o alto índice de poluição atmosférica que ela causa. Isso implica no aumento do efeito estufa e chuvas ácidas, agravando o

aquecimento global, fomentando um estado de desvantagem, em relação ao impacto ambiental (SILVA, et al., 2015, p. 21).

Com a demanda, do consumo de energia no Brasil, crescendo e os problemas decorrente da falta de água nos reservatórios das hidrelétricas, ficando cada vez maiores, torna-se obrigatório para a composição da matriz energética nacional, uma maior atenção político-científica, além da conscientização social, visando alternativas de fontes de energia.

Nesse contexto, com incentivo do governo, foi proposta uma geração independente descentralizada, para pequenas centrais termelétricas, hidrelétricas e aumento na geração de energia através da cogeração (processo de produção combinada de calor e energia elétrica, a partir de um único combustível) com a finalidade de se obter, benefícios econômicos, sociais e ambientais (SILVA, et al., 2015, p. 22).

1.2 Formação do bagaço de cana-de-açúcar para a Geração de Energia

Algumas usinas de cana-de-açúcar não reutilizam o próprio bagaço de cana-de-açúcar, na cogeração de energia, devido sua estrutura industrial não ser apropriada para tal processo. Esse bagaço é colocado à venda e outras usinas e/ou termelétricas o adquirem, para a cogeração de energia (SILVA, et al., 2015).

O processo de utilização do bagaço, dá-se a partir do cultivo da cana-de-açúcar, realizado em áreas rurais, colhida (em maior proporção: mecanicamente por máquinas colhedoras de cana-de-açúcar) e transportada por caminhões (adequados a função da área rural), até a planta industrial. Esses caminhões passam por processo de pesagem, a cana-de-açúcar colhida passa por análise,

para que sua qualidade e também o rendimento dos canaviais, possam ser avaliados (FERRAZ, 2015).

Terminado este processo, a cana-de-açúcar é descarregadas nas mesas alimentadoras, é conduzida para esteira metálica e inicia-se o processo do preparo da cana, que é triturada por picadores e desfibradores. Após esse preparo, para a retirada de materiais metálicos que possam estar presentes, a cana passa pela esteira de borracha que possui em seu equipamento um eletroímã. A cana desfibrada segue para os ternos de moenda (extração do caldo, para o processo do açúcar e álcool) e na saída do último terno, é obtido o bagaço de cana-de-açúcar (onde a queima do mesmo), que alimentará a fornalha da caldeira (FERRAZ, 2015).

1.3 A Caldeira

Em uma termelétrica, a caldeira (Figura 2) é o mais importante gerador de vapor, trabalhando com pressão acima do valor da pressão atmosférica. A água circula internamente através de um conjunto de tubos, onde em suas superfícies, ocorre a transferência de calor transformando-a, do estado líquido para gasoso (vapor). Os mais variados tipos de caldeiras, possuem em suas constituições físicas equipamentos integrados, que possibilitam um maior rendimento térmico e boa segurança.

Figura 2. Visão externa caldeira em termelétrica.



Fonte: SERTATEC, 2015.

Os componentes típicos da caldeira são:

- 1) Cinzeiro: local de deposição de cinzas e resto de combustíveis, que caem da fornalha.
- 2) Fornalha: local onde inicia o processo da queima dos combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos.
- 3) Câmara de Combustão: pode ser confundido com a fornalha, mas é completamente independente. É o volume onde se deve manter a temperatura da chama elevada, para consumir todo o combustível, antes dos produtos de combustão atingirem e penetrarem, no feixe dos tubos.
- 4) Tubos Evaporadores: constitui de um vaso fechado a pressão, contendo água em seu interior, no qual será recebido calor e transformado em vapor.
- 5) Superaquecedor: consiste de um ou mais feixes tubulares, é responsável pela elevação da temperatura do vapor saturado, originado na caldeira.
- 6) Economizador: o calor residual dos gases de combustão direcionados à chaminé, é aproveitado para reaquecer a água de alimentação. É normalmente instalado após os superaquecedores.
- 7) Pré-aquecedor de ar ou Pré-ar: como no economizador, é aproveitado o calor dos gases provenientes da combustão pré-aquecendo o ar, que será introduzido na fornalha.
- 8) Canais de gases: são canais que conduzem os gases da

combustão até a chaminé.

9) Chaminé: é a parte que garante a eliminação dos gases com velocidade e altura adequada para o ambiente, o efeito de tiragem promove uma boa circulação dos gases quentes da combustão, através de todo sistema (SILVA, et al., 2015, p. 23-24).

1.4 A Turbina

A turbina a vapor, através da energia térmica do vapor, é usada na forma de energia cinética e essa energia é transformada em mecânica de rotação. Realizem dois tipos de acionamentos, elétrico ou mecânico:

No Acionamento elétrico, os geradores mantem uma velocidade síncrona, dependendo da construção do gerador (1800 ou 3600 rpm), isso para manter por exemplo, uma frequência de 60 Hertz na rede elétrica. Esse acionamento é feito por meio de um redutor de velocidade, que é um equipamento mecânico que reduz a velocidade da turbina (6000 rpm ou 5440 rpm) transmitida ao gerador. No acionamento mecânico, por exemplo, em uma usina de cana-de-açúcar, turbinas a vapor podem fazer o acionamento de bombas d'água para alimentação de uma caldeira, desfibradores, picadores e moendas, entre outros tipos de acionamentos. Em diferentes tipos de plantas industriais ou grandes equipamentos de rotação, o acionamento pode ser direto ou através de redutores de velocidade (SILVA, et al., 2015, p. 26).

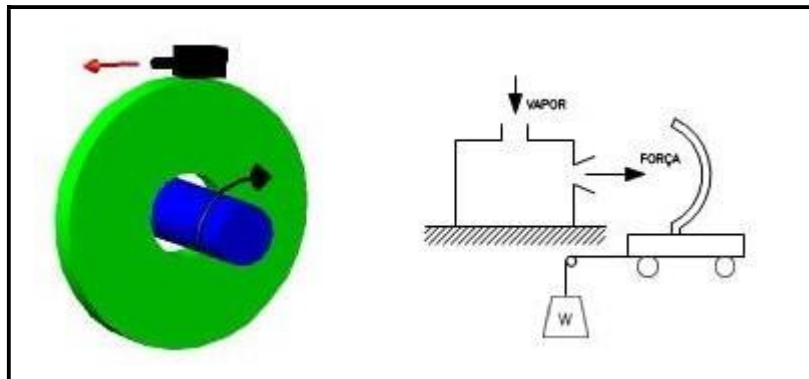
1.4.1 Tipos de turbinas para centrais termelétricas de combustível que utilizam bagaço de cana-de-açúcar

O princípio de funcionamento das turbinas está relacionado, às Forças de Ação e Força de Reação:

- Na Força de Ação, quando o expansor for fixo e o jato de vapor estiver direcionado contra um anteparo móvel, essa força de ação do jato de vapor,

deslocará o anteparo na direção do jato, resultando no levantamento do peso W , que pode ser observado na Figura 3 abaixo (FERRAZ, 2015).

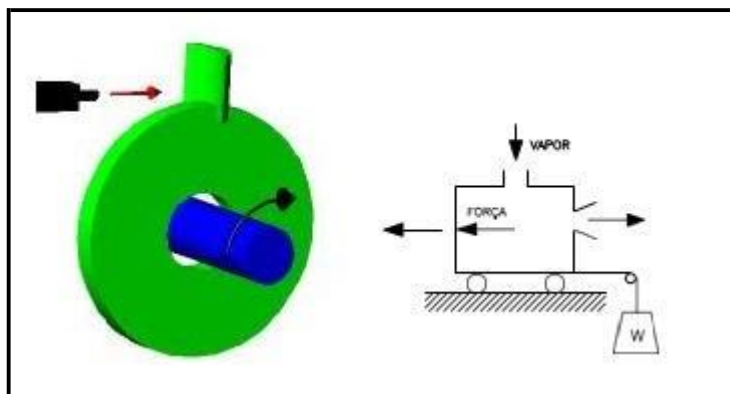
Figura 3 Turbina de ação e princípio de força de ação.



Fonte: FERRAZ, 2015.

-Na Força de Reação, caso o expansor mova-se, a força de reação que atua sobre ele, causará seu deslocamento em direção oposta do jato de vapor, levantando o peso W , conforme demonstra a Figura 4, a seguir (FERRAZ, 2015):

Figura 4. Turbina de reação e princípio de força de reação.

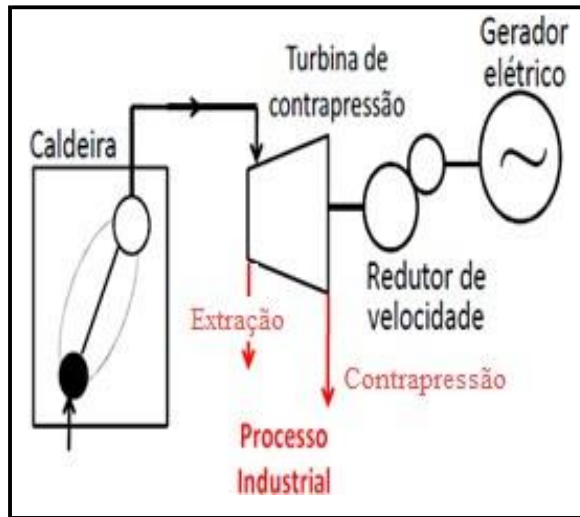


Fonte: FERRAZ, 2015.

Avaliando o tipo de descarga da turbina a vapor, encontra-se a turbina de contrapressão e turbina de condensação. Para turbina de contrapressão (Figura 5),

o vapor na saída da turbina está em uma pressão igual ou superior, da pressão atmosférica e devido às considerações de eficiência, operam em maior velocidade.

Figura 5. Turbina de contrapressão.



Fonte: TGM, 2015.

Conforme o tipo da construção e a necessidade do processo industrial, podem ter uma tomada (sangria) ou extração controlada (Figura 6), fornecendo assim, parte do fluxo de entrada (em média ou baixa pressão). Quando o volume do vapor de escape for bem maior que a extração, as tomadas (sangrias) são utilizadas; essas tomadas, operam para vapor de entrada (vapor de admissão) igual a 80% da vazão máxima de vapor, admitido pela turbina. Para a extração controlada é usualmente utilizada, quando o volume de fluxo de vapor de extração for alto, quando comparado ao vapor de escape (FERRAZ, 2015).

Figura 6. Turbina de contrapressão com extração.



Fonte: TGM, 2015.

Na Turbina de condensação (Figura 7), comparada à turbina de contrapressão, o vapor da saída (vapor de escape), vai direto para um condensador a uma pressão inferior à atmosférica (vácuo).

Figura 7. Turbina de condensação.

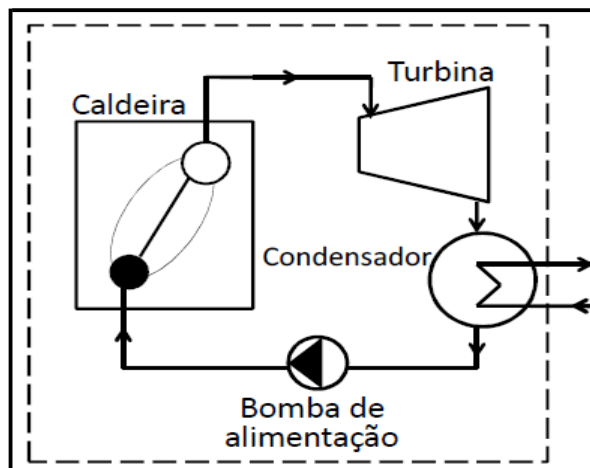


Fonte: TGM, 2015.

Esse tipo de turbina é maior que a de contrapressão e apresenta uma maior eficiência, pois, o vapor de escape segue diretamente do seu interior, para o

condensador, beneficiando assim o prosseguimento contínuo do ciclo (Figura 8) e gerando uma eficiência maior (FERRAZ, 2015).

Figura 8. Ciclo de cada tipo de turbina em termelétrica.



Fonte: TGM, 2015.

O vapor de escape, oriundo da turbina de condensação, entra diretamente no condensador (Figura 9), o qual trabalha como “um trocador de calor, passando o vapor da exaustão da turbina para o estado líquido e utiliza a água como fonte de resfriamento” (SILVA, et al., 2015, p. 30-31).

Figura 9. Condensador.



Fonte: TEIXEIRA, 2013

1.5 Gerador Síncrono

A maior parte da energia elétrica consumida no Brasil é transformada por geradores síncronos (Figura 10); são equipamentos elétricos de elevada importância para a engenharia, utilizados na maioria das vezes, em centrais hidrelétricas e térmicas. A principal função de um gerador síncrono em uma central térmica, é transformar a energia mecânica de movimento, decorrente da máquina motriz (turbina térmica), em energia elétrica (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2015; SILVA, 2012).

Figura 10. Gerador Síncrono: visão externa.



Fonte: SILVA, 2012

2 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo apresenta-se um estudo de caso o qual compara a viabilidade de investimento para reativar a geração de energia elétrica existente, ou à construção de uma cogeração com maior capacidade e melhor tecnologia utilizando, assim, o prédio civil existente. Utilizando esse estudo de caso, objetiva-se demonstrar através de números reais, o quão atrativo é para a indústria frigorífica, ser autossustentável em energia elétrica. Obtendo a sua própria geração de energia elétrica, seu produto torna-se mais competitivo e aproveitando o excedente de geração para exportar, gerando um acréscimo financeiro fora do seu mercado principal.

O estudo de caso foi realizado a partir de levantamento de dados técnicos, do processo produtivo de uma indústria frigorífica, localizada no interior do estado de São Paulo. O nome da empresa, onde se realizou a pesquisa não será citado, pois, a mesma não autorizou divulgá-lo. Com isso, a chamaremos por ser nome fictício: Frigoríficasp.

A capacidade de abate da Frigoríficasp é de 1200 cabeças de gados por dia, o qual utiliza para seu processo produtivo energia elétrica comprada no mercado livre com demanda contratada de 7 Megawatt (MW) e vapor de água produzido pela Caldeira. O custo global, para o seu processo produtivo pode ser observado na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1. Custo global – processo produtivo.

ITEM	% CUSTO GLOBAL
Elétrica	40%
Caldeira - tratamento de agua, combustível (biomassa), Combustível óleo diesel e O&M	15%
Funcionários	45%

Em função do grande impacto financeiro do item energia elétrica, mensurado no custo global supracitado, a equipe da Engenharia Corporativa recebeu a tarefa de encontrar uma forma de reduzir esse impacto.

A ideia inicial da Equipe de Engenharia foi de reativar a termelétrica existente na indústria, com capacidade de geração de energia elétrica de 4MW, desativada desde 2006. Na época da desativação, o alto custo de manutenção nos equipamentos foi o motivo apontado, para tal ação.

No momento presente², foi realizado um levantamento de todos os equipamentos e também avaliou-se o impacto técnico e financeiro para que a termelétrica desativada retorne ao seu funcionamento.

A seguir, pode-se observar nas Figuras 11 a 13 (Turbina, Gerador e Caldeira), a Termelétrica existente, porém, desativada na Frigoríficasp:

² Ano de 2019.

Figura 11. Turbina³ de extração e condensação – A) Parte frontal da turbina; B) Rotor da turbina; C) Carcaça superior da turbina.

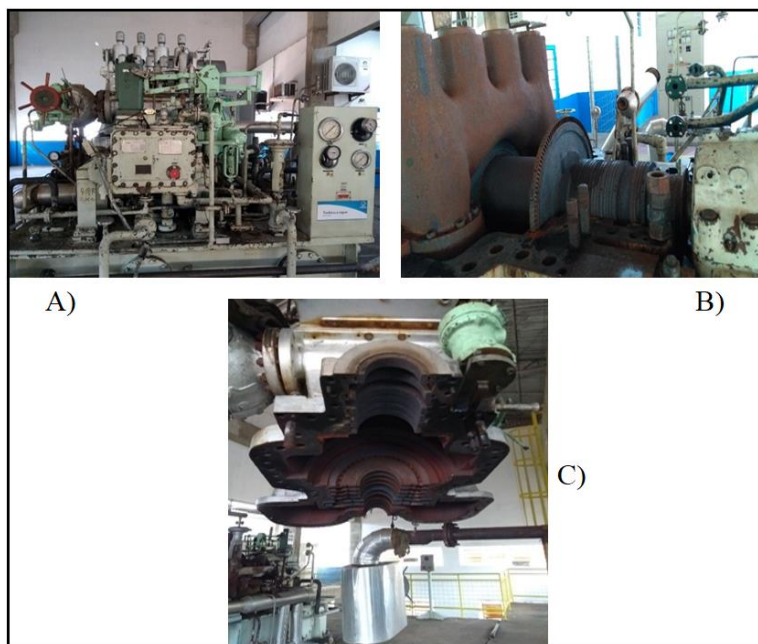
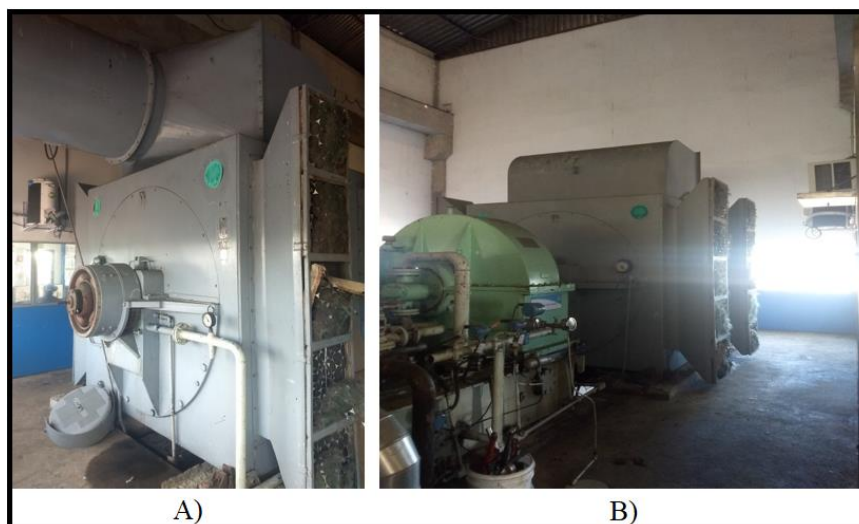


Figura 12. Gerador síncrono⁴– A) Lado desacoplado do gerador com visão da excitatriz aberta; B) gerador acoplado ao redutor de velocidade.



³ Turbina de extração e condensação, Worthington, fabricada em 1957, com capacidade de geração de 4MW.

⁴ Gerador síncrono, Electric Machinery, fabricado em 1995, com capacidade de geração de 5MVA, com fator de potência de 0,8.

Figura 13. Caldeira.⁵

2.1 Impacto do retorno da cogeração existente

Foi realizado o estudo geral de todos os equipamentos existentes e avaliado o investimento necessário para colocá-los em funcionamento. Desativada desde 2006, a cogeração existente operava com 50% da sua capacidade de 4MWh, ou seja, gerava apenas 2MWh. O motivo identificado para que a operação ocorresse somente em parte de sua capacidade foi o desarme por vibração na turbina e tal fato ocorria quando a mesma trabalhava acima de 50% da sua capacidade para gerar. Para solucionar esse problema (na época), era necessário investir 300 mil reais em manutenção corretiva na turbina. Outro fator

⁵ Caldeira, Equipalcool, fabricada em 1996, com capacidade para produzir 45 toneladas de vapor por hora a uma pressão de 38kgf/cm² e temperatura de 380°C.

que também contribuiu para que a desativação ocorresse foi o alto custo com o preço da biomassa (combustível da Caldeira - Bagaço de cana). Na época as usinas suco energéticas começaram a investir em suas próprias cogerações de energia elétrica, utilizando assim, a biomassa, ou seja, o que era considerado um resíduo indesejado, agora torna-se escasso no mercado, gerando um custo considerável para consegui-lo.

Para o estudo atual, foram convidadas seis empresas fabricantes e especialistas em manutenção de turbinas a vapor, geradores elétricos e caldeiras: WEG, TGM, NG Metalúrgica, General Electric, Caldema e Triniton. O orçamento médio proposto por essas empresas para realizarem a manutenção em todos os equipamentos (turbina, redutor de velocidade, gerador e Caldeira) e colocá-los nas condições de projeto: cogeração de 4MWh, foi de 5 milhões de reais.

O levantamento abaixo (Tabela 2) foi feito com base no histórico dos 12 meses anteriores.

Tabela 2. Condições de operação da fábrica nos dias atuais

Demanda contratada de energia elétrica	7MW
Valor da energia comprada no mercado livre	250MWh
Pressão de vapor utilizado na fábrica	10kgf/cm ²
Volume médio de vapor utilizado na fábrica	20Ton/h

A fábrica tem produção de segunda-feira a sexta-feira (nos finais de semana não tem produção), totalizando 6.264 horas de produção. Nos finais de semana a fábrica não consome vapor e o consumo de energia elétrica cai em aproximadamente 60%.

Atualmente sem a cogeração, a caldeira trabalha de forma reduzida (apenas para alimentar o processo), atingindo aproximadamente 45% da sua capacidade.

Em relação aos custos operacionais:

- Tratamento de água: produtos químicos, para o tratamento⁶ da água utilizada na Caldeira e torres de resfriamento;
- Óleo diesel: utilizado para abastecer as máquinas carregadeiras que jogam o bagaço na moega de alimentação da caldeira;
- Custo com O&M: manutenções diversas na caldeira;
- Energia comprada no mercado livre⁷

O custo operacional anual, sem a cogeração de energia elétrica existente, totaliza um valor de R\$17.930.591,60, que pode ser observado na Tabela 3, abaixo:

Tabela 3. Custos operacionais anual sem a cogeração existente – Caldeira

Item	Valor	Consumo/ano	Valor total/ano
Combustível utilizado – Bagaço de Cana de açúcar	R\$ 128,00 a tonelada de bagaço de cana	60.000 toneladas de bagaço de cana	R\$7.680.000,00
Tratamento de água	R\$ 80.000,00	-	R\$ 80.000,00
Óleo diesel	R\$100.591,60	-	R\$100.591,60
O&M (Utilizado para manutenções diversas na caldeira)	R\$70.000,00	-	R\$70.000,00
Energia Elétrica	R\$250,00 ⁸ /MWh	40.000MWh	R\$10.000.000,00
Valor Total do Custo Operacional			R\$17.930.591,60

Em relação ao custo operacional anual, com a cogeração existente (cogeração ativada), a caldeira trabalhará com 100% da sua capacidade, por isso, o consumo de combustível aumenta consideravelmente.

⁶ Tratamento químico da água, auxilia na prevenção de desgastes dos equipamentos, evitando corrosão nas tubulações da Caldeira e Torre.

⁷ Energia incentivada com 50% de desconto na Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Distribuição - TUSD.

⁸ Valor da energia comprada — Contrato até 2022.

A estimativa do volume de energia utilizado durante o ano é de 40.000MWh. Em um ano, com 8.760 horas, consideramos que a cogeração gerará aproximadamente 7.500 horas (multiplicou-se pelo fator⁹ 0,85, considerando eventuais paradas da cogeração de energia elétrica, por variação de vapor da caldeira ou qualquer outro sinistro que possa ocorrer). Baseado nesse cálculo, a geração estimada será de 30.000MWh/ano, porém, o consumo anual estimado é de 40.000MWh/ano, o que resulta na necessidade de adquirir 10.000MWh/ano no mercado livre de energia elétrica.

O custo operacional anual, com a cogeração de energia elétrica existente totaliza um valor de R\$20.212.023,92, que pode ser observado na Tabela 4 abaixo:

Tabela 4. Custos operacionais anual com a cogeração existente - Caldeira

Item	Valor	Consumo/ano	Valor total/ano
Combustível utilizado – Bagaço de Cana de açúcar	R\$ 128,00 a tonelada de bagaço de cana	136.417,44 toneladas de bagaço	R\$17.461.432,32
Tratamento de água	R\$ 80.000,00	-	R\$ 80.000,00
Óleo diesel	R\$100.591,60	-	R\$100.591,60
O&M (Utilizado para manutenções diversas na caldeira)	R\$70.000,00	-	R\$70.000,00
Energia Elétrica	R\$250,00/MWh	10.000MWh	R\$2.500.000,00
Valor Total do Custo Operacional			R\$20.212.023,92

Com a reativação da cogeração existente a empresa tem um prejuízo de R\$2.281.432,32 por ano: $R\$20.212.023,92 - R\$ 17.930.591,60 = R\$2.281.432,32$ (custo anual com a cogeração, menos, o custo anual sem a cogeração), demonstra que o projeto é totalmente inviável. Nesse projeto o valor do MW/h é de R\$326,05, enquanto, no mercado livre de energia o valor do MWh é de R\$250,00:

⁹ Fator baseado no histórico de paradas de uma cogeração existente.

- $MW/h = (\text{custo global da caldeira com a cogeração de energia elétrica} - \text{custo global da caldeira sem a cogeração de energia elétrica}) / \text{volume de geração de energia} \rightarrow$
 $(R\$17.461.432,32 + R\$250.591,60 - R\$7.680.000,00 + R\$250.591,60) / 30.000 \text{ MWh}$
 $= R\$326,05 \text{ MW/h.}$

2.2 Projeto de uma cogeração nova, com maior capacidade, melhor eficiência e tecnologia

Entende-se como projeto de uma cogeração nova a aquisição de equipamentos novos, com foco em eficiência energética, atendimento ao processo, sustentabilidade e retorno financeiro do investimento. Em função das premissas citadas e para que as mesmas fossem atendidas, analisou-se várias situações, escolhendo assim, o melhor projeto. A variação no processo (demanda de vapor para fábrica) causa impacto, na modelagem do projeto da melhor turbina para atendimento desses itens. O melhor projeto para atendimento dos itens supracitados segue abaixo:

Nova Caldeira:

- Pressão – 67kgf/cm² ;
- Vazão – 45toneladas/h ;
- Temperatura – 520°C ;
- Combustível – Bagaço de cana e cavaco de madeira;

Em relação ao consumo de combustível, para gerar 45 toneladas de vapor/hora pode ser observado na tabela 5 a seguir:

Tabela 5. Consumo de Combustível – gerando 45 toneladas de vapor/hora.

Combustível	Toneladas
Bagaço	150.402,67
Cavaco ¹⁰	110.895,12

Em relação ao quesito sustentabilidade, o projeto atende às normas¹¹ e regulamentações em relação aos particulados liberados na atmosfera.

2.2.1 Turbina, redutor de velocidade e condensador de vapor

A turbina de extração e condensação de vapor é projetada para converter o máximo de energia térmica (vapor), em energia mecânica (movimento), durante o período estabelecido (dias úteis/semana) para seu funcionamento alimentando, assim, o processo (vapor para fábrica) e condensando todo o vapor de entrada em seu condensador (retornando o condensado - vapor na fase líquida/água) para caldeira. Esse ciclo, mantém-se fechado e utiliza o mínimo de água possível (na caldeira), quando não tem processo na fábrica (finais de semana).

Em função dos dados citados, a turbina foi projetada para gerar 9MW/h, extraíndo o maior pico de vapor (25 toneladas/h), demandado para fábrica e 10MW/h (20 toneladas/h), extraíndo a demanda média de vapor para fábrica. Nos finais de semana, quando não há processo, a turbina gerará 12MW/h e condensará todo o vapor de entrada.

Em relação ao investimento:

- Conjunto¹² turbina, redutor e condensador: R\$8.000.000,00;

¹⁰ O Cavaco consome menos combustível, pois, seu poder calorífico é maior quando comparado ao poder calorífico do bagaço de cana.

¹¹ Resolução CONAMA n° 382, de 26 de dezembro de 2006.

¹² Fabricante WEG

- Caldeira¹³: R\$25.000.000,00
- Tratamento de água: em função das premissas, o tratamento de água utilizado para o projeto foi o de osmose reversa, com um investimento de R\$5.000.000,00. Além desse projeto gerar um custo bem menor com manutenção, O&M, ele apresenta uma maior eficiência, em relação ao do uso da água desmineralizada.
- Gerador síncrono de 4 polos (fabricante WEG), fator de potência 0,8, capacidade de geração de 15MW/h, com periféricos necessários: painel de sincronismo automático à rede da concessionária e painel de excitação automático; o investimento para o gerador síncrono, foi de R\$3.000.000,00.

2.2.2 Subestação de energia elétrica

Todo o conjunto subestação de energia elétrica compreende equipamentos de proteção, transformação e controle, com capacidade para 12MW e o investimento aplicado será de R\$1.800.000,00.

Os equipamentos supracitados, serão fornecidos na modelada Turn Key (chave na mão), abrangendo os custos de instalações de infraestrutura elétrica, mecânica, caldeiraria, entre outros, inclusos nas propostas, totalizando um investimento total de R\$42.800.000,00 para obter a cogeração de 12MW/h. Os únicos itens que serão utilizados da cogeração antiga, serão, o prédio civil existente e a torre de resfriamento de água do condensador da turbina.

Analisando os itens (Tabela 6), que compreendem o projeto escolhido, o custo operacional com a nova cogeração, ficaria da seguinte forma:

¹³ Fabricante Caldema

Tabela 6. Custo operacional com a nova cogeração Bagaço de cana-de-açúcar versus Cavaco de madeira.

	Bagaço de cana¹⁴ como combustível	Cavaco de madeira¹⁵ como combustível
Preço/tonelada	R\$128,00	R\$156,00
Consumo de combustível tonelada/ano	150.402,67	110.895,12
Custo com combustível/ano	R\$19.251.537,92	R\$17.299.638,72
Custo com O&M, tratamento de água e óleo diesel/ano	R\$453.500,00	R\$453.500,00
Custo Operacional	R\$19.705.037,92	R\$17.753.138,72

2.2.3 Geração de energia elétrica

Para a geração e energia elétrica, utilizando um fator de correção de 0,9, pois, trata-se de uma cogeração totalmente nova, a probabilidade média de paradas por operação ou manutenção, é de 10% ao ano, a geração total fica em:

- Durante os finais de semana = 52 finais de semana durante o ano x 2 (sábado e domingo) = 104 dias. $104 \times 12\text{MW/h}^{16} = 1248\text{MW} \times 24\text{h}^{17} = 29.952 \text{ MWh}$ gerado durante todos os finais de semana do ano.

¹⁴ Cotação média dos últimos 12 meses (junho de 2018 até maio de 2019).

¹⁵ Cotado no mês de maio/2019; possibilidade contrato de 5 anos, sem alteração do valor.

¹⁶ Quantidade gerada durante o final de semana, pois, não há produção.

¹⁷ Quantidade de horas/dia.

- Durante os dias úteis da semana = 104 dias – 365 dias = 261 dias. $261 \times 9\text{MW/h}^{18} = 2349\text{MW} \times 24 \text{ h} = 56.376\text{MWh}$.

Realizando a somatória da geração de energia elétrica, durante os dias úteis da semana e dos finais de semana, chega-se a um valor de 86.328MWh. A quantidade de energia utilizada na fábrica durante o ano = 40.000MWh, menos o valor gerado, tem-se um excedente de 46.328 MWh de geração de energia elétrica. O valor adquirido, exportando o excedente de energia elétrica é de R\$11.582.000,00 ($46.328 \times 250 = 11.582.000$).

O comparativo entre o custo global sem geração e com cogeração, utilizando bagaço de cana como combustível, pode ser observado, a seguir:

(Custo com combustível) – (Custo global sem a cogeração de energia elétrica) + (Custo com O&M, tratamento de água e óleo diesel) – (Ganho com exportação de energia) = ganho com a cogeração nova utilizando bagaço de cana como combustível.

$$\text{R}\$19.251.537,92 - \text{R}\$17.930.951,60 = \text{R}\$1.320.586,32 \rightarrow \text{R}\$1.320.586,32 + \text{R}\$453.500,00 - \text{R}\$11.582.000,00 = \text{R}\$9.807.913,68$$

Para MW/h = (Custo global da caldeira com a cogeração de energia elétrica – custo global da caldeira sem a cogeração de energia elétrica) / (volume de geração de energia):

$$(\text{R}\$19.251.537,92 + \text{R}\$453.500,00) - (\text{R}\$7.680.000,00 + \text{R}\$250.591,60) / 86.326 \text{ MW/h} = \text{R}\$136,40 \text{ por MW/h, ou seja, bem abaixo do valor pago no mercado livre, que é de R}\$250,00 \text{ por MW/h.}$$

¹⁸ Valor médio gerado durante os dias úteis da semana.

2.2.4 Custo global com cogeração utilizando cavaco de madeira como combustível

O comparativo entre o custo global com cogeração e sem cogeração, utilizando cavaco de madeira como combustível, pode ser observado a seguir:

(custo global sem a cogeração de energia elétrica) – (custo com combustível) + (custo com O&M, tratamento de água e óleo diesel) - (ganho com exportação de energia) = ganho com a cogeração nova utilizando cavaco de madeira como combustível.

$$R\$17.930.951,6 - R\$17.299.638,72 + R\$453.500 - R\$11.582.000 = R\$11.759.812,88$$

Para MW/h = (Custo global da caldeira com a cogeração de energia elétrica – custo global da caldeira sem a cogeração de energia elétrica) / volume de geração de energia = (R\$17.299.638,72 + R\$453.500,00) – (R\$7.680.000,00 + R\$250.591,60) / 86.326 MW/h = R\$113,78 por MW/h, ou seja, bem abaixo do valor pago no mercado livre, que é de R\$250,00 por MW/h.

Considerando que o ativo tem vida útil de 20 anos, para avaliar o prazo de retorno do investimento, foi utilizado o método de pay-back simples.

2.2.5 Pay-Back do investimento

O projeto torna-se viável utilizando quaisquer dos combustíveis (bagaço ou cavaco de madeira), porém, a opção por uma caldeira que queime os dois combustíveis é altamente considerável, pois visa mitigar as oscilações de preço dos combustíveis. A oferta de bagaço é sazonal e depende da safra da cana de açúcar e para complementar essa sazonalidade. Pode-se, então, utilizar o cavaco de madeira que tem sua oferta complementar com a sazonalidade do bagaço de cana.

Um comparativo entre o bagaço de cana e cavaco de madeira, em relação ao tempo (anos), para se pagar o investimento, pode ser observado logo abaixo¹⁹:

- bagaço de cana = $R\$42.800.000,00 / R\$9.807.913,68 = 4,36$ anos para pagar o investimento.
- cavaco de madeira = $R\$42.800.000,00 / R\$11.759.812,88 = 3,64$ anos para pagar o investimento.

Com o payback simples é possível notar que, em ambas as situações de uso: bagaço de cana-de-açúcar ou cavaco de madeira, o projeto é viável, pois, tem uma vida útil de 20 anos em seus ativos. Para o combustível cavaco de madeira, tem-se a opção de contrato de 5 anos, com valor fixo de R\$156,00 por tonelada, viabilizando o retorno do capital investido e remunerando, por pelo menos mais um ano.

¹⁹ Investimento total do projeto = R\$42.800.000,00 ; Ganho com a cogeração nova utilizando bagaço de cano como combustível = R\$9.807.913,68; Ganho com a cogeração nova utilizando cavaco de madeira como combustível = R\$11.759.812,88.

3 ANÁLISE

O estudo realizado para avaliar o retorno da cogeração existente demonstra o quanto importante é a renovação dos ativos para se obter uma melhor performance energética e financeira, pois, no caso da Frigoríficasp, o combustível utilizado é comprado e a variação no preço desse combustível pode inviabilizar um projeto totalmente viável.

Na Frigoríficasp, pode-se observar quantitativamente os gastos gerados por um projeto obsoleto, na busca de eficiência energética em relação a um projeto novo com maior tecnologia, melhor eficiência e sustentabilidade. No quesito sustentabilidade, a nova caldeira é estruturada para não gerar particulado agressivo ao meio ambiente, além de apresentar maior capacidade de geração, ou seja, consome menos combustível e gera muito mais energia, de forma sustentável. Essa geração faz com que a Frigoríficasp seja autossuficiente em energia elétrica, gera receita e se enquadra no marketing sustentável, tornando-a uma empresa com perfil atrativo para exportação de energia elétrica. O mercado livre de energia incentiva a exportação de energia elétrica e o fato da Frigoríficasp ser uma empresa de capital aberto e ter perfil sustentável torna-se uma empresa bem-conceituada pelo mercado na questão sustentável.

Em relação à comparação dos valores apresentados na cogeração existente, o preço para geração de um 1MWh, descontando o combustível da caldeira, necessário para gerar vapor para o processo (custo que já é necessário para produção de proteína bovina da fábrica, independente de gerar energia elétrica) ficou em R\$326,05, enquanto que, no projeto da cogeração nova o preço oscilou de R\$113,78 a R\$136,40. Essa variação de preço (na cogeração nova) é por causa do combustível utilizado na caldeira, pois, nessa cogeração tem-se a possibilidade de queimar dois tipos de biomassa: bagaço de cana-de-açúcar ou cavaco de

madeira; mitiga-se a volatilidade de preços em função da oferta dos dois combustíveis, pois há a complementariedade sazonal de oferta para ambos os combustíveis.

O projeto da cogeração nova, confirma a viabilidade de renovação dos equipamentos (ativos), mesmo quando o gasto com preço do combustível é considerado alto, pois, renovando os ativos, houve uma capacidade maior de transformação de energia, utilizando menos combustível.

4 CONCLUSÃO

Conclui-se que um dos pontos mais interessantes, além do retorno financeiro do projeto da cogeração nova, é justamente a possibilidade de ser autossuficiente em geração de energia elétrica, pois não é possível saber como será a longo prazo, a compra de energia elétrica no mercado livre de energia elétrica, ou se haverá um novo racionamento de energia impactando o ramo industrial.

Outro ponto extremamente importante é a sustentabilidade, que atrelada a autossuficiência, fazem com que as organizações vislumbrem, dentro da visão estratégica de sobrevivência (a longo prazo), suas permanências no competitivo mercado. Uma empresa que pondera e investe nesses pontos, coloca-se à frente de tantas outras, as quais, não estão atentas à importância das questões sustentáveis e isso, pode ser decisivo para seu prestígio e posicionamento no mercado. O mundo moderno traz fortemente a característica de alta eficiência em produção, com o menor impacto ambiental possível, estimulando assim, a engenharia do ciclo de vida de produtos, em apresentar novas alternativas no âmbito do uso mínimo dos recursos naturais. Nesse viés, esse estudo de caso pôde demonstrar o quão importante é, para uma empresa como a Frigoríficasp, investir em um projeto novo de cogeração de energia elétrica renovável.

5 BIBLIOGRAFIA

BRANCO, F. P. **Análise termoeconômica de uma usina termelétrica a gás natural operando em ciclo aberto e em ciclo combinado.** 2005. 156 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2005.

FERRAZ, F. **Turbinas a Vapor.** Disponível em: <<https://fabioferrazdr.files.wordpress.com/turbinas-a-vapor>>. Acesso em: 23 jun. 2019.

CONAMA. **Resolução CONAMA nº 382**, de 26 de dezembro de 2006. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>> Acesso em: 05 jul. 2019.

SERTATEC. **Sernatec Imagens.** Disponível em: <<http://www.sertatec.com.br>>. Acesso em: 19 jun. 2019.

SILVA, L. G; SILVA, R. O; OLIMPIO, R. S. **A importância da manutenção preventiva de geradores síncronos em usinas termelétricas em relação ao efeito corona.** 2014. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro Universitário de Lins, Lins – S.P.

SILVA, T. F. **Cogeração de Energia: Estudo de Caso no Brasil.** 2012. Monografia de Conclusão de Curso (Curso técnico em açúcar e álcool) - ETEC - Escola Técnica Estadual de Ourinhos, Ourinhos – S.P.

TEIXEIRA, J. **Princípio das turbinas.** Disponível em: <<http://cntq.org.br/wp-content/uploads/2013/05/TURBINAS-A-VAPOR>>. Acesso em: 14 jun. 2019.

TGM. **Turbinas.** Disponível em: <<http://www.grupotgm.com.br/home.php>>. Acesso em: 17 jun. 2019.

TODA MATÉRIA. **Usina Termoelétrica.** Disponível em: <<http://www.todamateria.com.br/>>. Acesso em: 19 jun. 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Máquinas Síncronas.** Disponível em: <www.ufsm.br/righi/Conversao/maquinas-sincronas.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2019.