

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE MARÍLIA - UNIVEM

CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ELSON SPORNRAFT JUNIOR

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE
CALDEIRA INDUSTRIAL**

MARÍLIA

2015

ELSON SPORNRAFT JUNIOR

ESTUDO DE VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE CALDEIRA
INDUSTRIAL

Trabalho de curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador:

Prof. Me. Rodrigo Fabiano Ravazi

MARÍLIA

2015

Spornraft Junior, Elson.

Estudo de viabilidade de implantação de caldeira industrial / Elson Spornraft Junior. Orientador: Prof. Rodrigo Fabiano Ravazi. Marília, SP: [s.n.], 2015.

81f.

Trabalho de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Curso de Engenharia de Produção, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, Marília, 2015.

1. Caldeira industrial, 2. Transferência de calor, 3. Viabilidade financeira

CDD: 621.4021

ELSON SPORNRAFT JUNIOR

A Deus, por me dar força nos momentos difíceis

Aos meus pais Elson e Maria José e à minha irmã Kelli, por cada lição que me ensinaram e ensinam com amor.

À minha esposa Andréia, meu eterno amor.

Com todo o meu carinho,

À vocês eu dedico estas palavras de gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a Deus, que me permitiu chegar até aqui cercado de pessoas queridas.

À minha dedicada esposa Andréia, por estar sempre ao meu lado, dando apoio incondicional aos desafios a que me proponho.

Agradeço também a toda a minha família, e em especial aos meus pais, meus primeiros e mais importantes Mestres na vida.

Não posso deixar de agradecer aos meus grandes amigos que me são valiosos como irmãos, e que apesar da distância, se fazem presentes por meio das lembranças e do carinho que alimentamos uns pelos outros.

Aos meus companheiros de curso Adélie, Fernando, Samantha e Thaise, por repartirem todo o seu conhecimento comigo e tornarem a rotina acadêmica menos árdua.

E como não poderia deixar de ser, agradeço também à empresa Cacau Foods pela oportunidade de expandir os meus conhecimentos, e de conhecer grandes pessoas que me auxiliaram nas diversas etapas do meu aprendizado com atenção e paciência.

Finalmente, agradeço à Instituição Eurípides de Marília e aos Professores que tenho encontrado em minha vida acadêmica, em especial meu orientador Professor Mestre. Rodrigo Ravazi pela sua infinita dedicação e paciência ao longo destes cinco anos.

A todos vocês o meu muito obrigado.

Sonho que se sonha só é só um sonho que se sonha só, mas sonho que se sonha junto é realidade.

Raul Seixas.

SPORNRAFT J.; Elson. **Estudo de viabilidade de implantação de caldeira industrial**. 2015. 82f. Trabalho de Curso (Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2015.

RESUMO

O presente trabalho tem por finalidade apresentar um estudo de viabilidade de implantação de caldeira industrial em uma fábrica de alimentos. Para tanto, foi feita uma extensa revisão bibliográfica das variáveis que interferem no processo, seguida de estudo de caso com coleta e tratamento de informações. Para isto, obtiveram-se os valores de necessidade de consumo energético e de custo do processo atual, comparando estes dados com as necessidades do processo que inicialmente se cogitou implantar. As ferramentas que indicaram qual a viabilidade desta implantação foram os modelos matemáticos utilizados em retorno de investimentos financeiros, o VPL e o *payback*. A redução de custo com energia buscando-se uma matriz energética mais barata e eficiente se faz importante para a organização, e racionaliza um recurso caro e de alta demanda no país, a energia elétrica. Os resultados alcançados foram diferentes do que se esperava inicialmente, no entanto, conseguiu-se atingir uma condição satisfatória do ponto de vista econômico para a empresa.

Palavras chave: Caldeira industrial, Transferência de calor, Viabilidade financeira.

SPORNRAFT J.; Elson. **Study of industrial boiler installation feasibility**. 2015, 82p. Final Essay (Production Engineering) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2015

ABSTRACT.

This essay aims to present a study of industrial boiler installation feasibility in a food factory. For this purpose, an extensive literature review was made about the variables that interfere in the process, followed by a case-study, with the collection and treatment of the information. To accomplish this, there were obtained the need of energy consumption amounts and cost of the current process, comparing these data with the needs of the process that initially has been cogitated for being deployed. The tools that indicated the viability of this implementation were the mathematical models used in return for investments, the VPL and payback. Reducing energy costs seeking for a cheaper and efficient energy origin becomes important for the organization, and rationalizes an expensive and high demand resource in the country, the electric energy. The results were different than initially expected; however, it was possible to reach a satisfactory condition from the economic point of view for the company.

Keywords: Industrial boiler, Heat transfer, Affordability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Caldeira flamotubular	42
Figura 2: Caldeira aquatubular	44
Figura 3: Concessão da distribuição de gás natural no estado de São Paulo	52
Figura 4: Mapeamento das cidades do noroeste paulista atendidas pela Gás Brasilião.....	53
Figura 5: a) Produtos granulados. b) chocolates em pó, ambos fabricados pela empresa.....	60
Figura 6: Representação esquemática dos circuitos de água aquecida.....	61

LISTA DE ABREVIACOES

ABEGAS – Associação Brasileira das Distribuidoras de Gás Canalizado

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica

ANP – Agencia Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ASME – *American Society of Mechanical Engineers*

C/B – ndice de Custo Benefício

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CIBO – *Council of Industrial Boiler Owners*

CIAGRO – Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas

COMGÁS – Companhia de Gás do Estado de São Paulo

CONAMA – Companhia Nacional do Meio Ambiente

CREA – Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura

DOU – Diário Oficial da União

ELETOBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S/A

FISPQ – Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

GNV – Gás Natural Veicular

ICMS – Imposto Sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MME – Ministério de Minas e Energia

MTE – Ministério do Trabalho e Emprego

NR 13 – Norma Regulamentadora n13

PPSA – Pré-Sal Petróleo S/A

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

SI – Sistema Internacional de Unidades

SP – Estado de São Paulo

STIAM – Sindicato dos Trabalhadores da Indústria de Alimentos de Marília

TE – Tarifa de Energia Elétrica

TIR – Taxa Interna de Retorno

TUSD – Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

UPGN – Unidades de Processamento de Gás Natural

VPL – Valor Presente Líquido

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos consumidores do grupo A.....	37
Tabela 2: Tabela adaptada de valores cobrados na tarifação horo-sazonal verde.....	40
Tabela 3: Fontes e características dos principais poluentes na atmosfera.....	48
Tabela 4: Tabela adaptada das características físico-químicas e energéticas de gás natural.....	54
Tabela 5: Valores tarifados para consumidores industriais de acordo com o consumo mensal pela Gás Brasileiro.....	55
Tabela 6: Monitoramento da quantidade de tempo de acionamento das resistências elétricas.....	62
Tabela 7: Consumo em MWh em função do tempo, corrente e tensão.....	63
Tabela 8: Custo mensal do consumo de cada circuito em R\$ de acordo com a tarifação diferenciada por horário.....	63
Tabela 9: Volume de água aquecida para transferência de calor	65
Tabela 10: Valores energéticos necessários para a fusão de gorduras e caldas	66
Tabela 11: Valor do fluxo de calor dissipado na atmosfera	67
Tabela 12: Fluxo de calor dissipado na atmosfera com paredes isoladas	69
Tabela 13: Custos de investimento e operação da caldeira	72
Tabela 14: Retorno do investimento financeiro sem considerarmos o custo de mão de obra.....	73
Tabela 15: Retorno do investimento financeiro considerando a mão de obra de operação.....	74
Tabela 16: Cálculo custo energia elétrica com o circuito de água isolado termicamente	75
Tabela 17: Retorno do investimento financeiro do sistema atual isolado termicamente	76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Diagrama de fases da água	27
Gráfico 2: Categorias de caldeiras de acordo com NR 13.....	41
Gráfico 3: Projeção da capacidade de produção de gás natural da Petrobrás 2013-2030.	51
Gráfico 4: VPL em função da taxa de desconto	57

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Reação de combustão do metano ao ar	24
Equação 2: Quantidade de calor sensível para uma substância.....	27
Equação 3: Quantidade de calor latente para uma substância	28
Equação 4: Taxa de calor transferido por condução.....	30
Equação 5: Taxa de calor transferido por condução em sistemas radiais	31
Equação 6: Resistência térmica por transferência de calor por condução.....	31
Equação 7: Resistência térmica por transferência de calor por condução em sistemas radiais	32
Equação 8: Resistência equivalente entre paredes planas	32
Equação 9: Fluxo de calor através de múltiplas camadas	33
Equação 10: Valor $-R$ dos materiais isolantes.....	34
Equação 11: Equação da potência elétrica	35
Equação 12: Composição da fatura na estrutura tarifária horo-sazonal verde	38
Equação 13: Calculo da VPL	56
Equação 14: Calculo da TIR.....	58
Equação 15: Calculo do <i>Payback</i>	58
Equação 16: Custo mensal do gás natural	72

LISTA DE UNIDADES

A – Ampère

cal – Caloria

g – Grama

h – Hora

I – Corrente elétrica

J – Joule

K – Kelvin

k – Kilo

k_c – Coeficiente de condutividade térmica

l – Litro

M – Mega

m – Metro

m^2 – Metro quadrado

m^3 – Metro cúbico

°C – Grau Celsius

R – Resistência térmica de condução

R\$ – Reais

R_R – Resistência térmica de condução radial

s – Segundo

V – Volt

VA – Volt-ampère

W – Watt

SUMÁRIO

1	Introdução.....	18
1.1	Delimitação do Tema.....	19
1.2	Objetivos.....	19
1.3	Objetivos Específicos	19
1.4	Justificativa	19
1.5	Metodologia.....	20
1.6	Estrutura do trabalho.....	20
2	Revisão bibliográfica.....	22
2.1	Conceitos Iniciais.....	22
2.1.1	Energia.....	22
2.1.2	Combustível.....	23
2.1.3	Estequiometria.....	24
2.2	Termodinâmica e Transferência de calor.....	25
2.2.1	Calor sensível e calor latente.....	25
2.2.2	Calorimetria.....	27
2.2.3	Fundamentos da transferência de calor	29
2.2.4	Transferência de calor	30
2.2.5	Isolamento térmico	33
2.3	Eletricidade	34
2.3.1	Resistências elétricas	35
2.3.2	Sistema brasileiro de tarifação de energia elétrica	36
2.4	Caldeiras Industriais	40
2.4.1	Caldeiras flamotubulares	41
2.4.2	Caldeiras aquatubulares.....	43
2.4.3	Eficiência em caldeiras.....	44

2.4.4	Segurança em caldeiras	46
2.4.5	Meio ambiente	47
2.5	Gás Natural	49
2.5.1	Fontes e Reservas	50
2.5.2	Utilização Regional	51
2.5.3	Custo-Benefício	53
2.6	Retorno de investimento	55
2.6.1	VPL.....	56
2.6.2	TIR.....	57
2.6.3	<i>PAYBACK</i> descontado.....	58
3	Estudo de caso	59
3.1	A empresa	59
3.2	O processo atual.....	60
3.2.1	Monitoramento do consumo de energia elétrica.....	61
3.2.2	Demanda energética do aquecimento de ingredientes.....	64
3.3	Situação avaliada	70
3.4	Custo de investimento e operação	71
3.5	Estudo de viabilidade da implantação da caldeira	73
3.6	Solução proposta.....	74
3.6.1	Estudo de viabilidade da solução proposta.....	75
4	Conclusão	77
	Anexo I.....	83
	Anexo II.....	84

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho trata do levantamento de dados dos custos com operação, insumos e manutenção de uma caldeira de pequeno porte a ser instalada em uma indústria alimentícia na cidade de Marília.

Em boa parte de seus produtos, a empresa do ramo de chocolates utiliza gordura vegetal, sendo necessário o aquecimento e manutenção de uma temperatura mais elevada para uma textura adequada ao uso. Para que ocorra este aquecimento, a empresa utiliza resistências elétricas fazendo com que a água aquecida troque calor com as matérias primas, por meio de aquecimento indireto do tipo casco e tubo. O emprego de resistências elétricas tem se mostrado um processo oneroso, haja vista que a crise energética pela qual o Brasil vem passando ao longo dos dois últimos anos, tem aumentado consideravelmente o valor da tarifação de energia elétrica. A alternativa que se deseja estudar como substituto ao emprego da energia elétrica para a geração de calor para o processo é a implantação de uma caldeira alimentada por gás natural.

Caldeiras são equipamentos vastamente utilizados para geração de energia, pela movimentação de turbo-geradores ou para elevação de temperatura de matérias primas e/ou equipamentos industriais. Esta alteração de temperatura pode ser de forma direta, com a aplicação de vapor ao processo ou de forma indireta por meio de trocadores de calor. Elegeu-se o gás natural como combustível a ser estudado pelo desempenho que o mesmo demonstra neste tipo de equipamento.

O gás natural, embora seja uma fonte de energia não renovável, tem ganhado preferência entre as empresas graças à sua eficiência energética e seu maior controle nas operações, uma vez que a homogeneidade desta substância permite a dosagem correta entre oxigênio e combustível na queima, propiciando maior eficiência nas operações que o utilizam.

Oliveira (1996) afirma que, para que uma organização mantenha suas operações, três características básicas têm de ser alcançadas, sendo estas: o aumento da eficiência, a evolução tecnológica e a redução do desperdício. Estas características tem origem nas atividades operacionais da empresa e estão diretamente ligadas aos custos de produção.

Tem-se o intuito de otimizar as três variáveis supracitadas, avaliando a eficiência energética de um novo processo de obtenção de calor, que por sua vez demanda investimento em dispositivos que proporcionem o maior controle da operação, reduzindo o desperdício e os custos de operação.

1.1 Delimitação do Tema

O tema abordado será a viabilidade de implantação de uma caldeira industrial, no intuito de reduzir os custos de operação, tendo em vista um melhor aproveitamento energético nos processos.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo estudar a demanda energética da empresa, e propor uma alternativa que reduza os custos de produção pela adoção de um processo mais eficiente.

1.3 Objetivos Específicos

Comparar a eficiência energética do processo utilizado atualmente em relação à alternativa sugerida. Levantar os custos de operação atuais e futuros, custos do projeto de implantação e manutenção, bem como fornecer o *payback* do investimento no projeto.

1.4 Justificativa

Num primeiro contato com a empresa observou-se que o processo de obtenção de água quente ocorre com baixa eficiência quando comparado a outros métodos, sendo assim, pensou-se no estudo de novas formas de obtenção de energia para tal. Espera-se reduzir os

custos de produção com a introdução de um método mais econômico que resulte no retorno do investimento em curto prazo.

1.5 Metodologia

De acordo com Silva e Menezes (2005, p.20), o presente trabalho pode ser caracterizado como uma pesquisa aplicada, pois a sua finalidade é encontrar a solução para problemas específicos. Os mesmos autores ainda classificam esta pesquisa como quantitativa, em função da utilização de técnicas que permitam a transformação de números e dados em opiniões e informações, passíveis de classificação e análise.

Como parte do desenvolvimento deste trabalho foi realizada uma ampla pesquisa bibliográfica, utilizando o conhecimento disponível a partir de teorias publicadas em livros e documentos similares que contribuíssem para a identificação das variáveis que compõe o problema que é objeto de estudo. Tendo as variáveis sido identificadas, procurou-se compreender a forma com que elas interferem no problema, no intuito de construir um modelo apropriado para a resolução do mesmo (KOCHE, 2009, p. 122).

O passo seguinte foi o desenvolvimento do estudo de caso, com levantamento dos dados reais do processo por meio da observação e da coleta de evidências que fornecessem subsídios para a comparação de tais dados com os obtidos na fundamentação teórica (YIN, 2010, p. 39-41).

1.6 Estrutura do trabalho

O presente trabalho é composto de quatro capítulos, contando desde sua Introdução até sua Conclusão.

O primeiro capítulo é uma introdução sobre o tema escolhido, bem como os objetivos a que este se destina, juntamente com a justificativa da execução do mesmo, seguido da metodologia empregada para sua elaboração.

O capítulo dois trata do referencial teórico consultado como fonte de informações para o desenvolvimento e a conclusão do mesmo. A revisão bibliográfica abrange os temas relacionados à energia e a forma com que a mesma é utilizada como recurso produtivo em equipamentos industriais, influenciando nos custos de produção e na viabilidade de utilização de determinadas técnicas produtivas.

O capítulo três é o levantamento de dados, o tratamento destes e o desenvolvimento do estudo de caso. Os dados foram colhidos de normas, documentos técnicos, leituras em equipamentos de monitoramento e orçamentos de materiais e serviços em diversas empresas. No tratamento destes dados, utilizaram-se todos os modelos disponíveis na literatura técnica para que se chegasse a valores condizentes com a realidade.

O quarto e último capítulo é a conclusão deste trabalho, na qual se apresenta as impressões obtidas de todo o cenário levantado no decorrer do estudo de caso. Na conclusão comentam-se os resultados da viabilidade do investimento assim como da solução proposta de forma a justificar a opinião do autor.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A primeira parte desta revisão bibliográfica introduzirá alguns conceitos que facilitarão a nossa compreensão sobre elementos fundamentais na operação que será objeto do estudo de caso. Estas informações contemplam o conceito de energia, combustíveis, estequiometria e os fenômenos de transferência de calor.

Em um segundo momento, abordaremos de forma mais técnica o tema eletricidade, que é o recurso energético utilizado atualmente, seguido de informações referentes às principais características das caldeiras industriais. Estas informações foram obtidas em livros didáticos, documentos técnicos, fontes regulamentadoras e instituições governamentais.

Por fim, foram consultadas informações sobre disponibilidade e distribuição do gás natural, combustível utilizado na caldeira industrial proposta no estudo de caso. Informações sobre eficiência do combustível e tarifas aplicadas à sua compra serão de grande valia na elaboração de um plano financeiro que indique a atratividade do investimento. Na elaboração deste plano financeiro também contaremos os fundamentos da literatura contábil para a tomada de decisão de investimento.

2.1 Conceitos Iniciais

Antes de abordar os temas principais do trabalho devemos revisar alguns conceitos de física e química, que mesmo sendo tratados de forma superficial nos ambientarão aos fenômenos comuns nas operações industriais no que se refere ao aquecimento da água, seja pelo uso de resistências elétricas, seja pelo uso de caldeiras industriais.

2.1.1 Energia

A energia é encontrada sob diversas formas na natureza. Creder (2007, p. 14) a caracteriza como “tudo aquilo capaz de produzir calor, trabalho mecânico, luz, radiação etc.”,

ele ainda prossegue dizendo que “ela é responsável por todos os processos de transformação, propagação e interação que ocorrem no universo”. Barros (2009, p.52) escreve que 99% da energia térmica utilizada pelos ecossistemas da Terra é proveniente do Sol, as demais formas de energia são fontes de energia primária, onde há a possibilidade de exploração e conversão em outros tipos de energia pelo homem e seu uso para a manutenção das atividades humanas.

Brown *et al* escreve que a energia pode ser transformada de uma forma a outra, e que segundo a primeira lei da termodinâmica, a energia não pode ser criada nem destruída. Desta forma pela conservação de energia, o trabalho realizado sobre um sistema é igual ao aumento da energia interna no mesmo (BROWN *et al*, 2005, p.144; KREITH e BOHN, 2006, p.1).

Ainda de acordo com Brown *et al* (2005, p.145), “ a energia interna de um sistema muda em magnitude quando calor é adicionado ou removido ao sistema, ou mesmo quando trabalho é realizado neste ou por ele”.

No estudo de caso a que se propõe este trabalho, constata-se que a liberação de calor proveniente da queima dos combustíveis adiciona energia ao sistema (caldeira + água), que por sua vez, não realiza trabalho algum, porém a transforma em energia térmica, aumentando a temperatura da água e permitindo a sua utilização nos processos fabris.

2.1.2 Combustível

Brown *et al* (2005, p.165) define a propriedade que representa o calor liberado em uma combustão como calor específico de combustão. Ele representa a energia liberada quando 1 grama de combustível é queimado e sua unidade no SI é o Joule e seus múltiplos. Estes autores ainda escrevem que “a maioria das reações químicas utilizadas para a produção de calor são de combustão”, exceto a ingestão de alimentos, onde a obtenção energética para a manutenção das atividades metabólicas e da manutenção da temperatura corporal se dá por reações de oxidação.

As reações de combustão são reações que produzem chama pela queima de um combustível com o auxílio de um comburente. Quando hidrocarbonetos sofrem combustão ao

ar, o elemento que auxilia a combustão é o O₂. Em alguns combustíveis a combustão é incompleta liberando calor, emitindo monóxido de carbono (CO) e partículas fuliginosas na atmosfera. Esta liberação de calor é inferior à da combustão completa e o monóxido de carbono é altamente poluente. A combustão completa será tratada na seção 2.1.3 Estequiometria.

Os principais combustíveis utilizados pelo homem para promover obtenção de energia são compostos orgânicos simples, os hidrocarbonetos, que são constituídos apenas de carbono e hidrogênio (BROWN *et al*, 2005, p.919). Exemplos de hidrocarbonetos são os combustíveis fósseis como carvão, gás natural, petróleo e seus derivados (BARROS, 2009, p.53).

No estudo de caso contido neste trabalho apresentam-se informações sobre os aspectos práticos e econômicos na utilização do combustível gasoso (gás natural) comparado ao uso de energia elétrica para o aquecimento de água.

2.1.3 Estequiometria

Estequiometria é a representação de reações químicas por meio de equações, utilizando o princípio da lei da conservação da massa, onde é dito que: “a massa total de uma substância presente ao final de uma reação química é a mesma massa total do início da reação” (BROWN *et al*, 2005, p.67).

Na chamada combustão completa os produtos obtidos da queima do metano (CH₄), principal componente do gás natural, com o auxílio do oxigênio presente no ar (O₂), formando vapor d’água (H₂O) e dióxido de carbono (CO₂). A representação estequiométrica desta reação é apresentada pela Equação 1 (BROWN *et al*, 2005, p. 68):

Equação 1: Reação de combustão do metano ao ar



A equação acima está balanceada, de forma que, para cada molécula de metano utilizada para se obter energia, duas moléculas de oxigênio serão necessárias como reagente. Tal constatação é útil ao se fazer a dosagem adequada de ar nos queimadores da caldeira, propiciando uma queima adequada e conseqüentemente maior eficiência do equipamento. A combustão completa é caracterizada por uma chama azul.

2.2 Termodinâmica e Transferência de calor

Sempre que houver um gradiente de temperatura dentro de um sistema ou entre dois sistemas diferentes haverá transferência de energia em forma de calor. A segunda lei da termodinâmica afirma que esta transferência será sempre no sentido do sistema ou corpo com maior temperatura para aquele com menor temperatura, até que se atinja o equilíbrio térmico (KREITH e BOHN, 2013, p.1; TIPLER e MOSCA, 2006a, p.666). Segundo Kreith e Bohn a “termodinâmica é o ramo da ciência que estuda a relação entre calor e as outras formas de energia”. Ainda segundo os autores, a termodinâmica clássica “restringe-se fundamentalmente ao estudo do estado estacionário deste tipo de energia, incluindo os equilíbrios mecânicos, químicos e térmicos” (KREITH e BOHN, 2013, p.1).

Do ponto de vista clássico a termodinâmica aborda a mudança de temperatura sob o aspecto macroscópico da matéria, diferentemente dos conceitos mais atuais de transferência de calor que abordam este tema de forma um pouco mais complexa, acrescentando os mecanismos de fluxo de calor e o tempo necessário para que aconteça a transferência de energia, itens fundamentais para a aplicação de equações no estudo prático dos acontecimentos cotidianos (KREITH e BOHN, 2013, p.2).

2.2.1 Calor sensível e calor latente

Tipler e Mosca (2006a, p.625) descrevem calor como sendo “a energia que está sendo transferida de um sistema a outro em virtude da diferença de temperatura”. Como já foi dito, a transferência de energia para um meio ocasiona o aumento de temperatura do mesmo, e

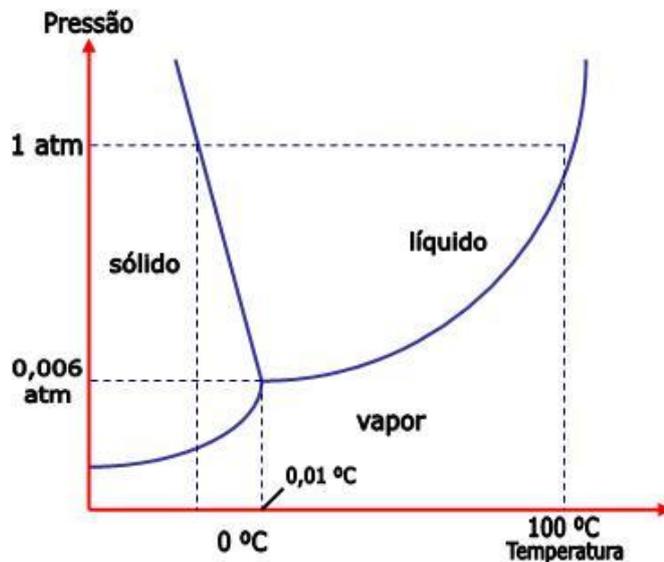
por consequência o aumento das vibrações moleculares que ali estão presentes. Tais vibrações propiciam o aumento da energia cinética das moléculas. No caso dos líquidos, com o aumento da energia cinética as moléculas presentes em sua superfície são capazes de se desprenderem dos mesmos, mudando o estado desta fração que se desprende de líquido para estado gasoso (BROWN *et al*, 2005, p. 391).

Tipler e Mosca (2006a, p. 630) escrevem que as moléculas de um líquido estão muito próximas umas das outras, exercendo grande força de atração mútua, enquanto que nos gases tal atração é muito pequena dada a grande distância entre as moléculas. Sendo assim, o conceito de calor sensível e calor latente podem ser explicados como:

- Calor sensível: é a quantidade de calor necessária para que haja mudança de temperatura em uma substância, sem que haja a mudança de fase do mesma.
- Calor latente: é a quantidade de energia necessária para que haja o distanciamento das moléculas da substância, sem, no entanto ocasionar a mudança de temperatura. A aplicação de calor sobre esta substância aumenta a energia potencial das moléculas mas não a energia cinética molecular. “Como a temperatura é uma medida de energia cinética média de translação das moléculas ela não se altera” (TIPLER e MOSCA, 2006a, p.630).

As mudanças de fase nas substâncias estão diretamente relacionadas com a temperatura e pressão à qual estas substâncias estão submetidas (BROWN *et al*, 2005, p. 342). O Gráfico 1 de pressão x temperatura para um volume constante de água é chamado de diagrama de fases da água. Este gráfico demonstra que quanto menor a pressão a que a substância está submetida, menor a temperatura necessária para a mudança de estado. O ponto de intersecção entre os três estados é chamado de ponto triplo, ponto este onde as três fases de uma substância podem coexistir em equilíbrio (TIPLER e MOSCA, 2006, p. 708).

Gráfico 1: Diagrama de fases da água



Fonte: Portal de estudos de Química 2015

2.2.2 Calorimetria

A quantidade de calor Q necessária para elevar à temperatura t de um corpo de massa m , depende também do calor específico c que é a capacidade calorífica por unidade de massa das substâncias que compõe este corpo. A unidade histórica da energia térmica é a caloria (cal), a qual concluiu-se ser necessária 1 unidade para aquecer em 1°C 1 g de água. A caloria é amplamente utilizada, embora, como já foi dito anteriormente a unidade de energia no SI é o joule. Para efeito de conversão $1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$. A Equação 2 representa a quantidade de calor para elevação de temperatura (calor sensível) em uma substância (ELETROBRÁS, 2005, p.24; TIPLER e MOSCA, 2006a, p.626):

Equação 2: Quantidade de calor sensível para uma substância

$$Q = mc\Delta t$$

Onde: Q é a quantidade de calor em [kJ]

m a massa do corpo em [kg]

c o calor específico do corpo em [kJ/kg·K]

Δt a diferença entre a temperatura inicial e final do corpo em [K]

A energia térmica necessária para alterar o estado físico de uma substância depende do seu calor latente de fusão L_f ou de vaporização L_v , e é proporcional à massa m desta substância. Assim como foi visto no Gráfico 1 esta mudança de fase depende da pressão exercida sobre a substância; desta forma a Equação 3 demonstra a equação de calor latente Q_f ou Q_v , onde os valores de energia de uma mesma quantidade de determinada substância mudarão de acordo com o estado de transição para o qual a substância se altera. (TIPLER e MOSCA, 2006a, p.631).

Equação 3: Quantidade de calor latente para uma substância

$$Q_f = mL_f \text{ ou } Q_v = mL_v$$

Onde: Q_f é a quantidade de calor latente de fusão em [kJ]

Q_v quantidade de calor latente de vaporização em [kJ]

m a massa da substância em [kg]

L_f o calor latente de fusão em [kJ/kg]

L_v o calor latente de vaporização em [kJ/kg]

Neste trabalho os dados referentes ao calor de fusão serão tomados na literatura e laudos técnicos de fornecedores para gorduras. Para a água a ser aquecida utilizaremos apenas o calor de vaporização uma vez esta substância será aquecida a partir de temperatura ambiente, sendo o valor de L_v da água 2,26 MJ/kg.

2.2.3 Fundamentos da transferência de calor

Kreith e Bohn escrevem que “é quase impossível descrever com exatidão os fenômenos físicos e expressar um problema na forma de uma equação que possa ser resolvida”; sendo assim ainda, segundo estes autores, aproximações são necessárias em problemas de transferência de calor, uma vez que propriedades físicas como condutividade térmica e a viscosidade de algumas substâncias variam de acordo com a temperatura. Cabe à pessoa que avalia o fenômeno a interpretação e a compreensão dos dados levantados no intuito de alcançar bons resultados de aproximação na resolução do problema (KREITH e BOHN, 2013, p.2-3).

A literatura de transferência de calor reconhece três mecanismos principais de transferência de energia, sendo eles: condução, convecção e radiação (TIPLER e MOSCA, 2006a p.709; KREITH e BOHN, 2013, p. 3).

Na condução a energia térmica é transferida por meio das interações entre os átomos ou moléculas, transportando energia cinética entre estas partes do sistema. “Após colisão com as moléculas mais lentas, elas cedem parte de sua energia e aumentam a energia das moléculas com conteúdo energético menor” (KREITH e BOHN, 2013, p.7).

Na convecção, a energia é transportada na forma de calor transferido pelo transporte direto de massa. Neste fenômeno há o transporte de energia térmica atribuído ao movimento molecular (condução), em seguida há o movimento macroscópico de parcelas do fluido. No meio natural, o gradiente de densidade da massa de maior temperatura do fluido ocasiona a sua movimentação, uma vez que esta parcela mais quente é menos densa, levando-a a subir (TIPLER e MOSCA, 2006a p.709; KREITH e BOHN, 2013, p. 15).

Na radiação, a energia é transportada através do espaço na forma de ondas eletromagnéticas que se movem à velocidade da luz. Outros tipos radiação eletromagnéticas são as ondas de rádio, ondas de raios X ondas de luz, etc. Estas ondas eletromagnéticas diferem entre si pelos seus comprimentos de onda e frequências (TIPLER e MOSCA, 2006a p.709).

Na prática, os três tipos de transferência de calor ocorrem de forma combinada, sendo assim, pretende-se estimar as variáveis de demanda energética do processo no estudo

de caso de forma a contemplar o maior número de variáveis possíveis para se chegar a um valor aproximado da realidade.

2.2.4 Transferência de calor

A segunda lei da termodinâmica diz que o calor deve fluir na direção da temperatura mais alta para a temperatura mais baixa. A condutividade térmica representada por kc na Equação 4 é um valor dado em função da composição da substância. Um alto valor de kc indica que a substância é um bom condutor térmico, assim como um pequeno valor demonstra uma má condutividade, ou um bom isolamento térmico. O sinal negativo desta variável indica que o corpo está cedendo calor, para o corpo que recebe calor este valor será dado em módulo (KREITH e BOHN, 2013, p.3; RESNICK *et al*, 2003, p. 248).

Equação 4: Taxa de calor transferido por condução

$$q_p = -kc * A * \frac{\Delta t}{x}$$

Onde q_p é a taxa de calor transferido por condução e está em [W];

A é a área da superfície em [m²].

Δt a diferença de temperatura em [K]

kc é a condutividade térmica em [W/m*K]

x é a distância percorrida pelo fluxo de calor em [m], (espessura da parede).

Neto (2010, p.15) mostra que para sistemas radiais, experimentalmente chegou-se na Equação 5. Este modelo nos será útil para o cálculo do fluxo de calor através dos tanques de formato cilíndrico, bem como da tubulação de água do circuito térmico.

Equação 5: Taxa de calor transferido por condução em sistemas radiais

$$q_c = \frac{2 * \pi * kc * L * \Delta t}{\ln \left(\frac{r_e}{r_i} \right)}$$

Onde: q_c é o fluxo de calor por um sistema radial em [W]

kc é a condutividade térmica em [W/m*K]

L é o comprimento do sistema radial em [m]

\ln é o logaritmo natural de um número

r_e é o raio externo em [m]

r_i é o raio interno em [m]

Δt é a diferença de temperatura em [K]

Na escolha de materiais de construção é comum levar-se em consideração a resistência à transferência de calor de acordo com o propósito de utilização do objeto em questão. A resistência térmica R é determinada conforme a Equação 6. Nesta equação pode-se observar que quanto menor a condutividade kc , maior será o valor de R , o que leva à conclusão de que materiais com grande valor de R são bons isolantes térmicos (RESNICK *et al*, 2003, p.248).

Equação 6: Resistência térmica por transferência de calor por condução

$$R = \frac{x}{A * kc}$$

Onde: R é a resistência térmica por condução em [K/W]

x é a espessura da parede em [m]

A é a área da superfície em m^2

kc é a condutividade térmica em [W/m*K]

Assim como no caso do fluxo de calor por paredes planas e sistemas radiais, também encontra-se na literatura diferenças com relação à resistência térmica em sistemas radiais e o modelo da Equação 6. A Equação 7, mostra o modelo apropriado para esta situação, conforme Neto (2010, p.15).

Equação 7: Resistência térmica por transferência de calor por condução em sistemas radiais

$$R_R = \frac{\ln \left(\frac{r_e}{r_i} \right)}{2 * \pi * k_c * L}$$

Onde: R_R é a resistência térmica por condução em sistemas radiais em [K/W]

\ln é o logaritmo natural de um número

r_e é o raio externo em [m]

r_i é o raio interno em [m]

k_c é a condutividade térmica em [W/m*K]

L é o comprimento do sistema radial em [m]

Se o calor for conduzido através de várias paredes planas com um bom contato térmico entre elas, a temperatura será diferente em cada interface do material, de acordo com a resistência térmica R . Assim, podemos tomar um valor que será a soma das resistências térmicas das paredes do objeto e chama-lo de R_{eq} como mostra a equação 8 (TIPLER e MOSCA, 2006a, p. 712).

Equação 8: Resistência equivalente entre paredes planas

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots R_n$$

Onde: R_{eq} é a resistência equivalente das paredes em série em [K/W]

R_1 até R_n está em [K/W]

O fluxo de calor que passa por camadas em série pode ser calculado conforme a Equação 9 e representará o calor dissipado por meio de condução térmica (KREITH e BOHN, 2013, p.22, TIPLER e MOSCA, 2006a, p. 712). No estudo de caso, este fluxo representa desperdício de energia e aumento de custo no processo.

Equação 9: Fluxo de calor através de múltiplas camadas

$$I_{total} = \frac{\Delta t}{R_{eq}}$$

Onde: I_{total} é o fluxo de calor em [W]

Δt a diferença de temperatura em [K]

R_{eq} é a resistência equivalente das paredes em série em [K/W]

2.2.5 Isolamento térmico

O objetivo do isolamento térmico é reduzir a passagem do fluxo de calor através das camadas de um objeto ou sistema no qual se deseja manter em temperatura constante. “Na maioria das vezes utiliza-se materiais com baixa condutividade térmica, que na maioria dos casos é obtida pelo aprisionamento do ar ou de algum tipo de gás nas cavidades do material”(KREITH e BOHN, 2013, p. 35).

Kreith e Bohn ainda afirmam que “a condutividade dos materiais isolantes não é realmente uma propriedade do material, mas sim uma combinação de mecanismos de fluxo de calor”. Os autores ainda classificam os materiais isolantes em três categorias, fibrosos,

celulares e granulares, cada qual com características que os tornam adequados para aplicações específicas (KREITH e BOHN, 2013, p. 35).

Fatores ambientais tais como umidade do ambiente, densidade do material, rigidez estrutural, degradação, estabilidade química e custo devem ser levados em consideração, além é claro da efetividade de sua resistência térmica (KREITH e BOHN, 2013, p. 36).

Na escolha de materiais isolantes, deve-se observar o valor- R apresentado pelo mesmo. O valor- R ou fator- R como é descrito na literatura, corresponde à resistência térmica de determinado material em função de sua espessura. A Equação 10 demonstra numericamente este fator que na prática é utilizado para a escolha de materiais isolantes em diversas aplicações (KREITH e BOHN, 2013, p. 38; TIPLER e MOSCA, 2006a, p. 714; RESNICK *et al*, 2003, p. 249).

Equação 10: Valor $-R$ dos materiais isolantes

$$R_{valor} = \frac{x}{kc}$$

Onde: R_{valor} é o valor- R do material em [m^2K/W]

x é a espessura do material em [m]

kc é a condutividade térmica do material em [W/mK]

2.3 Eletricidade

Segundo Creder (2007, p. 14), “a eletricidade é uma energia intermediária entre a fonte produtora e a aplicação final”. Markus (2008, p. 20) descreve a eletricidade como sendo “uma forma de energia associada aos fenômenos causados por cargas elétricas em repouso (eletrostática) e em movimentos (eletrodinâmica)”. Este tipo de energia é a maior matriz energética Brasil (74,7%), sendo que sua geração se dá predominantemente em usinas hidrelétricas, haja vista o grande potencial hidráulico do país (CREDER, 2007, p.1).

A corrente elétrica é o fluxo de cargas elétricas Q através da seção transversal de um condutor pelo tempo te . No SI atribui-se a letra I para esta grandeza, e sua unidade é o ampère [A]. A passagem deste fluxo de cargas, só é possível pela existência de uma diferença de potencial elétrico em dois pontos do sistema. Esta diferença de potencial faz com que as cargas se movam e percorram toda extensão do condutor em um circuito fechado, buscando restabelecer o equilíbrio no sistema. A esta diferença de potencial dá-se o nome de tensão e ela é representada pelo volt [V] (CREDER, 2007, p.17-18; MARKUS, 2008, p.13; TIPLER e MOSCA, 2006b, p. 145).

Para que se execute um trabalho de qualquer natureza é necessário dispendir energia. A unidade de energia aplicada pelo tempo nas atividades de movimentação, produção de calor, luz, radiação etc. é chamada de potência. Em um circuito elétrico a potência P pode ser definida como a quantidade de carga elétrica Q que uma fonte de tensão V pode fornecer ao circuito em um intervalo de tempo te . A Equação 11 sintetiza estas informações de forma que ao dividir a corrente Q pelo tempo te obtém-se a corrente I (CREDER, 2007, p.23; MARKUS, 2008, p.39; TIPLER e MOSCA, 2006b, p. 153).

Equação 11: Equação da potência elétrica

$$P = V \times I$$

Onde: P é a potência elétrica em [W]

V é a tensão à qual a corrente é submetida em [V]

I é a corrente que passa pelo circuito em [A]

2.3.1 Resistências elétricas

Segundo Markus (2008, p.25), a “resistência elétrica dos materiais representa a oposição à passagem da corrente elétrica”, esta oposição varia em função da temperatura dos materiais e de sua composição, sendo que as forças que mantêm os elétrons livres agregados

ao núcleo do material definem se este material é um bom ou mal condutor de energia elétrica. Os materiais com menor força de atração destes elétrons são considerados bons condutores, por outro lado materiais onde estes elétrons são solidários ao núcleo são considerados materiais isolantes (CREDER, 2007, p.18).

A energia cinética resultante da passagem de elétrons por um circuito elétrico gera trabalho na forma de calor, ocasionado pelas colisões entre estes elétrons e os íons da rede do condutor. A este mecanismo de aumento de energia térmica em um condutor dá-se o nome de efeito Joule (TIPLER e MOSCA, 2006b, p. 153; MARKUS, 2008, p.25).

Procura-se minimizar as perdas de energia por efeito Joule em instalações elétricas e no trabalho realizado por motores, no entanto existem algumas aplicações onde se deseja que tal efeito ocorra. Resistências elétricas são utilizadas em diversas atividades que envolvam aumento de temperatura, seja para tornar um filamento incandescente, seja para o aquecimento de uma superfície ou de um fluido. No estudo de caso apresentado, o aquecimento de água para fins industriais é obtido por meio do contato da água com resistências elétricas. Visto que tal fenômeno tem o intuito de produzir trabalho em função do tempo (potência). Os fabricantes informam os valores das resistências elétricas em [W].

2.3.2 Sistema brasileiro de tarifação de energia elétrica

O sistema de tarifação de energia elétrica em vigor no Brasil é embasado na Resolução 456 da ANEEL, publicado em 29 de novembro de 2000 no DOU que caracteriza os tipos de consumidores, concessionárias e formas de consumo de energia elétrica. Esta resolução regulamenta e orienta tanto para fins de utilização como para fins de fiscalização das relações de fornecimento e consumo do serviço público de energia elétrica no Brasil (ANEEL, 2000).

No Brasil há duas modalidades de tarifação, a tarifação monômnia e tarifação binômnia. Na modalidade de tarifação monômnia, o consumidor paga apenas pelo consumo da energia elétrica, enquadraram-se neste tipo de tarifação os consumidores do grupo B. Na modalidade de tarifação binômnia o consumidor paga não só pelo consumo da energia como também pela demanda contratada por ele. Os usuário dos grupos A e B, são definidos de

acordo com o nível de tensão do atendimento pela concessionária e também como consequência, em função da demanda de energia elétrica contratada em kW (ELETROBRÁS, 2011).

As unidades consumidoras atendidas em tensão abaixo de 2300 Volts são classificadas como grupo B, sendo que dele participam diversos consumidores caracterizados principalmente por domicílios e perfis de baixo consumo. Os elementos do grupo B são divididos em subgrupos de acordo com suas atividades (ELETROBRÁS, 2011).

Os consumidores que operam com tensões acima de 2300 volts são classificados como pertencentes ao grupo A e também são divididos em subgrupos de acordo com a tensão de atendimento. A Tabela 1 mostra a classificação dos consumidores grupo A de acordo com seu nível de tensão.

Tabela 1: Classificação dos consumidores do grupo A

Grupo A	
Subgrupo	Tensão [kV]
A1	≥ 230
A2	88 a 138
A3	69
A3a	30 a 44
A4	2,3 a 25
AS	Para sistemas subterrâneos

Fonte: Adaptado de Eletrobrás 2011.

Há uma diferenciação no valor das tarifas de acordo com o modelo de contrato firmado entre unidade consumidora e concessionária. Esta diferenciação leva em conta não só a quantidade de energia utilizada pelo consumidor, como também períodos específicos em que a demanda solicitada em todo o sistema de distribuição nacional faz com que a oferta de energia elétrica diminua. O período onde a oferta é reduzida é chamado de período seco, época do ano em que a quantidade de chuva diminui reduzindo a capacidade de geração de energia elétrica por parte das usinas hidrelétricas, este período compreende do mês de maio

até novembro. Outro fator que também compromete a oferta de energia são os chamados horários de ponta. É um intervalo de três horas consecutivas em dias úteis definidos pela concessionária no qual a demanda de energia aumenta, sobretudo pelo uso em massa por parte dos consumidores do grupo B (ANEEL, 2000; ELETROBRÁS, 2011, p.9). No caso da nossa região este horário é estabelecido das 18 às 21 horas.

De acordo com o manual da Eletrobrás a “estrutura tarifária é o conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência ativa, de acordo com a modalidade de fornecimento”. (ELETROBRÁS, 2011, p.11). O fornecimento de energia elétrica ao grupo A tem três variações, sendo:

- Estrutura tarifária convencional
- Estrutura tarifária horo-sazonal verde
- Estrutura tarifária horo-sazonal azul

A estrutura tarifária convencional requer um contrato específico com a concessionária. Nesta modalidade o valor das tarifas não se altera em função de horários de ponta ou períodos considerados secos. São enquadrados nesta modalidade de tarifação os consumidores do grupo A, subgrupos A3a, A4 e AS (ELETROBRÁS, 2011, p.11).

Na estrutura tarifária horo-sazonal verde há diferenciação da tarifa de consumo de energia elétrica em função do período denominado horário de ponta, no entanto, o valor da demanda contratada se mantém o mesmo durante todo o dia. Só se enquadram nesta opção de tarifação os consumidores do grupo A, subgrupos A3a, A4 e AS. A Equação 8 mostra que a fatura de energia elétrica F_{verde} é composta pela soma das parcelas referentes ao consumo $P_{consumo}$, demanda $P_{demanda}$ e caso exista demanda de ultrapassagem $P_{ultrapassagem}$ (ELETROBRÁS, 2011, p.12).

Equação 12: Composição da fatura na estrutura tarifária horo-sazonal verde

$$F_{verde} = P_{consumo} + P_{demanda} + P_{ultrapassagem}$$

Onde:

$P_{consumo} = \text{Tarifa de Consumo na ponta [R\$/kWh]} \times \text{Consumo Medido na Ponta [kWh]} + \text{Tarifa de Consumo fora de Ponta [R\$/kWh]} \times \text{Consumo Medido fora de Ponta [kWh]}.$

$P_{demanda} = \text{Tarifa de Demanda [R\$/kWh]} \times \text{Demanda Contratada [kWh]}.$

$P_{ultrapassagem} = \text{Tarifa de Ultrapassagem [R\$/kWh]} \times (\text{Demanda Medida} - \text{Demanda Contratada}) \text{ [kWh]}.$

A estrutura tarifária horo-sazonal azul faz diferenciação da tarifa de energia elétrica “de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de tarifas diferenciadas de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia em função do período denominado seco ou úmido” (ANEEL, 2000, Art. 2º).

Somam-se também aos valores pagos as concessionárias os encargos tributários estaduais e federais sobre a utilização do serviço além de encargos variáveis conforme a cor da bandeira tarifária em vigência no período da utilização.

O sistema de bandeiras tarifárias passou a ser adotado pelas concessionárias a partir da Resolução Normativa nº547 da ANEEL de 12 de março de 2013. Estas bandeiras são um indicador visual para o consumidor que alerta para um acréscimo no valor da tarifa por uma determinada quantidade de energia consumida. “As bandeiras tarifárias refletem os custos variáveis da geração de energia elétrica. Dependendo das usinas utilizadas para gerar a energia, esses custos podem ser maiores ou menores”. As bandeiras são dispostas em três escalas de cores, verde, onde não há acréscimo no valor da tarifa, pois não há necessidade de geração de energia elétrica por meio de centrais termoelétricas. Nas cores amarela e vermelha, há acréscimo na conta de energia, uma vez que são ativadas centrais de cogeração para o abastecimento da demanda (ANEEL, 2015).

Os valores das tarifas em vigor para os sistemas de tarifação convencional, horo-sazonal verde e horo-sazonal azul estão dispostos no website da CPFL paulista pelo website: <https://www.cpflempresas.com.br/institucional/tarifas.aspx?emp=CPFL>. Como objeto do estudo de caso, tomou-se como referência os valores da Tabela 2, da tarifação horo-sazonal verde sub categoria A4, atualmente utilizada pela empresa.

Tabela 2: Tabela adaptada de valores cobrados na tarifação horo-sazonal verde

Sub Grupo	TUSD			TE (R\$/MWh)								Ultrapassagem (R\$/KW)
	R\$ KW	Ponta	Fora Ponta	Ponta			Fora Ponta					
		R\$ MWh	R\$ MWh	TE	Bandeira Verde	Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha	TE	Bandeira Verde	Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha	
A4 (2,3 a 25 kV)	8,2	613,92	75,96	378,11	378,11	403,11	423,11	235,15	235,15	260,15	280,15	16,4

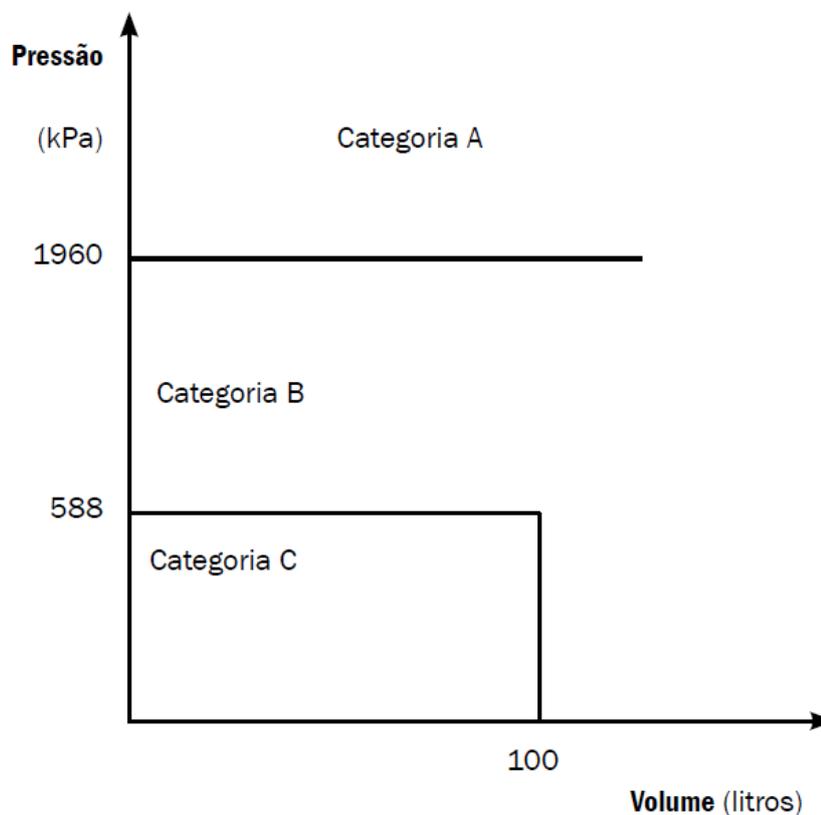
Fonte: <https://www.cpflempresas.com.br/institucional/tarifas.aspx?emp=CPFL>

2.4 Caldeiras Industriais

De acordo com o NR 13, “caldeiras a vapor são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia” (MTE, 2003, ¶13.4.1.1).

A definição do ASME apresenta mais detalhes: “caldeiras são vasos fechados onde água ou outros líquidos são aquecidos, há geração de vapor e o vapor é superaquecido. Estas operações ocorrem sob pressão ou vácuo, por meio de queima de combustíveis, eletricidade ou energia solar” (ASME, 2015a, p.1).

A NR13 ainda classifica as caldeiras em três categorias, de acordo com a sua pressão de operação e volume como disposto no Gráfico 2 (MTE, 2006, p.25):

Gráfico 2: Categorias de caldeiras de acordo com NR 13

Fonte: MTE 2006

Além das categorias estabelecidas em função de sua capacidade, as caldeiras ainda se distinguem pelo seu aspecto construtivo e pela forma que ocorre a troca de calor dentro da mesma. Tal distinção é feita por (ALTAFINI, 2002, p.7):

- Caldeiras Flamotubulares
- Caldeiras Aquatubulares

2.4.1 Caldeiras flamotubulares

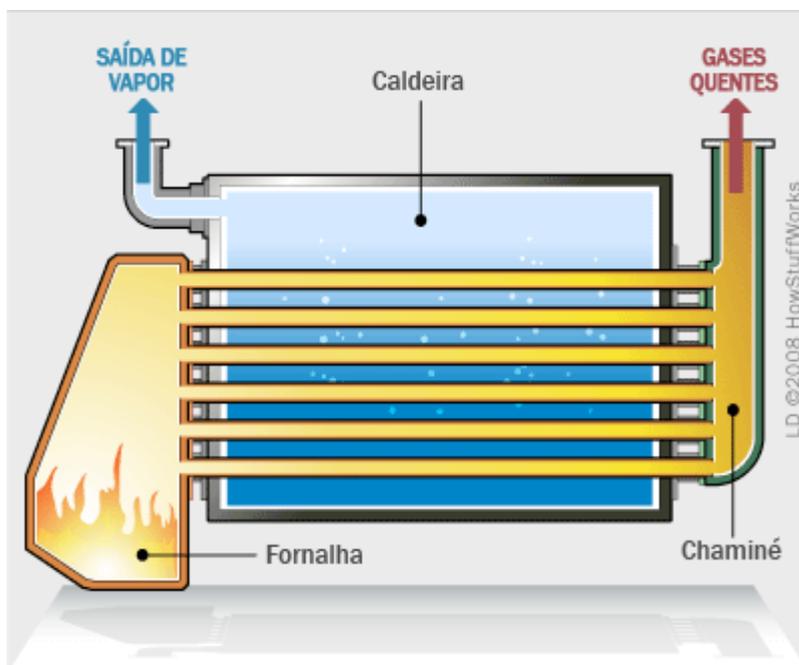
As caldeiras flamotubulares são assim chamadas devido à circulação dos gases quentes no interior de sua tubulação, enquanto a água a ser aquecida permanece

acondicionada na parte externa da câmara de combustão, havendo transferência de dos gases quentes para a água (ALTAFINI, 2002, p.7).

Algumas configurações construtivas destes equipamentos podem se adequar a diferentes usos e combustíveis. Caldeiras Verticais ou horizontais, caldeiras de traseira seca ou molhada e uma grande variedade de equipamentos e características de fornalhas são aplicadas para o uso industrial; no entanto, estas caldeiras são projetadas para operar com pressões limitadas, uma vez que as partes internas da caldeira são submetidas a grande pressão inviabilizando o emprego de chapas de grandes espessuras. Estas limitações são de até 15 ton. vapor/hora e 18 bar (1800 kPa) de pressão de trabalho (ALTAFINI, 2002, p.7).

Este tipo de caldeira ainda é bastante utilizado devido ao seu baixo valor de investimento e baixo valor de manutenção (ELETROPAULO, 2004, p.5). A Figura 1 ilustra a forma de funcionamento de uma caldeira flamotubular horizontal.

Figura 1: Caldeira flamotubular



Fonte: <http://ciencia.hsw.uol.com.br/motor-a-vapor2.htm>

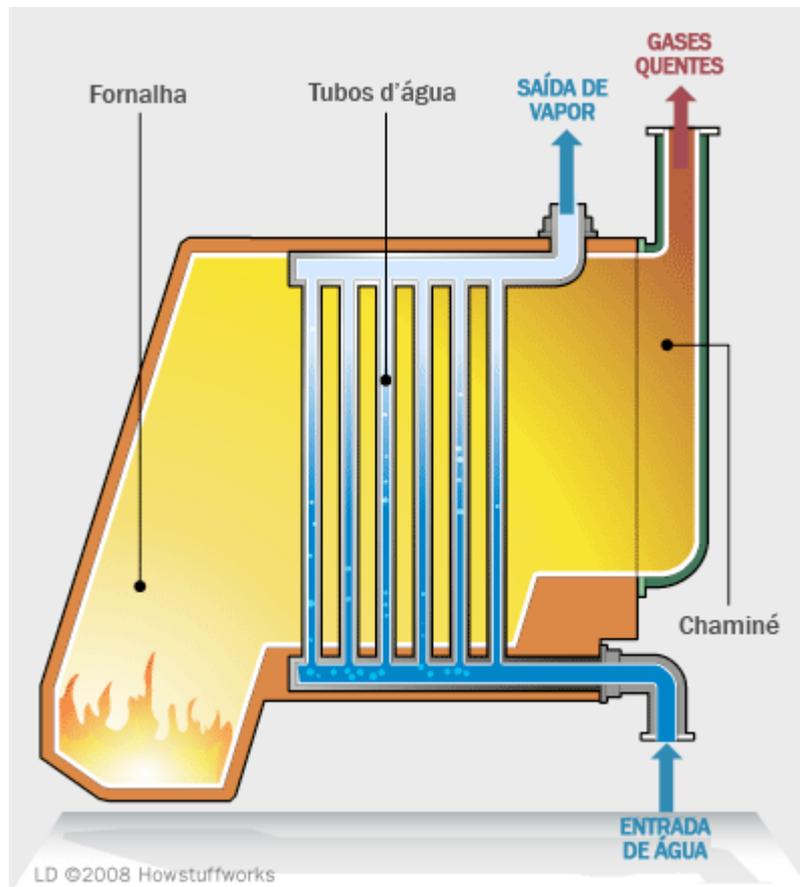
2.4.2 Caldeiras aquatubulares

As caldeiras aquatubulares são equipamentos em que a água a ser transformada em vapor circula no interior da tubulação que é envolta nos gases de combustão. Os tubos onde a água é acondicionada são espalhados por toda a parede da caldeira e estão dispostos a garantir uma eficiente circulação de água em ebulição. A pressurização interna de vasos de menor dimensão torna viável a utilização de materiais de maior espessura, possibilitando que o equipamento alcance altas temperaturas e pressões (ALTAFINI, 2002, p.8; ELETROPAULO, 2004, p.5).

Este tipo de caldeira pode custar até 50% a mais do que uma caldeira de mesma capacidade flamotubular, porém elas possuem maior eficiência e pressões que podem chegar a 5884 kPa (ELETROPAULO, 2004, p.5).

A Figura 2 ilustra o funcionamento de uma caldeira aquatubular.

Figura 2: Caldeira aquatubular



Fonte: <http://ciencia.hsw.uol.com.br/motor-a-vapor2.htm>

2.4.3 Eficiência em caldeiras

Segundo a CIBO, a eficiência em caldeiras varia de 65% a 85%, sendo que a diferença entre este índice e o total aproveitamento da energia se traduz em perdas energéticas e conseqüentemente em custos. Algumas destas perdas são inevitáveis, outras, porém podem ser minimizadas, tornando o processo mais eficiente (CIBO, 1997, p.19).

A composição e espessura do material que conduz o calor da fornalha para a água a ser aquecida, composto principalmente por tubos são fundamentais para maximizar a transferência de calor da queima dos combustíveis. O isolamento térmico de todo o equipamento também é de grande valia, para a conservação de energia no sistema. Os materiais adequados e técnicas de montagem e solda são amplamente discutidos

respectivamente nas seções II e IX do *Boiler and pressure vessel code – 2015 Edition* (ASME, 2015b)

O tratamento de águas de alimentação de caldeiras também é fundamental para um bom desempenho do equipamento. As substâncias orgânicas e inorgânicas presentes na água reagem com os materiais dos componentes da caldeira resultando em diversos problemas relacionados à perda de eficiência, corrosão e risco de ruptura de tubulações. Os problemas relacionados a incrustações reduzem a eficiência da transferência de calor e podem ocasionar corrosão dos tubos, rupturas e explosões (ALTAFINI, 2002, p. 14). Outros problemas relacionados à composição da água também estão relacionados à erosão, choque térmico entre outros. A NR 13 cita a grande importância do controle periódico da qualidade da água relacionando este controle à segurança e vida útil do equipamento (MTE, 2006, p.53).

A eficiência da combustão é outro fator determinante na eficiência do equipamento e tem importante papel na redução de custos e preservação do meio ambiente. Em todos os casos, uma boa distribuição do material ao longo da fornalha é recomendada, porém em materiais com alto grau de formação de depósitos de cinzas são necessários à instalação de sopradores de fuligem, limpando a superfície de aquecimento. O rendimento da caldeira pode melhorar de 2 a 10% (ALTAFINI, 2002, p.10).

Para o maior aproveitamento do potencial energético dos combustíveis, é necessária a escolha adequada dos queimadores, a porcentagem correta da mistura ar-combustível, além da calibração e manutenção periódica dos equipamentos envolvidos na combustão e evaporação (SENAI, 2009, p.22).

Equipamentos como os economizadores e pré-aquecedores de ar para caldeiras são formas de aproveitar o calor que sai das caldeiras junto com os gases de escape da chaminé. Estes dois sistemas minimizam o calor necessário para o aquecimento da água de alimentação e do ar insuflado na fornalha recirculando estes dois insumos em trocadores de calor que transferem a temperatura dos gases da chaminé para os mesmos (CIBO, 1997, p.33).

2.4.4 Segurança em caldeiras

A NR 13 é a norma que regulamenta a construção, operação, treinamento, inspeções de rotina, em caldeiras e vasos de pressão. Esta norma também descreve as aptidões dos profissionais habilitados a executarem as etapas descritas acima, além da definição dos itens de segurança e dispositivos que permitam a identificação de dados técnicos e riscos proporcionados pela mesma.

A construção de caldeiras deve seguir as normas dispostas na ABNT NBR ISO 16528-1, que trata dos requisitos mínimos para a construção de caldeiras. O projeto, materiais, testes e aspectos construtivos do equipamento são amplamente discutidos no guia *Boiler and pressure vessel code* da ASME (ABNT, 2015; ASME, 2015b).

Os itens obrigatórios de segurança segundo a NR 13 contemplam todo e qualquer equipamento de indicação de níveis, pressões e temperatura em componentes críticos do processo, além de válvulas de alívio de pressão que devem ser ativadas no caso de o equipamento alcançar uma pressão crítica à sua integridade ou à segurança da operação. A manutenção de tais itens de segurança deve ser documentada e estes documentos mantidos à disposição da fiscalização do MTE, bem como documentos das características de construção, licenças e laudos que comprovem a integridade e segurança na operação da caldeira (MTE, 2006, p. 8-25).

Além dos equipamentos acima citados, no caso de caldeiras que utilizam gás, equipamentos de detecção de vazamento de combustível, equipamentos de purga de combustível da câmara de combustão pré-ignição e sensores que cortem a alimentação do combustível caso o(s) queimador(es) apresente(em) defeito se fazem necessários como medida de prevenção à explosões (SENAI, 1999, p.25; MTE, 2006. p.30).

O item 13.3.4 da NR 13 declara que “toda caldeira a vapor deve estar obrigatoriamente sob operação e controle de operador de caldeira, sendo que o não atendimento desta condição caracteriza em risco grave e iminente”. A operação do equipamento deve ser feita por profissional devidamente capacitado por treinamento de segurança na operação de caldeiras, devendo o mesmo participar de estágio prático supervisionado na operação do(s) equipamento(s) que serão operados por ele. O treinamento deve torna-lo capaz de interpretar informações obtidas por equipamentos de medição, e

atuação preventiva em anomalias no processo e acidentes de trabalho, e por consequência aumento da segurança na operação (MTE, 2006, p.35-42).

2.4.5 Meio ambiente

De acordo com a resolução nº3 de 1990 do CONAMA no artigo 1º poluentes atmosféricos são elementos que alteram a qualidade do ar em concentrações que ocasionem danos à saúde, segurança e bem-estar da população, da fauna e flora, materiais e ambiente em geral. Esta resolução ainda classifica os poluentes como primários, que são gerados diretamente na fonte poluidora e secundários, que são aqueles formados na atmosfera por reação química entre poluentes ou entre poluente e constituintes naturais da atmosfera (CONAMA, 1990, p.342; CETESB, 2015, p.19).

Substâncias liberadas para a atmosfera tais como dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido e enxofre (SO₂) e Monóxido e dióxido de carbono (CO), além de materiais particulados são objetos de inspeção e controle para a qualidade do ar. A Tabela 3 descreve os principais poluentes atmosféricos suas fontes e os danos causados ao meio ambiente.

Tabela 3: Fontes e características dos principais poluentes na atmosfera

Poluente	Características	Fontes principais	Danos causados ao meio ambiente
Partículas Inaláveis Finas	Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc., que podem permanecer no ar e percorrer longas distâncias. Faixa de tamanho $\leq 2,5$ micra.	Processos de combustão (industrial, veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera) como sulfato e nitrato, entre outros	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Partículas Inaláveis e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho ≤ 10 micra	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), poeira ressuspensa, aerossol secundário (formado na atmosfera).	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Partículas Totais em Suspensão	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho ≤ 50 micra	Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol marinho e solo	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser transformado a SO ₃ , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa e papel, fertilizantes.	Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.	-

Fonte: Adaptado de CETESB 2015

As partículas sólidas em suspensão são basicamente porções de combustível não carbonizadas que saem pela chaminé da caldeira. Para adequar-se à legislação, uma quantidade considerável de recursos ambientais, materiais e financeiros são dispendidos. Tais técnicas de retenção envolvem filtros mecânicos, precipitadores eletroestáticos e lavadores de

gases. Atenção especial deve ser dada a estes últimos, pois dependendo do combustível utilizado na caldeira, a água pode sofrer uma combinação química resultando em contaminação por ácido sulfúrico e ácido clorídrico, demandando tratamento especial na sua coleta e disposição (CIBO, 1997, p.44).

De acordo com SENAI (1999, p12) e CONAMA (2006 p.17) quando o gás queima completamente a presença de materiais particulados é mínima ou nula.

2.5 Gás Natural

De acordo com Barros (2009, p. 53) o gás natural, junto com o petróleo e o carvão é “a energia química armazenada em depósitos geológicos, formados a milhões de anos a partir da decomposição de vegetais e animais, submetidos a altas temperaturas e pressões na crosta terrestre”. São chamados de combustíveis fósseis, e do ponto de vista prático, são classificados como fontes não renováveis de energia, uma vez que o ciclo de natural de formação de suas reservas leva milhões de anos, sendo assim, esta classificação é determinada pela perspectiva de tempo do homem (CURY, 2011, p. 12).

De acordo com a lei das atividades relativas ao transporte de gás natural (BRASIL, 2009), “Gás Natural ou Gás é todo hidrocarboneto que permaneça em estado gasoso nas condições atmosféricas normais, extraído diretamente a partir de reservatórios petrolíferos ou gaseíferos, cuja composição poderá conter gases úmidos, secos e residuais”. Em seu estado bruto, o gás natural é composto principalmente por metano, com proporções variadas de etano, propano, butano, hidrocarbonetos mais pesados e também CO₂, N₂, H₂S, água, ácido clorídrico, metanol e outras impurezas (ANEEL, 2005).

As UPGN fazem a separação do gás natural seco de seus subprodutos: GLP, C₅₊ (gasolina natural), etano e propano, além de contaminantes como água e areia, Segundo a ANP, o volume de gás natural seco representou 94% do volume total extraído dos poços em 2012 (ANP, 2013 p.93).

2.5.1 Fontes e Reservas

As informações publicadas no Anuário estatístico brasileiro de petróleo, gás natural e biocombustíveis de 2013 pela ANP, apontam que as reservas naturais mundiais provadas estão em 187,3 trilhões de m³, sendo que no Brasil, este volume chega a 459,2 bilhões de m³ e de nosso principal fornecedor, a Bolívia 320 bilhões m³. O Brasil importou um total de 10,1 bilhões m³ da Bolívia em 2012, este volume totalizou 77,1% do total importado (ANP, 2013, p 124). Em 2013 as importações de gás natural subiram para 16,5 bilhões m³ (aumento de 25,7% em relação ao ano anterior), dos quais 11,6 bilhões m³ são provenientes da Bolívia que embora tenha aumentado seu volume de exportação para o Brasil teve a participação reduzida para 70,2% do total. Em segundo lugar está Trinidad e Tobago com 2,18 bilhões (18,75%) (ANP, 2014, p 129).

O sistema de distribuição de gás natural conta com 11,7 mil km, 110 dutos destinavam-se à movimentação de gás natural, sendo que 2270 km para transferência e 9400 km para transporte (ANP, 2013, p.107).

Entende-se por gasoduto de transferência o duto destinado à movimentação de gás natural, entre núcleos de produção e armazenamento (produtor-produtor), e por linha de transferência a movimentação de gás natural até as concessionárias estaduais (produtor-distribuidor) (BRASIL, 2009).

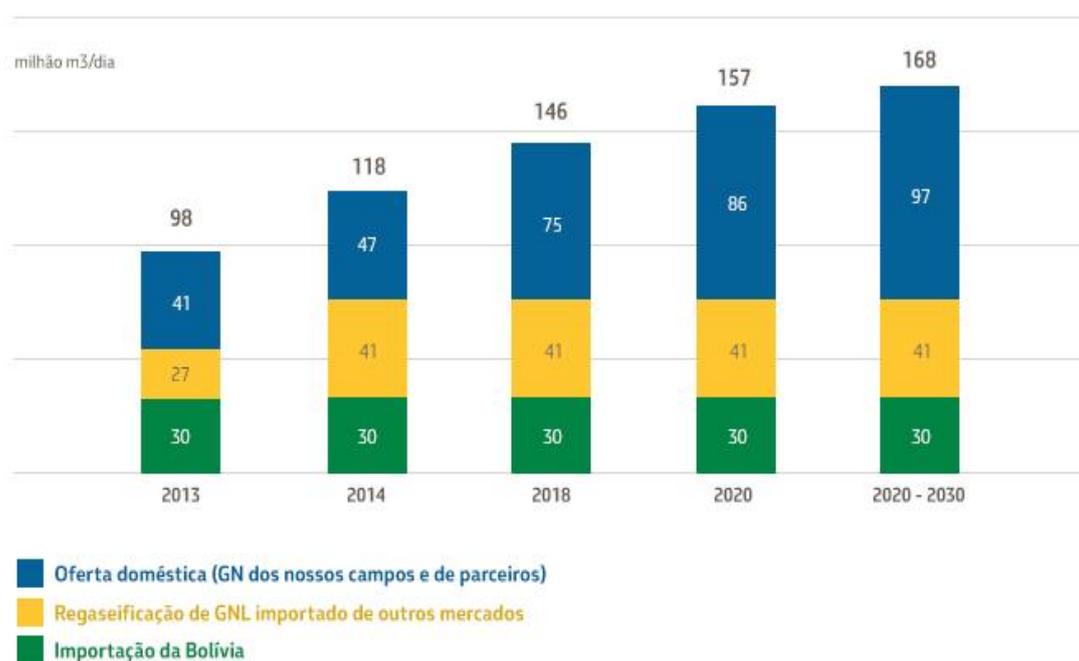
A concessão de exploração de poços de gás natural no Brasil se dá em sua maior parte à Petrobras, que por exploração exclusiva do recurso produz 90% do volume nacional, e quando associada a outras empresas, ela atinge 98,2% de todo o gás natural produzido no Brasil (ANP, 2013, p.69).

Ainda de acordo com o anuário da ANP a relação de reserva e produção nacional (R/P) subiu de 15,5 anos em 2003, para 17,8 anos em 2012 (ANP, 2013, p.75).

2.5.2 Utilização Regional

A Petrobrás, companhia que detém a maior concessão dos poços de petróleo e gás natural do país divulgou que a entrega de gás a seus clientes chegou a 96 milhões m³ por dia. Atualmente esta oferta é composta em grande parte por importações, contudo, o planejamento estratégico da empresa prevê investimentos para o aumento da eficiência das operações, no intuito de atingir-se um aumento da produção, ficando o país menos dependente de importações, como mostra o Gráfico 3 (PETROBRÁS, 2015).

Gráfico 3: Projeção da capacidade de produção de gás natural da Petrobrás 2013-2030.



Fonte: <http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/oferta-de-gas-natural/>

De acordo com a Secretaria de Energia do Estado de São Paulo 12,36 milhões m³ são consumidos diariamente pelas indústrias do estado; este valor representa 72,15% do total consumido no estado (SÃO PAULO, 2014, p.54).

A distribuição de gás natural no estado de São Paulo esta sob concessão de três empresas: A Comgás, com 14,96 milhões m³/dia, a Gás Brasileiro com 0,85 milhões m³/dia e

a Gás Natural Fenosa com 1,32 milhões m³/dia (SÃO PAULO, 2014, p. 55). A Figura 3 Demonstra como é feita esta divisão:

Figura 3: Concessão da distribuição de gás natural no estado de São Paulo



Fonte: <http://www.energia.sp.gov.br/portal.php/gas-natural>.

A Gás Brasileiro, uma companhia do sistema Petrobrás, é responsável pela distribuição de gás natural no noroeste do estado de São Paulo, com 30 municípios atendidos em sua área de concessão, dentre eles a cidade de Marília (GÁS BRASILIANO, 2015). A Figura 4 detalha as cidades atendidas pela empresa.

Figura 4: Mapeamento das cidades do noroeste paulista atendidas pela Gás Brasileiro



Fonte: <http://www.gasbrasiliano.com.br/industrial/nossa-rede/>

Segundo a ABEGAS, a Gás Brasileiro atende mais de 350 clientes em Marília, incluindo indústrias, comércios, residências e posto de GNV. Entre as indústrias atendidas estão a Dori, Marilan, Nestlé e Spal (Coca-Cola). Mais de 47 mil m³ de gás natural são consumidos em Marília diariamente (ABEGAS, 2015).

2.5.3 Custo-Benefício

O poder calorífico de um combustível é a razão entre quantidade de energia liberada na forma de calor pela quantidade de massa do combustível. No SI esta grandeza é expressa em joules por grama (J/g), não sendo raro encontrar tais especificações em Quilocalorias por metros cúbicos (Kcal/m³).

O poder calorífico é dividido ainda em poder calorífico superior e poder calorífico inferior. Briane & Doat (1985) e Jara (1989) *apud* Quirino *et al*, (2005, p.101) os classifica como sendo:

Poder calorífico superior é aquele que se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado. O poder calorífico inferior é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água.

A Tabela 4 foi elaborada com dados adaptados da FISPQ do gás natural, fornecida pela distribuidora de gás natural Comgás.

Tabela 4: Tabela adaptada das características físico-químicas e energéticas de gás natural.

	Poder calorífico inferior (Kcal/m ³)	Poder calorífico superior (Kcal/m ³)	Densidade (Kg/m ³)
Mínimo	35.011,70	37.674	0,65
Máximo	38.343,76	42.697,20	0,8

Fonte: COMGÁS, 2015

A Tabela 5 fornece os valores disponíveis aos consumidores industriais de acordo com o porte de suas instalações e seu consumo mensal. Estes valores foram obtidos com base no serviço de abastecimento industrial da Gás Brasileiro, com valores do gás natural nas seguintes condições:

Poder Calorífico Superior = 9.400 kcal/m³ (39300 kJ/m³).

Temperatura = 293,15° K (20° C).

Pressão = 101.325 Pa (1 atm).

Tabela 5: Valores tarifados para consumidores industriais de acordo com o consumo mensal pela Gás Brasileiro.

CLASSES	m³/mês	FIXO R\$/mês	VARIÁVEL R\$/m³
1	Até 3.000,00 m ³	171,92	2,010906
2	3.000,01 a 7.000,00 m ³	171,92	1,874865
3	7.000,01 a 15.000,00 m ³	171,92	1,668284
4	15.000,01 a 40.000,00 m ³	171,92	1,61857
5	> 40.000,00,00 m ³	171,92	1,569192

Fonte: <http://www.gasbrasiliano.com.br/industrial/tarifas/>

O valor “fixo” disposto na Tabela 5, diz respeito à uma taxa fixa sobre a disponibilidade do combustível aos usuários.

2.6 Retorno de investimento

Para Bordeaux-Rego et al (2010, p.28) um projeto de investimento tem o intuito de gerar valor econômico para a empresa. As decisões de investimento de capital devem ser tomadas de forma estratégica, pois há riscos com relação ao retorno do investimento e a alocação dos recursos financeiros será por períodos superiores a um ano (BORDEAUX-REGO et al, 2010, p.29).

As fontes de financiamento do projeto podem ser o capital próprio, por meio da retenção de lucros para este fim; o capital de terceiros, seja por meio de empréstimos ou por emissão de ações ou pode também ser como capital misto, onde parte do capital é próprio e parte de terceiros (BORDEAUX-REGO et al, 2010, p.28). Seja qual for a fonte do financiamento há um custo associado ao capital. Samanez (2009, p.187) escreve que o custo do capital para a empresa é a remuneração que ela tem de oferecer aos fornecedores deste

recurso. Para o capital de terceiros, esta remuneração se caracteriza pelo pagamento de juros, para o capital próprio leva-se em consideração o custo de oportunidade do capital.

Samanez (2009, p.36) descreve a orçamentação de capital como sendo “a identificação, análise e seleção de oportunidades de investimento”. A orçamentação de capital se vale de alguns modelos matemáticos que simulam investimento e retornam resultados que auxiliam a tomada de decisão por meio das entradas futuras nos fluxos de caixa. Tais modelos serão descritos de forma breve, tornando possível a inserção de dados reais em suas equações para que sejam feitas simulações no estudo de caso.

2.6.1 VPL

Segundo Samanez (2009, p.36) o VPL “tem como finalidade calcular, em termos de valor presente, o impacto dos eventos futuros associados a uma alternativa de investimento”. Bordeaux-Rêgo (2010, p.45) define que o VPL leva em consideração:

Quanto foi investido

Quanto ele gera de fluxo de caixa

Quando deve ocorrer o fluxo de caixa

O risco associado a este fluxo de caixa

A expressão matemática para seu cálculo é dada pela Equação 13:

Equação 13: Calculo da VPL

$$VPL = -In + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + Kk)^{te}}$$

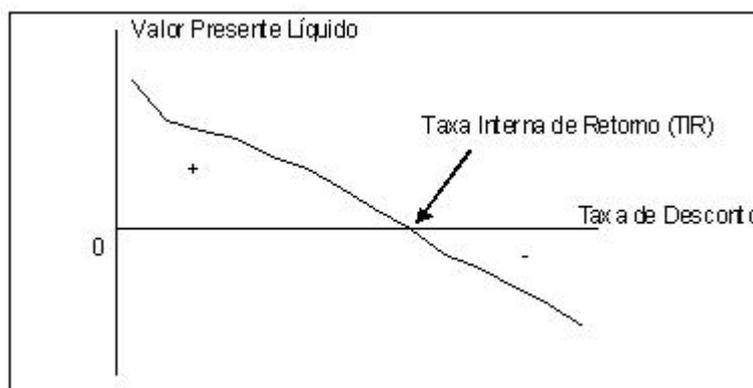
Para todas as equações deste capítulo adotou-se as variáveis comuns sendo: In o investimento inicial, FC_t é o fluxo de caixa na data te e Kk é o custo do capital definido pela

empresa. O VPL positivo aponta o investimento como sendo economicamente viável (BORDEAUX-RÊGO 2010, p.45; SAMANEZ, 2009, p.37)

2.6.2 TIR

A TIR aparece como uma referencia a ser utilizada para definir a aceitação ou não de um projeto em função da taxa de retorno de capital do investimento. Este modelo objetiva apontar qual a taxa intrínseca de rendimento do projeto e se esta taxa supera a taxa de retorno requerida para compensar o custo de capital (BORDEAUX-RÊGO 2010, p.45; SAMANEZ, 2009, p.54). No Gráfico 4, observa-se que à medida que a taxa de desconto aumenta, o valor da VPL diminui. A intersecção entre o VPL e a TIR representa o valor em que o VPL é nulo, ou seja, a taxa de desconto que contempla o custo do capital torna o investimento economicamente inviável.

Gráfico 4: VPL em função da taxa de desconto



Fonte: http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/952

Ainda utilizando a equação da VPL, pode-se calcular qual o ponto de intersecção do Gráfico 11. Sendo assim igualando-se a VPL a 0, encontra-se qual o valor i supera o valor de K_k como na Equação 14:

Equação 14: Calculo da TIR

$$VPL = -In + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^{t\epsilon}} = 0$$

“A regra decisória a ser seguida no método TIR é: empreenda o projeto de investimento se a TIR exceder o custo do capital” (SAMANEZ, 2009, p.39).

2.6.3 PAYBACK descontado

O *payback* leva em conta o tempo de retorno do capital investido. Este modelo retorna o número de períodos em que decorrerão até que o valor presente dos fluxos de caixa se iguale ao investimento inicial (SAMANEZ, 2009, p.38).

A Equação 15 representa o cálculo do tempo T necessário para o retorno do investimento e é dada por:

Equação 15: Calculo do Payback

$$I = \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+Kk)^{t\epsilon}}$$

O *payback* descontado leva em consideração o valor do dinheiro no tempo, incluindo, como nos casos acima citados o valor de Kk , o custo do capital. Tal modelo é muito utilizado como critério de desempate de VPL's parecidas em que o tempo de recuperação de capital se torne relevante, ou também como fator de determinação do grau de risco do projeto, uma vez que as incertezas associadas ao projeto tendem a aumentar com o passar do tempo (BORDEAUX-RÊGO 2010, P.45).

3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso ocorreu em uma empresa do setor de alimentos, no segmento de doces e produtos para festas. Este estudo iniciou-se com o monitoramento do circuito elétrico utilizado no processo em que se deseja implantar melhorias. Obtidos os dados do monitoramento, aplicaram-se as equações relacionadas à energia elétrica, estimando o custo mensal de energia elétrica do processo. Para a estimativa de custo, buscaram-se além da tarifação vigente de energia elétrica, alguns dados da conta de energia elétrica da empresa.

Em um segundo momento, foram coletados os dados de produção, o volume dos tanques, bem como do circuito de transferência de calor, composto por tubulações e camisas térmicas do tipo casco-tubo. Com tais dados em mãos, aplicaram-se as equações encontradas nos referenciais teóricos relacionados à transferência de calor, e determinou-se a real necessidade energética do processo.

O próximo passo foi o levantamento dos custos dos investimentos necessários para a implantação da caldeira. Estes custos foram verificados com empresas da região de Marília, empresas estas com bom histórico em prestação de serviços às indústrias da cidade. A partir destes dados, foi elaborado o plano financeiro de acordo com alguns critérios de retorno e taxa de atratividade estipulados pela empresa.

3.1 A empresa

A empresa na qual se estudou a viabilidade de implantação de caldeira industrial atua no ramo alimentício desde o ano 2000, e tem boa representatividade no segmento de chocolate e achocolatados em pó para o atacado e varejo, sendo sua marca consolidada no mercado. A partir do ano de 2011 a empresa começou a se fortalecer no segmento de festas com a produção de confeitos granulados.

Atualmente, possui uma das marcas mais reconhecidas do segmento de festas, além da forte atuação no mercado de produtos e ingredientes para indústria alimentícia no mercado nacional e na América Latina.

Instalada recentemente em uma área de 1000 m², no distrito industrial de Marília, a empresa conta com 40 funcionários internos, que trabalham diretamente nos processos produtivos e administrativos da empresa.

O *mix* de produtos industrializados pela empresa é composto de chocolates em pó, achocolatados, confeitos a base de açúcar, cereais cobertos e confeitos granulados, sendo estes produzidos em 5 linhas de produção distintas, operadas em horário administrativo e noturno.

Atualmente os produtos de maior representatividade da empresa são as famílias de produtos de confeitos granulados (Figura 5a) e achocolatados e chocolates em pó (Figura 5b), sendo que estes compõem respectivamente 30% e 60% o volume total produzido pela empresa.

Estes processos são de grande importância para o estudo de caso, uma vez que a energia elétrica monitorada para a sua realização bem como a caldeira industrial são insumos para a execução de tais processos.

Figura 5: a) Produtos granulados. b) chocolates em pó, ambos fabricados pela empresa



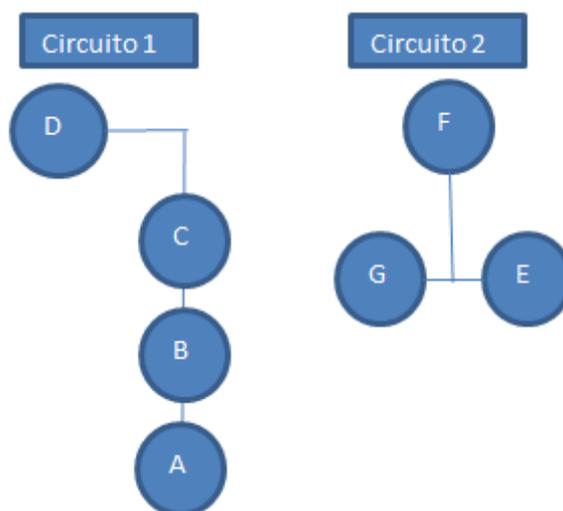
Fonte: A empresa

3.2 O processo atual

No cenário atual de produção, a troca de calor para que haja a fusão de gordura (matéria prima) e caldas (produto semiacabado), é feita com a utilização de resistências elétricas. A água aquecida é bombeada de forma a recircular em tanques encamisados, através

de dois circuitos independentes que serão chamados de circuito 1 e circuito 2. A Figura 5 mostra um esquema no qual os tanques foram identificados por letras.

Figura 6: Representação esquemática dos circuitos de água aquecida



Fonte: O autor com base em dados obtidos na empresa

No circuito 1 estão os tanques que contêm as caldeiras. Em cada tanque está instalada uma resistência elétrica para a manutenção do calor dentro das camisas, exceto no tanque D que contém duas resistências e é o tanque onde o calor se origina. O circuito 2 conta com resistências apenas no tanque F, sendo ele a única fonte de calor dos demais tanques do circuito.

3.2.1 Monitoramento do consumo de energia elétrica

O monitoramento foi realizado instalando-se dois contadores de passo modelo DH-100 do fabricante Coel. Estes equipamentos contabilizam o tempo conforme há corrente elétrica passando pela rede que os alimenta. Estes elementos foram instalados junto aos painéis elétricos que controlam os termostatos de cada circuito separadamente. Foi medida também a corrente solicitada por cada resistência com um multímetro modelo AC-200, do fabricante Würth por profissional capacitado. A Tabela 6 nos fornece informações detalhadas

sobre o monitoramento. A partir dela pode-se concluir a taxa de solicitação de corrente pelo tempo.

Tabela 6: Monitoramento da quantidade de tempo de acionamento das resistências elétricas

	Circuito 1		Circuito 2		Total de horas contabilizadas
	Inicial	Final	Inicial	Final	
Período de monitoramento	29/09/2015 - 08:00	07/10/2015 - 12:00	29/09/2015 - 08:00	07/10/2015 - 12:00	
Horas de monitoramento	196		196		-
Marcador horímetro 1	3.215,90	3.404,50	-	-	188,6
Marcador horímetro 2	-	-	103,5	248,2	144,7
% tempo contabilizando	96,22		73,83		-
Corrente elétrica solicitada (A)	75		37,5		-

Fonte: O autor com base em dados obtidos na empresa

Ao utilizar os dados “% de tempo contabilizando” da Tabela 6 pode-se projetar o consumo de energia elétrica para um mês de 30 dias (ou 720 horas). O tempo total solicitando corrente de cada circuito é a multiplicação de 720 horas pelo valor “% tempo contabilizando” de cada circuito. Utilizando a Equação 11, com os dados da tensão V em [V] e da corrente I em [A] obtém-se a potência P em [kW]. Multiplicando-se o valor de P pelo tempo de solicitação de corrente, obtém-se o consumo de energia elétrica em [MWh], como mostra a Tabela 7.

Tabela 7: Consumo em MWh em função do tempo, corrente e tensão

	Circuito 1	Circuito 2
Dias	30	30
Horas	720	720
Tempo solicitando corrente (h)	692,784	531,576
Corrente solicitada (A)	75	37,5
Tensão (V)	220	220
MWh	11,43094	4,385502
Total consumido (MWh)	15,816438	

Fonte: O autor com base em dados obtidos na empresa

Multiplicando-se a quantidade de energia solicitada em cada circuito pelos valores disponíveis na Tabela 2, encontra-se o custo da energia elétrica utilizada atualmente para o processo de aquecimento de água. A Tabela 8 calcula o custo de cada circuito em [R\$], adotando-se os dados de tarifação vigentes e fazendo uma proporção dos horários diferenciados de tarifação de um mês com 30 dias e 22 dias úteis, conforme os valores de “% de tempo contabilizando” na Tabela 6. Os horários de ponta correspondem a 9,2% do tempo de consumo de energia elétrica.

Tabela 8: Custo mensal do consumo de cada circuito em R\$ de acordo com a tarifação diferenciada por horário

	Ponta		Fora Ponta		Bandeira vermelha ponta (R\$)	Bandeira vermelha fora ponta (R\$)	Total (R\$)
	MWh	R\$	MWh	R\$			
Circuito 1	1,076	660,849	10,667	810,232	455,453	2.988,24	4.914,77
Circuito 2	0,402	246,77	3,983	302,552	170,09	1.115,84	1.835,25
Total	1,478	907,619	14,65	1.112,78	625,543	4.104,07	6.750,02

Fonte: O autor com base em dados obtidos na empresa

Quando se acrescentam os valores dos impostos aplicados sobre a fatura de energia elétrica, ocorre um aumento de aproximadamente 33% no valor total. Todavia, o consumo de energia elétrica no aquecimento de água por meio das resistências do circuito 1 e 2 representa 45% do consumo total da fábrica. Sendo assim, o custo aproximado da operação é de R\$7.730,00 mensais. O cálculo da representatividade do consumo de energia elétrica foi feito pela divisão da quantidade “Total consumido (MWh)” da Tabela 5, dividido pelos valores de consumo em (MWh) que constavam na fatura de energia elétrica da empresa, multiplicado por 100.

3.2.2 Demanda energética do aquecimento de ingredientes

A demanda energética na operação de aquecimento dos ingredientes é a somatória da quantidade de energia utilizada para o aquecimento da água, mais a quantidade de energia para o aquecimento da gordura e caldas, mais a energia necessária para a manutenção de temperatura da água e da gordura e mais o calor dissipado para a atmosfera.

A Tabela 9 fornece o volume de água aquecida e a temperatura interna de aquecimento em cada tanque segundo o layout mostrado na Figura 5. A partir desta tabela, utilizou-se a Equação 2 para estimar a demanda energética no aquecimento do sistema de troca de calor dos tanques. O valor final da tabela será multiplicado por 30, representando uma reposição de 680 litros diários de água no sistema, ou seja, a água é renovada uma vez ao dia seja por perdas ou por descargas de fundo.

Tabela 9: Volume de água aquecida para transferência de calor

Tanque	Circuito 1				Circuito 2			Total
	A	B	C	D	E	F	G	
Volume tanque (m ³)	0,473	0,473	0,473	0,138	1,574	0,183	0,965	3,959
Volume camisa (m ³)	0,032	0,032	0,032	0,183	0,192	0,139	0,047	0,656
Tubulação (m ³)	0,015				0,013			0,028
Total de água aquecida (m ³)	0,432				0,573			0,684
Δt (°C)	36	36	36	36	36	36	36	
Consumo energético (kcal)	1.555,69				2.062,05			3.617,74
Consumo energético (kJ)	6.512,13				8.631,74			15.143,87
Consumo energético kJ (levando em conta a reposição de água)							454.316,13	

Fonte: O autor com base em dados obtidos na empresa.

Ainda utilizando a Equação 2, pode-se definir a quantidade de energia necessária para aquecer a gordura contida nos tanques dos circuitos 1 e 2. Para tanto é necessário o calor específico c da gordura, sua massa m e a diferença de temperatura dentro e fora do tanque (temperatura atmosférica). Na obtenção dos dados de temperatura externa utilizou-se uma média das médias de temperatura obtidas na Tabela A1, localizada no Anexo 1 deste trabalho. A Tabela 10 fornece os valores energéticos necessários para a fusão dos ingredientes do processo com base na média dos volumes de produção de calda de chocolate e gordura nos meses de junho a agosto. Estes valores são necessários apenas para fundir os ingredientes, não sendo consideradas perdas de calor para a atmosfera.

Tabela 10: Valores energéticos necessários para a fusão de gorduras e caldas

	Gordura	Calda
Calor específico (kcal/kg*°C)	0,46	0,334
Massa (kg)	24216	2286
Δt (°C)	46	36
Q (kcal)	512.410,56	27.486,86
Q (kJ)	2.144.950,60	115.060,01
Total (kJ)	2.260.010,62	

Fonte: O autor com base em dados obtidos na empresa.

Vale lembrar um Δt expresso em K (como no caso da Equação 2) pode ser substituído por °C, uma vez que o valor unitário nas duas escalas de temperatura são iguais. Desta forma, no estudo de caso, será aplicada esta característica em comum entre as escalas para utilização das unidades de temperatura em °C, sem que haja prejuízo nos cálculos.

Como descrito no capítulo 2.2, a segunda lei da Termodinâmica declara que o calor é transferido do sistema de maior temperatura até o sistema com menor temperatura. Assim sendo, em um sistema sem isolamento térmico a dissipação de calor ocorre de forma deliberada, onde parte do calor mantém o interior do tanque quente, porém a maior parte do calor é dissipado para a atmosfera, acarretando na ineficiência do sistema de aquecimento e prejuízos financeiros para o processo. A Tabela 11 nos fornece o valor do fluxo de calor dissipado na atmosfera por meio da utilização das Equações 4 e 5.

Tabela 11: Valor do fluxo de calor dissipado na atmosfera

Tanque	A	B	C	D	E	Total
Raio externo (m)	0,44563384	0,44563384	0,44563384	0,68436626	0,54112681	-
Raio interno (m)	0,4313099	0,4313099	0,4313099	0,64616907	0,52839441	-
L (m)	1,1	1,1	1,1	1,5	1,4	-
Área da tampa (m ²)	1,24777475	1,24777475	1,24777475	2,9427749	1,83983114	8,52593
Área fundo (m ²)	1,24777475	1,24777475	1,24777475	2,9427749	1,83983114	8,52593
Espessura tanque (m)	0,003175	0,003175	0,003175	0,003175	0,003175	-
<i>kc</i> material (W/m*K)	60,5	60,5	60,5	14,4	60,5	-
Δt (°C)	36	36	36	36	36	-
Fluxo de calor radial (kW)	460.755,89	460.755,89	460.755,89	85.071,05	804.626,91	2.271,97
Fluxo de calor por paredes planas (kW)	1.711.907,66	1.711.907,66	1.711.907,66	960.966,62	2.524.190,38	8.620,88
Fluxo de calor total (kW)	2.172.663,55	2.172.663,55	2.172.663,55	1.046.037,67	3.328.817,29	10.892,85

Fonte: O autor com base em dados obtidos na empresa

Os valores de *kc* dos materiais que compõe o tanque são valores médios encontrados em tabelas de estudo da termodinâmica (NETO, 2010, p. 6-9). Desta forma, pode haver variações nos resultados da tabela acima. Para tais resultados foram tomados os valores de espessura das chapas dos tanques como sendo de 1/8” (0,003m). Nestes cálculos não foram levados em consideração o calor dissipado nos tanques D e F, uma vez que os mesmos seriam removidos do processo tendo a caldeira como fonte de geração de calor.

A Tabela 12 simula condições semelhantes às mostradas na tabela 11, no entanto, acrescentou-se uma camada de 5 cm de poliuretano expandido à superfície de cada tanque, de forma que a dissipação de calor será menor. Esta simulação foi feita com base nos dados das Equações 8 e 9. O Poliuretano expandido é um material comumente utilizado para esta finalidade, seu valor de k_c (0,024 W/m*K) foi obtido em Neto (2010, p.6-9), a mesma fonte dos valores k_c da Tabela 11.

Tabela 12: Fluxo de calor dissipado na atmosfera com paredes isoladas

Tanque	A	B	C	E	G	Total
Raio interno carbono (m)	0,431	0,431	0,431	0,646	0,528	-
Raio externo carbono (m)	0,446	0,446	0,446	0,684	0,541	-
Raio interno poliuretano (m)	0,446	0,446	0,446	0,684	0,541	-
Raio externo poliuretano (m)	0,496	0,496	0,496	0,734	0,591	-
R carbono plano (K/W)	4,21E-05	4,21E-05	4,21E-05	7,49E-05	2,85E-05	-
R _R carbono radial (K/W)	7,81E-05	7,81E-05	7,81E-05	0,00042318	4,47E-05	-
R _R poliuretano (K/W)	0,641	0,641	0,641	0,312	0,419	-
R equivalente na tampa (K/W)	4,21E-05	4,21E-05	4,21E-05	7,49E-05	2,85E-05	-
R equivalente no corpo (K/W)	0,641	0,641	0,641	0,312	0,419	-
Fluxo de calor pela tampa (W)	855.953,83	855.953,83	855.953,83	480.483,31	1.262.095,19	-
Fluxo de calor pelo corpo (W)	56,148	56,148	56,148	115,323	85,988	-
Fluxo de calor (W)	856.009,98	856.009,98	856.009,98	480.598,63	1.262.181,18	4.310.809,75
Fluxo de calor (kW)	856,01	856,01	856,01	480,599	1.262,18	4.310,81

Fonte: O autor com base em dados obtidos na empresa

Na Tabela 12 os valores R dos materiais foram obtidos por meio das Equações 6 e 7, o valor R equivalente foi baseado na Equação 8.

Quando se comparara a células destacada em cinza da Tabela 12 (10.892,85 kW) com a Tabela 11 (4.310,810 kW), observa-se que o isolamento térmico por si só teria um enorme impacto positivo com relação ao consumo de energia do processo, sendo a eficiência deste isolamento de aproximadamente 60,5% (obteve-se o valor da eficiência dividindo 4.310,81 por 10.892,85 e multiplicando o resultado por 100).

Avaliando-se a demanda energética total do processo, somando o total da demanda energética das Tabelas 9 e 10 (destacados em cinza), o valor encontrado é de 2.714.326,74 kJ. Acrescentando-se a este valor a quantidade necessária para suprir a ineficiência do isolamento (39,5%), este valor aumenta para 3.788.513,10 kJ. Por fim, somando a perda de calor com a eficiência da caldeira, informada pelo fabricante (18%), teremos um total de 4.470.445,46 kJ.

3.3 Situação avaliada

A situação avaliada como proposta de implantação neste estudo de caso é a adoção de uma caldeira vertical, flamotubular e de pequeno porte, modelo VGI-310 do fabricante Ecal. O Anexo II apresenta a ficha técnica do modelo de interesse, bem como de vários modelos similares.

Assim como já foi mencionado no item 3.2.2, além da caldeira, propõe-se também o isolamento térmico das paredes dos tanques, uma vez que a eficiência de todo o sistema aumenta significativamente. Para esta etapa foi realizado um orçamento com a empresa Montec Inox pelo serviço de isolamento e custo do material isolante. A mesma empresa também fez o orçamento de montagem da referida caldeira. Os valores destes e outros custos de implantação constam na Tabela 13, na seção 3.4.

A caldeira do estudo de caso é um equipamento seminovo fabricado no ano de 2007. Trata-se de um modelo vertical do tipo aquatubular, com reservatório de 600 litros, e eficiência aproximada de 82%. Para os parâmetros de operação consideram-se mesmos

valores apresentados em sua ficha técnica, já a eficiência foi calculada pela razão entre a produção de vapor hora, dividida pelo consumo de combustível, multiplicado pelo poder calorífico superior do combustível (39400 kJ/m^3).

Caso se mostre vantajosa a sua implantação, a caldeira será a fonte de geração de calor para os processos de aquecimento de gordura e caldas, e como benefício secundário à sua aquisição, a mesma poderia ser utilizada para aquecimento de água destinada à limpeza de equipamentos e utensílios, facilitando as condições de trabalho na manutenção de um ambiente limpo e adequado para a fabricação de alimentos.

3.4 Custo de investimento e operação

O orçamento de montagem da caldeira e serviço de isolamento térmico foi feito pela empresa Montec Inox de Marília - SP. O custo de homologação da caldeira foi orçado na empresa Maritec de Oriente - SP. A caldeira, como dito anteriormente será adquirida de um empresário do ramo de lavanderias da cidade de Marília - SP. O custo de canalização do gás natural foi fornecido pela empresa Gás Brasileiro, bem como o custo do combustível. Os valores de mão de obra na operação de caldeiras foram fornecidos pela STIAM com base no salário e tributos vigentes no mês de setembro de 2015. Como requisito na operação de caldeiras, se faz necessária a presença de um responsável técnico enquanto a mesma estiver em funcionamento (NR 13, item 13.3.4). Na Tabela 13 consta o valor de R\$1.700,00 de salário do operador, adicionados de R\$1.360,00 em impostos para a empresa sobre este salário, resultando em um custo de R\$3.060,00 por colaborador para a empresa.

A Tabela 13 fornece os valores de implantação e operação da caldeira no processo de aquecimento de gordura e caldas.

Tabela 13: Custos de investimento e operação da caldeira

	Item	Valor (R\$)
Investimento	Caldeira Industrial	15.000,00
	Montagem caldeira	6.000,00
	Isolamento térmico	15.000,00
	Canalização de gás	8.000,00
	Homologação caldeira	3.500,00
	Subtotal	47.500,00
Operação	Combustível mensal	450
	Mão de obra operação (3 caldeiristas)	5.100,00
	Impostos sobre m.o. de operação	4.080,00
	Subtotal	9.630,00

Fonte: O autor com base em orçamentos de terceiros

O custo com gás natural foi obtido por meio da Equação 16, baseado nos dados da Tabela 5.

Equação 16: Custo mensal do gás natural

$$C_{gn} = \left(\left(\frac{e}{p_c} \right) * c_{m^3} \right) + c_f$$

Onde: C_{gn} é o custo total com gás natural em [R\$]

e é a energia necessária no processo em [kJ]

p_c é o poder calorífico superior do gás natural (39400) em [kJ/m³]

c_{m^3} é o custo do m³ do gás natural em [R\$/m³]

c_f é o custo fixo do fornecimento de gás natural em [R\$]

Ao C_{gn} somou-se a taxa de 12% cobrada pelo tributo de ICMS. Os valores de c_{m^3} e c_f estão dispostos na Tabela 5.

3.5 Estudo de viabilidade da implantação da caldeira

Para o estudo de viabilidade da implantação do equipamento tomou-se o valor obtido do monitoramento do custo mensal de energia elétrica (R\$7.730,00), e subtraiu-se deste valor os custos de combustível mensal da Tabela 13. Esta subtração apontou uma economia de capital de R\$7.250,00 mensais (R\$21.750,00 trimestrais), valor este que entrará no cálculo do plano financeiro como o fluxo de caixa.

A simulação de cálculo ocorreu considerando-se o investimento de capital próprio, tomando como prazo máximo de retorno o período de 4 trimestres (1 ano). A taxa de atratividade sugerida pela empresa é de 15%, levando-se em consideração a inflação do período e rendimentos de juros de investimentos. A Tabela 14 fornece o valor do *payback* dividido em 4 trimestres.

Tabela 14: Retorno do investimento financeiro sem considerarmos o custo de mão de obra

Trimestres	Fluxo de caixa nominal (R\$)	Fluxos descontados (R\$)	<i>Payback</i> simples (R\$)	<i>Payback</i> descontado (R\$)
0	-47.760,00	-47.760,00	-47.760,00	-47.760,00
1	21.750,00	18.913,04	-26.010,00	-28.846,96
2	21.750,00	16.446,12	-4.260,00	-12.400,83
3	21.750,00	14.300,98	17.490,00	1.900,15
4	21.750,00	12.435,63	39.240,00	14.335,78
PAYBACK			2,7 trimestres (8 meses e 10 dias)	
VPL			R\$ 12.465,90	
TIR			29,19%	

Fonte: O autor com base em dados pesquisados

O investimento seria facilmente recuperado se considerássemos apenas o custo com combustível, no entanto os custos com operação inviabilizam o investimento, uma vez que estes custos somariam R\$9.180,00 mensais, tornando os fluxos de caixa negativos em R\$5.600,00 a cada trimestre, ou seja, o investimento nunca seria recuperado e acumular-se-ia

um custo relativo de R\$1.850,00 ao mês. A Tabela 15 simula as condições de fluxos de caixa negativos, referente ao emprego de mão de obra na operação da caldeira.

Tabela 15: Retorno do investimento financeiro considerando a mão de obra de operação

Trimestres	Fluxo de caixa nominal (R\$)	Fluxos descontados (R\$)	Payback simples (R\$)	Payback descontado (R\$)
0	-47.760,00	-47.760,00	-47.760,00	-47.760,00
1	-5.600,00	-4.826,09	-53.310,00	-52.586,09
2	-5.600,00	-4.196,60	-58.860,00	-56.782,68
3	-5.600,00	-3.649,22	-64.410,00	-60.431,90
4	-5.600,00	-3.173,23	-69.960,00	-63.605,13
PAYBACK			-	
VPL			-R\$ 55.308,81	
TIR			-	

Fonte: O autor com base em dados pesquisados

3.6 Solução proposta

Diante da condição desfavorável da implantação da caldeira como investimento, devido ao custo com mão de obra evidenciado pela Tabela 15, seguiu-se o estudo de caso com a proposta de apenas investir no isolamento térmico dos tanques do processo atual. Para fundamentar esta sugestão, levantou-se o custo de energia elétrica após o isolamento térmico.

A Tabela 16 segue o mesmo cálculo da Tabela 8, porém, com o sistema isolado termicamente. Para o desenvolvimento deste cálculo tomou-se a eficiência do isolamento térmico de 60,5%, como foi descrito na página 70 deste trabalho. Os períodos de consumo de energia elétrica foram definidos da mesma forma ocorrida na situação sem isolamento térmico.

Tabela 16: Cálculo custo energia elétrica com o circuito de água isolado termicamente

	Ponta		Fora Ponta		Bandeira vermelha ponta (R\$)	Bandeira vermelha fora ponta (R\$)	Total (R\$)
	MWh	R\$	MWh	R\$			
Circuito 1	0,284513	174,6685	2,81927	214,1517	120,3805	789,82	1.299,02
Circuito 2	0,110644	67,92664	1,096383	83,28122	46,81463	307,15	505,17
Total	0,395158	242,5951	3,915652	297,43	167,1951	1.096,97	1.804,19
Total com impostos (R\$)					2.399,58		

Fonte: O autor com base em dados obtidos na empresa

Este valor apresentado na Tabela 16, quando comparado ao valor inicial do custo energético calculado na seção 3.2.1 deste trabalho, proporciona uma redução de custo com energia elétrica de 69%.

3.6.1 Estudo de viabilidade da solução proposta

Por fim, elaborou-se uma estudo financeiro seguindo a mesma metodologia das Tabelas 14 e 15, só que desta vez contemplou-se o investimento do isolamento térmico, e os fluxos positivos de caixa pela diferença dos custos levantados na Tabela 8, e os custos do sistema termicamente isolado da Tabela 16. A Tabela 17 calcula o *payback*, TIR e VPL desta configuração de geração de calor como alternativa à implantação da caldeira industrial. O orçamento total para o isolamento térmico de todos os tanques é de R\$17.660,00 e o fluxo de caixa mensal é de R\$5.331,00. Foram mantidos os mesmos parâmetros de prazo e atratividade da Tabela 14.

Tabela 17: Retorno do investimento financeiro do sistema atual isolado termicamente

Trimestres	Fluxo de caixa nominal (R\$)	Fluxos descontados (R\$)	<i>Payback</i> simples (R\$)	<i>Payback</i> descontado (R\$)
0	-17.660,00	-17.660,00	-17.660,00	-17.660,00
1	15.993,00	13.906,96	-1.667,00	-3.753,04
2	15.993,00	12.093,01	14.326,00	8.339,96
3	15.993,00	10.515,66	30.319,00	18.855,62
4	15.993,00	9.144,05	46.312,00	27.999,67
PAYBACK			1,31 trimestres (3 meses e 27 dias)	
VPL			R\$ 24.347,54	
TIR			82,37%	

Fonte: O autor com base em dados pesquisados

Como se pôde observar, os valores indicados na Tabela 17 mostram-se muito mais vantajosos quando comparados à situação em que se propunha a implantação de uma caldeira industrial. Embora a eficiência energética do combustível seja alta e o custo com este insumo seja baixo, o grande limitante desta alternativa é o custo com a mão de obra na operação, que, como já foi mencionado, superaria os custos iniciais, identificados no monitoramento de energia elétrica.

4 CONCLUSÃO

Toda a pesquisa relacionada ao desenvolvimento deste trabalho, resultou em um enriquecimento do autor a respeito das informações levantadas como forma de embasamento às hipóteses formuladas, para que se alcançasse um resultado economicamente viável para a empresa e, o desenvolvimento de algumas habilidades essenciais à profissão de Engenheiro de Produção Industrial.

No início deste estudo de caso tinha-se a ideia de que a implantação de uma caldeira industrial como forma de geração de calor para o processo produtivo, traria uma redução considerável nos custos relacionados ao consumo de energia elétrica. Em parte esta hipótese se provou verdadeira, uma vez que a eficiência energética de equipamentos movidos a gás natural é sensivelmente maior em relação ao aquecimento por resistências elétricas, no entanto, o processo não havia sido observado como um todo. Com o avanço das pesquisas, concluiu-se que apenas a implantação do equipamento para a geração de calor não acabaria com o desperdício energético causado pela transferência natural de calor dissipado pelos tanques do processo à atmosfera, desta forma, percebeu-se então a necessidade de um isolamento térmico como complemento do investimento, necessário para a melhoria de desempenho do processo.

O fato da implantação de uma caldeira industrial resultar em um menor consumo de energia tem aspecto positivo para o cenário energético do país pois, mesmo que a empresa não tenha grande representatividade de consumo energético no âmbito nacional, a ideia de economia de consumo energético vai de encontro às políticas governamentais, disseminada por meio de cartilhas de orientação de consumo racional de energia e campanhas do PROCEL. Contudo, esta alternativa não se mostrou a de melhor resultado econômico para a empresa, uma vez que o fator de segurança de uma caldeira industrial não permite que a mesma opere de forma autônoma, sendo necessário o acompanhamento constante de um responsável técnico dedicado ao equipamento. Assim sendo, apontamos o fator de mão de obra e os impostos sobre a mesma, como responsável pela inviabilidade da implantação da caldeira industrial, uma vez que o custo deste fator incrementa custo ao processo de obtenção de calor.

Frente a isto, a alternativa proposta para melhorar a performance do processo com as características de demanda energética atuais, é a redução do custo de energia com a implantação de um sistema de isolamento térmico, proporcionando uma economia substancial quando comparado aos resultados alcançados no período do monitoramento energético deste trabalho, e também quando comparado aos resultados financeiros da proposta inicial.

REFERÊNCIAS

ABEGAS, Associação Brasileira das Distribuidoras de Gás Canalizado. **Esmeralda shopping adere ao gás canalizado**. [s.l.], 2015., [s.n.]. Disponível em: <<http://www.abegas.org.br/Site/?p=42931>>. Acesso em: 26 março 2015.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO 16528-1**. 2015. Disponível em: < <http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=1333>>. Acesso em: 09 junho 2015.

ALTAFINI, Carlos R.; **Apostila sobre caldeiras**. Universidade Caxias do Sul, 2002.

ANEEL, Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Bandeiras tarifárias**. [s.l.] 2015 [s.n.]. Disponível em < <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=758>>. Acesso em: 30 setembro 2015.

ANEEL, Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Gás Natural**. [s.l.] 2005 [s.n.]. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/09-Gas_Natural\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/09-Gas_Natural(2).pdf)>. Acesso em: 13 abril 2015

ANEEL, Agencia Nacional de Energia Elétrica. RDC nº456 de 2000 **Condições gerais do fornecimento de energia elétrica**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bres2000456.pdf>>. Acesso em: 30 setembro 2015.

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis : 2012**. Rio de Janeiro : ANP, 2013.

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis : 2013**. Rio de Janeiro : ANP, 2014.

ASME. *American Society of Mechanical Engineers*. **Chapter 236 boiler and pressure vessel safety**: .010 Definitions for chapter. [s.l.; 2015a.; s.n.] Disponível em <<http://www.lrc.ky.gov/statutes/statute.aspx?id=40104>>. Acesso em 03/06/2015

ASME. *American Society of Mechanical Enginners*. **Boiler pressure vessel code**. 2015b. Disponível em: < <https://www.asme.org/shop/standards/new-releases/boiler-pressure-vessel-code/power-boilers>>. Acesso em: 09 junho 2015.

BARROS, Mario T. L.; *et al.* **Introdução à engenharia ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2009

BORDEAUX-RÊGO, R.; PAULO, G.P.; SPRITZER, I.M.P.A.; ZOTES, L.P. **Viabilidade econômico-financeira de projetos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2010.

BRASIL. **Lei n. 11.909**, de 4 de março de 2009. Atividades relativas ao transporte de gás natural. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/11909.htm>. Acesso em: 13 abril 2015

BROWN, Theodore L.; LEMAY, Eugene H.; BURSTEN, Bruce E. **Química a ciência central**. 9 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2014**. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/ar/relatorios/relatorio-ar-2014.pdf>>. Acesso em: 26 junho. 2015.

CIBO, *Council of Industrial Boiler Owners*. **Energy efficiency handbook**. Edited by Ronald A. Zeitz. Burke: 1997.

CIIAGRO. Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. **Temperaturas médias na cidade de Marília**. [s.l.], 2015, [s.n.]. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Quadros/QTmedPeriodo.asp>>. Acesso em: 21 setembro 2015.

COMGÁS, Companhia de Gás de São Paulo. **FISPQ gás natural**. Disponível em: <<http://www.comgas.com.br/pt/gasNatural/conhecaGasNatural/Documents/documentos-composicao/FISPQ%20G%C3%81S%20NATURAL.pdf>>. Acesso em: 17 junho 2015.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº3 de 28 de junho de 1990**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 20 junho 2015.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº382 de 26 de dezembro de 2006**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>>. Acesso em: 20 junho 2015

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 15 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

CURY, Denise (org). **Gestão ambiental**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S/A. **Eficiência energética no uso de vapor**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2005. Disponível em <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/LivroVapor.pdf>. Acesso em: 20 setembro 2015.

ELETROBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S/A. **Manual de tarifação de energia elétrica** Rio de Janeiro: Eletrobras, 2011. Disponível em http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20de%20Tarif%20En%20EI%20-%20Procel_EPP%20-%20Agosto-2011.pdf. Acesso em: 30 setembro 2015.

ELETROPAULO. **Manual de administração de energia**. São Paulo: 2004 [s.n.]. Disponível em: < http://www.ebah.com.br/content/ABAAAem_oAJ/caldeiras>. Acesso em: 24 junho 2015.

GÁS BRASILIANO. **Nossa rede**, [s.l.], 2015., [s.n.]. Disponível em: <<http://www.gasbrasiliano.com.br/industrial/nossa-rede/>> Acesso em: 26 março 2015.

KOCHE, José C. **Fundamentos de metodologia científica: Teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. 28 ed. Petrópolis: Vozes, 2009.

KREITH, Frank; BOHN, Marks S.; **Princípios da transferência de calor**. São Paulo: Cenage Learning, 2013.

MARKUS, Otávio. **Circuitos elétricos: Corrente contínua e corrente alternada: Teoria e exercícios**. 8 ed. São Paulo: Érica, 2008.

MTE, Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 13: Manual técnico de caldeiras e vasos de pressão: edição comemorativa de 10 anos da NR 13**. Brasília: MTE, SIT, DSST, 2006. 124 p.

MTE, Ministério do Trabalho e Emprego. **Portaria n.º 1.127, de 02 de outubro de 2003**. Disponível em: <http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEF2695817E43/nr_13.pdf>. Acesso em: 01 março 2015.

NETO, Carlos B. **Transferência de calor (TCL): Volume 1, parte 2**. São José: Instituto Federal de Santa Catarina, 2010. Disponível em: <http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/d/d7/Apostila_TCL_2010_Parte_2.pdf>. Acesso em: 20 outubro 2015.

OLIVEIRA, Djalma P.R.; **Revitalizando a Empresa**. São Paulo: Atlas, 1996.

PETROBRÁS. **Oferta de gás natural**. [s.l.], 2015, [s.n.]. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/oferta-de-gas-natural/>>. Acesso em: 26 março 2015.

PORTAL DE ESTUDOS DE QUÍMICA 2015. Disponível em: <http://www.profpc.com.br/Resumos%20de%20Qu%C3%ADmica/F%C3%ADsico%20Qu%C3%ADmica/Propriedades%20Coligativas/Propriedades_coligativas.htm>. Acesso em 12 agosto 2015.

QUIRINO, V.F.; VALE, A.T.; ANDRADE, A.P.A.; ABREU, V.L.S.; AZEVEDO, A.C.S. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**. [s.l.] n° 89, p. 100-106, abril 2005.

RESNICK, Robert. HALLIDAY, David; KRANE, Kenneth S.; **Física 2**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

SAMANEZ, Carlos P.; **Engenharia econômica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

SÃO PAULO. Secretaria de energia do estado de São Paulo. **Anuário da indústria de petróleo e gás do estado de São Paulo 2013**. São Paulo, Secretaria de Energia do Estado de São Paulo, 2014. Disponível em:

<<http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/614.pdf>> Acesso em: 27 março 2015.

SENAI. **Treinamento de segurança na operação de caldeiras**. São Paulo: Senai, 1999.

SILVA, Edna Lúcia; MENEZES, Estera Muskat. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4. ed. Florianópolis, 2005.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros volume 1: Mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006a.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros volume 2: Eletricidade e magnetismo, ótica**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006b.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: Planejamento e métodos**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ANEXO I

A Tabela A1 fornece a média de temperatura de um período 20 anos divididas por cada mês, tais informações serão utilizadas como temperatura ambiente ou Temperatura inicial.

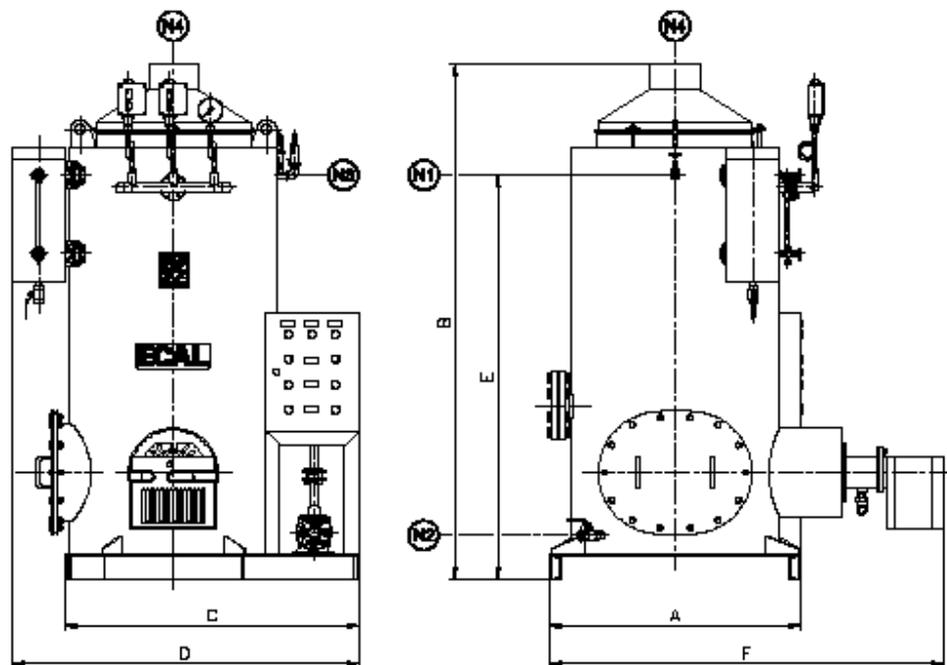
Tabela A1: Temperatura média mensal (°C) na cidade de Marília nos últimos 20 anos

CIAGRO - Dados Mensais no período de 01/01/1993 até 06/05/2013				
Local: Marília				
Mês	Dias	Temperatura	Temperatura	Temperatura
		Média Diária	Média Diária	Média Diária
			Máxima	Mínima
janeiro	651	24,7	30,5	18,5
fevereiro	593	25,3	30	18
março	651	25	29,5	17,5
abril	630	23,9	29,5	13,5
maio	626	20,8	28	8,5
junho	599	20,3	26	6
julho	620	20,6	27,5	9
agosto	620	22,1	29,5	9,7
setembro	600	23	31	12,5
outubro	620	24,1	31	16,5
novembro	600	24,3	31	16
dezembro	619	25,1	31	17,5
Total	7429	23,26667	-	-

Fonte: Adaptado de <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Quadros/QTmedPeriodo.asp>

ANEXO II

Figura A2: Ficha técnica da caldeira modelo VGI-310



Características	Unid.	Modelos									
		VGI-45	VGI-70	VGI-90	VGI-120	VGI-150	VGI-230	VGI-310	VGI-460	VGI-620	
Potência Térmica	kcal/h	30.000	45.000	60.000	80.000	100.000	150.000	200.000	300.000	400.000	
Produção de Vapor	20°C	4,7	7,0	9,3	12,5	15,6	23,4	31,2	46,7	62,3	
	80°C	51	77	102	137	171	257	343	514	685	
Consumo de Combustível	GLP	3,3	5	6,7	8,9	11,1	16,6	22,2	33,3	44,3	
	GN	3,9	5,9	7,9	10,5	13,1	19,7	26,2	39,3	52,5	
	Diesel	4,2	6,4	8,5	11,3	14,1	21,2	28,3	42,4	56,8	
Saída de Vapor	Pol.	1/2	1/2	3/4	3/4	1	1	1	1.1/2	1.1/2	
Descarga de Fundo	Pol.	1	1	1	1	1	1.1/2	1.1/2	1.1/2	1.1/2	
Válvula de Seg. (2x)	Pol.	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	1	1	
Chaminé	mm	150	200	200	200	200	250	250	350	350	
Dimensões	A	mm	790	790	880	880	1020	1080	1080	1190	1190
	B	mm	1790	1880	1950	1950	2100	2510	2510	3240	3240
	C	mm	900	940	1050	1050	1190	1240	1240	1340	1340
	D	mm	1140	1180	1270	1270	1410	1450	1450	1500	1500
	E	mm	1390	1480	1550	1550	1850	2090	2090	2890	2890
	F	mm	1140	1230	1360	1430	1600	1640	1800	1950	2000
Peso Aprox. com Água	Kg	530	540	790	810	1120	1360	1630	2380	2460	

Fonte: Ecal 2015