

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Thiago Miranda Loyola da Costa Barros**

**Túlio Signorini Costa**

**ENERGIA HELIOTÉRMICA PARA ACIONAMENTO DE  
CALDEIRAS INDUSTRIAIS – um estudo para a análise  
combinada de aproveitamento do vapor para cogeração de  
energia elétrica e acionamento das máquinas fabris.**

**Taubaté – SP**

**2017**

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Thiago Miranda Loyola da Costa Barros**

**Túlio Signorini Costa**

**ENERGIA HELIOTÉRMICA PARA ACIONAMENTO DE  
CALDEIRAS INDUSTRIAIS – um estudo para a análise  
combinada de aproveitamento do vapor para cogeração de  
energia elétrica e acionamento das máquinas fabris.**

Trabalho de Graduação apresentado para  
obtenção do Título de Bacharel em Engenharia  
Mecânica do Departamento de Engenharia  
Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientadora: Profa. Maria Regina Hidalgo de  
Oliveira Lindgren

Co-orientador: Prof. Paulo Cesar Corrêa Lindgren

**Taubaté – SP**

**2017**

**THIAGO MIRANDA LOYOLA DA COSTA BARROS**  
**TÚLIO SIGNORINI COSTA**

ENERGIA HELIOTÉRMICA PARA ACIONAMENTO DE CALDEIRAS INDUSTRIAIS  
– um estudo para a análise combinada de aproveitamento do vapor para cogeração  
de energia elétrica e acionamento das maquinas fabris.

Trabalho de Graduação apresentado para  
obtenção do Título de Bacharel em  
Engenharia Mecânica do Departamento  
de Engenharia Mecânica da Universidade  
de Taubaté.

Data: \_\_\_\_\_

Resultado: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. \_\_\_\_\_

Universidade de Taubaté

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Assinatura \_\_\_\_\_

Prof. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Assinatura \_\_\_\_\_

“A imaginação é mais importante que o conhecimento” (Albert Einstein)

## AGRADECIMENTOS

Aos meus avós, Dona Cidinha e Sr. Toninho, por sempre me apoiarem e me darem forças de todas as formas nessa caminhada. Á meu pai, que apesar da distância, nunca deixou de me apoiar e ajudar também, de todas as formas. Á meu padrasto, que me deu a oportunidade de atuar profissionalmente, na área da mecânica, o que me amadureceu e me fez crescer bastante para futuramente exercer uma profissão como Engenheiro. Á minha namorada, Rose, que sempre me apoiou nos momentos difíceis e conturbados pelos quais passei no final dessa trajetória universitária, e que, vai se tornando cada vez mais especial em minha vida. Ao meu parceiro da vida, que está comigo desde o primário escolar, e hoje, faz dupla comigo no Trabalho de Graduação, por sempre estar comigo quando precisei, e por ter ido até o final com este trabalho, que não foi fácil. Deus abençoe a todos, Amém.

(BARROS, Thiago Miranda L. da Costa, 2017).

Agradeço aos meus pais por sempre terem proporcionado ótimos estudos em boas instituições, sei que não foi fácil pagar esses 5 longos anos de faculdade. Agradeço por sempre estarem ao meu lado e apoiando em tudo que é possível. Agradeço à minha irmã que teve uma participação direta nesse trabalho, por ter dedicado um tempo para nos ajudar. Agradeço por vez toda minha família e parentes, por sempre estarem contribuindo da maneira mais simples que foi. Peço também desculpas pelos diversos compromissos e reuniões que não pude estar presente. Agradeço também a minha namorada, Larissa que desde o início da faculdade sempre esteve me apoiando em épocas de provas, trabalhos, e principalmente no Trabalho de Graduação, que sofremos por nervosismo, estresse, e ela sempre esteve ao meu lado para me ajudar e dizer que tudo ia dar certo, e deu! Agradeço também ao meu parceiro de vida Thiago, que já faz parte da minha caminhada a longos anos, e também sempre esteve ao meu lado para tudo que eu precisasse, e também, juntos, tivemos forças para concluir esse trabalho. Conte comigo sempre meu irmão!

E nada mais do que agradecer a Deus por permitir que eu pudesse concluir essa etapa da vida e realizar esses agradecimentos. Amém.

(COSTA, Túlio Signorini, 2017)

No geral agradecemos a Usinagem Taubaté, L3 Caldeiraria, Extração de Areia São Bento, pelo patrocínio e ajuda financeira, colaborando sempre que foi preciso e deixando sempre a nossa disposição seus materiais e oficinas. Agradecemos a CEPROM juntamente com os queridos Professores: Professora Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren nossa orientadora, e Professor Paulo Cesar Corrêa Lindgren, nosso co-orientador, que sempre nos deram todo suporte e orientação não somente no trabalho, mas para a vida de um engenheiro mecânico. Agradecemos a todos vocês, sem a ajuda e apoio de vocês não seria possível concluir esse trabalho com grande êxito! O trabalho é para vocês!

Obrigado

## RESUMO

O presente trabalho de graduação (TG) tem como foco principal o projeto de uma caldeira acionada por meio de energia heliotérmica, para fins de acionamento de máquinas fabris, bem como para verificação do possível aproveitamento de vapor para cogeração de energia elétrica. Estudos atuais fundamentam a busca incansável de energias alternativas para que se garanta a produtividade energética futura, bem como a conservação do meio ambiente. Fonte inesgotável é a energia solar o qual embasa este trabalho para que possamos desenvolver e procurar alternativas ecológicas e funcionais para as indústrias brasileiras. Também foram pesquisados os diversos tipos de caldeiras existentes e suas características.

**Palavras-chave:** Aproveitamento de vapor; caldeiras industriais; geração de energia; energia heliotérmica.

## **ABSTRACT**

The main focus of this work is the design of a boiler driven by heliothermic energy, in order to power the industrial machines as well as the use of steam for cogeneration of electric energy. Current studies support the relentless pursuit of alternative energies to ensure future energy productivity, as well as conservation of the environment. An inexhaustible source is the solar energy that underlies this work so that we can develop and look for ecological and functional alternatives for the Brazilian industries. Also researched were the various types of existing boilers and their characteristics.

**Keywords:** Use of steam, industrial boilers, power generation, heliothermic energy.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

cm <sup>2</sup> – Centímetro(s) ao quadrado .....	24
m <sup>3</sup> – Metro(s) cubico(s) .....	47
bar – Unidade de pressão .....	23
cm – Centímetro(s) .....	24
Cv – Potência (cavalos-vapor) .....	47
h – Hora(s) .....	23
Kg – Quilograma(s) .....	47
Kgf – Quilograma-força .....	24
Kw – Kilowatt(s) .....	22
kWp – Kilo-Watt-pico .....	20
mca – Metros de coluna d'água .....	47
mm – Milímetro(s) .....	24
Mw – Megawatt(s) .....	18
MWh – Mega-Watt-hora .....	20
°C – Grau Celsius .....	43
Psi – Libras por polegada quadrada - Unidade de Pressão .....	47
Ton – Tonelada(s) .....	23
V – Volt(s) .....	22

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Combustível fóssil e vegetal .....	31
Quadro 02 – Classificação das turbinas a Vapor .....	39
Quadro 03 – Classificação das turbinas a Gás .....	43

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de melhor localidade para usinas heliotérmicas .....	18
Figura 2 – Painéis Fotovoltaicos (FV) cobrem o estacionamento no parque .....	21
Figura 3 – Esquema de Usina Nuclear .....	22
Figura 4 – Caldeira elétrica .....	22
Figura 5 – Caldeira aquatubular .....	23
Figura 6 – Corte transversal das caldeiras flamotubulares .....	24
Figura 7 – Tipos de caldeiras flamotubulares .....	25
Figura 8 – Formas convencionais de paredes corrugadas para fornalhas Internas .....	26
Figura 9 – Caldeira vertical .....	27
Figura 10 – Exemplo de caldeira Cornuália .....	28
Figura 11 – Caldeira do tipo Lancaster .....	28
Figura 12 – Caldeira Multitubular .....	29
Figura 13 – Caldeira Locomóvel .....	29
Figura 14 – Caldeira Escocesa .....	30
Figura 15 – Esquema simplificado de geração termoelétrica .....	36
Figura 16 – Esquema do Ciclo Rankine .....	37
Figura 17 – Turbina de Ação e Reação .....	38
Figura 18 – Esquema do Ciclo Brayton em ciclo aberto .....	40
Figura 19 – Esquema do Ciclo Brayton em ciclo fechado .....	41
Figura 20 – Tanque de combate <i>Abrams-M1</i> com turbina <i>Honeywell</i> AGT1500 .....	43
Figura 21 – Detalhes internos de uma turbina a gás .....	44
Figura 22 – Esquema do Ciclo Combinado .....	45
Figura 23 – Lista de equações .....	46
Figura 24 – Representação esquemática .....	47
Figura 25 – Usinagem do tubo .....	53
Figura 26 – Espelho cortado a plasma e usinado com chanfro .....	54
Figura 27 – Tubos trocadores de calor serrados na medida correta .....	55
Figura 28 – Detalhes dos furos, conexões soldadas e válvulas .....	56

Figura 29 – Caldeira bruta com todas as soldada finalizadas .....	57
Figura 30 – Caldeira completa, com válvulas, conexões e pintura .....	57
Figura 31 – Chaminé; Carrinho; Fogão; Placa solar; <i>Boiler</i> e Caldeira ...	58
Figura 32 – Sistema Completo .....	59

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
1.1	OBJETIVOS .....	14
1.1.1	Objetivo Geral .....	14
1.1.2	Objetivo Específico .....	15
1.2	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO .....	15
1.3	RELEVÂNCIA DO ESTUDO .....	15
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	15
2	REVISÃO DA LITERATURA .....	17
2.1	ENERGIA HELIOTÉRMICA: HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS .....	17
2.2	A ENERGIA HELIOTÉRMICA NA MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL E BRASILEIRA .....	18
2.3	CALDEIRAS INDUSTRIAIS: PRINCIPAIS TIPOS .....	21
2.3.1	Nuclear .....	21
2.3.2	Elétricas .....	22
2.3.3	Aquatubulares .....	23
2.3.4	Flamotubulares .....	23
2.3.4.1	Tipos De Caldeiras Flamotubulares .....	26
2.3.4.2	Caldeiras Flamotubulares Verticais .....	26
2.3.4.3	Caldeiras Flamotubulares Horizontais – Cornuália .....	27
2.3.4.4	Caldeiras Flamotubulares Horizontais – Lancaster .....	28
2.3.4.5	Caldeiras Flamotubulares Horizontais – Multitubular .....	28
2.3.4.6	Caldeiras Flamotubulares Horizontais – Locomóvel .....	29
2.3.4.7	Caldeiras Flamotubulares Horizontais – Escocesa .....	30
2.4	COMBUSTÍVEIS .....	30
2.4.1	Combustível Sólido .....	31
2.4.2	Combustível Líquido .....	32
2.4.3	Combustível Gasoso .....	33
2.5	VAPOR: GERAÇÃO E PRINCIPAIS APLICAÇÕES INDUSTRIAIS .....	34
2.5.1	Indústria De Alimento .....	34
2.5.2	Indústria Têxtil .....	34
2.5.3	Indústria De Papel E Celulose .....	34

2.5.4	Hospitalar E Hotelaria .....	35
2.6	USO DO VAPOR COMO FONTE DE COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	35
2.6.1	Ciclo Rankine .....	36
2.6.2	Turbina a Vapor .....	37
2.6.2.1	Princípio de Funcionamento .....	38
2.6.2.2	Classificação das Turbinas a Vapor .....	38
2.6.2.3	Principais Componentes .....	39
2.6.3	Ciclo Brayton .....	40
2.6.4	Turbina a Gás .....	41
2.6.4.1	Princípio de Funcionamento .....	42
2.6.4.2	Classificação das Turbinas a Gás .....	42
2.6.4.3	Principais Componentes .....	44
2.6.5	Ciclo Combinado .....	44
3	METODOLOGIA .....	46
3.1	METODOLOGIA DA PESQUISA .....	48
3.2	MATERIAIS E MÉTODOS .....	49
3.2.1	Materiais .....	49
3.2.2	Métodos .....	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	60
5	CONCLUSÕES .....	61
	REFERÊNCIAS .....	62
	APÊNDICE A – Desenho técnico da tampa da caldeira .....	66
	APÊNDICE B – Desenho técnico da carcaça da caldeira .....	67
	APÊNDICE C – Desenho técnico da chaminé .....	68
	APÊNDICE D – Desenho técnico dos trocadores de calor .....	69
	APÊNDICE E – Desenho técnico do trocador de calor central .....	70
	APÊNDICE F – Demais imagens do projeto completo .....	71
	ANEXO A - Orçamento realizado .....	72
	ANEXO B - Comprovantes de materiais comprados .....	75
	ANEXO C - Tabela de normas .....	84
	ANEXO D - Tabela de medidas .....	85
	ANEXO E - Tabela de especificações .....	86

# 1 INTRODUÇÃO

No passado, e, principalmente na Revolução Industrial, na qual a indústria passou por uma reforma a fim de mecanizar as linhas de produção, muito se utilizava do carvão mineral como fonte para obtenção de energia com o intuito de movimentar máquinas locomotivas e máquinas industriais. Com a vinda do petróleo de forma intensiva já na II Revolução Industrial, foi possível se obter uma fonte que a reserva era muito grande, pelo tempo no qual ele estaria no subsolo. Dessa forma, houve um enriquecimento de energia no mundo, e as grandes empresas automobilísticas passaram a implantar o motor a combustão interna.

Contudo, o petróleo assim como o carvão são fontes de energia não renováveis que apesar de serem extraídos da natureza, há uma escassez dos mesmos, assim exigindo-se cada vez mais de opções para suprir essa falta, ou seja, fontes de energia renováveis. São fontes de energia renováveis: energia Eólica, energia Solar, energia Hídrica, energia Geotérmica, energia das Ondas e Marés e energia de biomassa.

No presente trabalho é abordado o uso de energia solar como fonte renovável para geração de calor (energia heliotérmica) e cogeração em energia elétrica, para que ambas, substituam e/ou diminuam o uso de fontes não renováveis, especificamente, em caldeiras e máquinas industriais.

Com isso, tem-se o objetivo de desenvolver a implantação de um conceito no qual seja inserida a energia heliotérmica a fim de reduzir os custos da energia elétrica e para a movimentação de caldeiras em indústrias, podendo até se estender para outros casos de aplicação em outros ramos industriais e de serviços.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O Objetivo geral deste trabalho é a busca por opções significativas e otimizadoras para o consumo de energia, pois o setor industrial, representa uma percentagem significativa de consumo de energia mundial

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Será estudado detalhadamente o funcionamento de um sistema de energia heliotérmica para o acionamento de caldeiras, a fim de fornecer energia fabril com aproveitamento para se gerar energia elétrica (cogeração).

## **1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO**

Este trabalho, apesar de oferecer uma visão geral sobre um projeto de geração de energia heliotérmica para acionamento de caldeiras industriais, não irá abordar cálculos detalhados sobre o mesmo, apenas apresentando estudos bibliográficos já existentes para averiguação de métodos comparativos.

## **1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO**

O consumo de energia no mundo vem crescendo a cada ano, o setor industrial, representa uma fatia significativa da demanda de energia mundial. Sistemas de aquecimento que usam energia heliotérmica podem contribuir com uma porcentagem da energia total requerida pelas indústrias. Os resultados esperados mostrarão que a radiação instantânea, temperatura de entrada do fluido e temperatura ambiente são variáveis que mais influenciam no processo, buscando aumento de eficiência além da viabilidade financeira, de *payback*, que poderá ocorrer de 4 a 7 anos.

## **1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

Este trabalho está dividido em seis capítulos, sendo que no capítulo um encontra-se a Introdução, Objetivos, Delimitação e Relevância do estudo realizado.

No segundo capítulo, denominado de Revisão Bibliográfica, é retratado num contexto geral a história da caldeira e da energia heliotérmica e os conceitos técnicos de cada projeto.

No capítulo três tem-se a Metodologia aplicada para o desenvolvimento deste trabalho.

No quarto, quinto e sexto capítulos são abordados os Resultados, a Discussão e a Conclusão do trabalho, respectivamente.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 ENERGIA HELIOTÉRMICA: HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS

O progresso técnico no passado era baseado no uso de recursos não renováveis, como o carvão (meados séculos XVIII e XIX) e o petróleo (1973). O carvão, primeiramente, era o responsável por alimentar as indústrias na época da Revolução Industrial, a queima gerava o vapor, assim, tornando-se um combustível para movimentação dos motores de máquinas e locomotivas. Logo em seguida, com a descoberta do petróleo, o qual se acumulou por cerca de 70 milhões de anos no subsolo antes de começar a ser industrializado e, com o estudo do mesmo para fins de consumo energético, se passou a extrai-lo em grande quantidade e usa-lo como uma fonte de energia. Porém o petróleo, por não ser renovável, tem se esgotado cada vez mais, e dessa forma seu custo está se elevando para a comercialização. Por esse motivo, os estudiosos cientistas estão se aprofundando cada vez mais em fontes alternativas para suprir essa falta de recurso, o qual atenda a demanda mundial de energia, e que seja de preço acessível e, principalmente, que seja renovável, para que não se tenha escassez (PALZ, 1981).

Com a carência de um recurso renovável, foi estudada a possibilidade da obtenção de energia por meio da absorção dos raios solares, ou radiação solar e, assim, se concluiu que a geração de energia por este meio, pode se dar como térmica ou elétrica, dependendo de como será captada (CARVALHO; FADIGAS e REIS, 2012).

Optando-se pela térmica, basta apenas utilizar-se de uma superfície escura para a captação da radiação. Tecnicamente, essas superfícies escuras são equipamentos chamados de coletores e/ou concentradores os quais, respectivamente, coletam a radiação calorífica e, em alguns casos, concentram esta energia, proveniente da radiação solar, em um só ponto. No caso da elétrica, existem duas opções: por células fotovoltaicas; as quais transformam a radiação solar em eletricidade por meio de um semicondutor, que na maioria das vezes é o silício, e na medida em que se for recebendo calor, permite o fluxo de partículas carregadas eletricamente (positivas e negativas). Para a segunda opção existe a

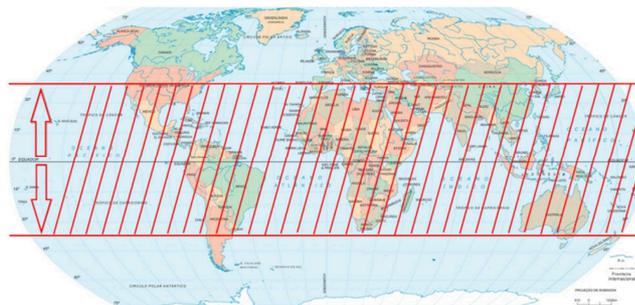
geração por meio do sistema heliotérmico; no qual a irradiação solar é convertida em calor para a produção de eletricidade, sendo este sistema composto por quatro processos; coleta da irradiação; conversão em calor, transporte e armazenamento e conversão para eletricidade (ATLAS, 2008).

## 2.2 A ENERGIA HELIOTÉRMICA NA MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL E BRASILEIRA

Conforme o INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA – IBICT (2013) O primeiro registro da instalação de uma usina geradora de energia solar foi no ano de 1917 no Egito, com a capacidade de 0,5 MW. Posteriormente o segundo registro foi de uma usina instalada em Gênova na Itália no ano de 1981, com a capacidade de gerar 1,0 MW. Uma usina de maior porte só foi surgir no ano de 1981 com a capacidade de 10 MW, que foi construída no sul da Califórnia, foi chamada de “*Solar One*”.

As usinas com capacidades de geração de 10Mw ou mais, estão localizadas entre 40º graus ao norte e ao sul da linha do equador, conforme Figura 1, representada entre as linhas vermelhas, sendo alguns países como África do Sul, Austrália, Argélia, Emirados Árabes, Egito, Chile, Estados Unidos, Marrocos, Espanha, Índia. Porém é nos Estados Unidos e na Espanha, onde se localizam 90% das plantas de usinas heliotérmicas mundial, e essa demanda é possível devido ao grande subsídio do governo local. É justamente com isso que o Brasil enfrenta sua maior dificuldade nos dias de hoje, pois o principal desafio para a implementação da usina heliotérmica são os investimentos iniciais, que são bem elevados por serem classificados como um investimento de alto risco pelos bancos e agências de financiamento.

**Figura 1** - Mapa de melhor localidade para usinas heliotérmicas



Fonte: BACELAR (2017)

A Energia Heliotérmica tem o seu maior ponto de eficiência quando seus coletores são colocados em regiões que possuem alto nível de irradiação solar, regiões secas, planas e que não tenha a presença de muitas nuvens. Como no Brasil tem-se a região do Nordeste com todas as características e condições climáticas favoráveis para a construção de usinas heliotérmicas, pode-se então, assim, dizer que o Brasil é um país com um rico potencial gerador de energia heliotérmica (INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA – IBICT, 2013).

Geralmente as áreas em que são disponibilizadas para a instalação das usinas são áreas em que não existe nenhum tipo de habitação ou produção agrícola e pecuária, pela grande falta de plantações e água. Porém com a instalação de uma usina, pode ocorrer o aumento de população e comércio próximo do local, pois irá gerar um aumento de empregos no mercado, assim atraindo a população de diversos cantos para próximo da usina (INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA – IBICT, 2013).

O Brasil está localizado, em sua maior parte, na região intertropical, que tem um enorme potencial para aproveitamento de energia solar durante o ano inteiro. Além do clima, o Brasil dispõe de outras condições favoráveis e importantes para que essa tecnologia tenha sucesso, são eles a indústria brasileira e seu alto setor produtivo capacitado de usinas termoelétricas, pois a maioria dos materiais e peças usados na construção das usinas heliotérmicas são os mesmos usados nas usinas convencionais. Assim, uma usina heliotérmica pode simplesmente ser totalmente produzida e construída no Brasil, com mão-de-obra da população brasileira, assim aumentando a demanda econômica do país no setor industrial e civil (ENERGIA HELIOTÉRMICA, 2017).

A quantidade de energia que a usina irá produzir dependerá principalmente do sol e da sua intensidade de radiação, e é por esse motivo que o Brasil se sai bem, pois possui regiões em que o sol é predominante por um longo período do dia e da tarde, e também quase todos os dias do ano. Se fosse dedicado apenas 0,5% do território brasileiro a campos heliotérmicos geradores de energia, já seria possível gerar uma quantidade de energia suficiente para abastecer o país inteiro. Uma usina heliotérmica, sem nenhuma combinação com outro tipo de combustível, produz aproximadamente duas mil horas de energia elétrica por ano. Se for feito o seu

armazenamento ou uma combinação com algum outro tipo de combustível, como o biodiesel ou gás natural, que possibilitaria a produção de energia em 24 horas por dia, a produção poderia se elevar a até 8 mil horas por ano (BUENO PEREIRA; LUNA DE ABREU; RAMOS MARTINS, 2006).

Fazendo-se a utilização da energia solar em maior quantidade, cada vez menos irá haver dependência do petróleo e de outros meios que podem gerar poluentes para o meio ambiente, ao contrário da energia heliotérmica, que não oferece nenhum risco ambiental para o planeta (BUENO PEREIRA; LUNA DE ABREU; RAMOS MARTINS, 2006).

Ainda segundo o INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA – IBICT (2013) o Brasil possui dois projetos em fase de implantação, além de realizar diversas pesquisas científicas de alto nível para absorver tecnologias utilizadas em países industrializados como a Alemanha, Espanha e Estados Unidos.

Conforme notícia em FotoVolt (2017), dois parques localizados na Zona Oeste da cidade de São Paulo no Brasil, estão próximos a serem totalmente alimentados por energia solar fotovoltaica, sendo eles os parques vizinhos Villa-Lobos e Cândido Portinari, conforme Figura 2. Um projeto realizado pela CESP (Companhia Energética de São Paulo) conta com um investimento na casa dos 17 milhões de reais, contando com diversas parcerias. O projeto, que corresponde à chamada de P&D número 013/2011 da Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica), terá capacidade de 551kWp. Dentro das instalações feitas, possuem duas microinstalações com rastreamento da posição solar, e também, 40 postes autônomos que iluminam o parque durante o período noturno. De acordo com a Secretaria, este é o maior projeto de minigeração solar distribuída em um parque no Brasil, que pode produzir anualmente 665MWh, assim tornando os parques autossustentáveis.

**Figura 2** – Painéis Fotovoltaicos (FV) cobrem o estacionamento no parque



Fonte: FOTOVOLT (2017)

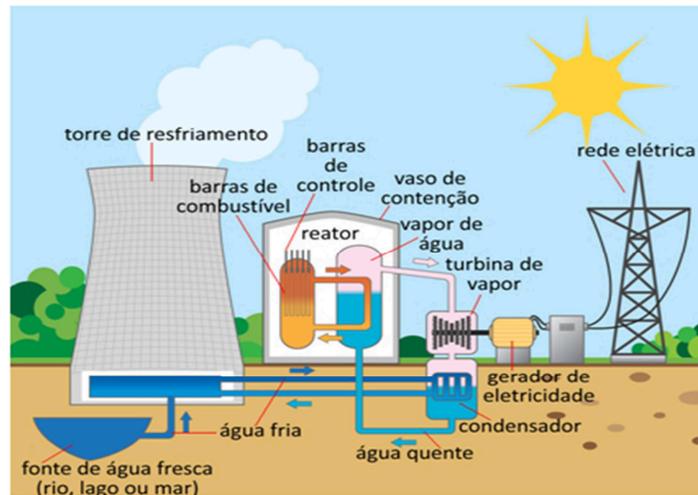
### **2.3 CALDEIRAS INDUSTRIAIS: PRINCIPAIS TIPOS**

Atualmente as caldeiras são os principais equipamentos utilizados para a geração de vapor para indústrias em geral, hospitais, restaurantes entre outros locais que necessitam da sua finalidade. A caldeira é basicamente um grande transformador de calor que trabalha constantemente com pressões acima da pressão atmosférica, produzindo assim vapor a partir de uma energia que pode ser convencional, como combustível, ou não convencional, como a energia nuclear, solar ou a energia elétrica. O vapor gerado não necessariamente é água, podendo ser utilizado mercúrio ou outros fluídos. Sua construção é feita por chapas e tubos, cuja sua finalidade é efetuar a troca de energia, para a geração do vapor (BEGA, 1989).

#### **2.3.1 Nuclear**

Segundo MENDE (2012), as caldeiras que utilizam a energia nuclear nada mais são que os chamados reatores nucleares, utilizados em usinas nucleares para a geração de energia elétrica. Essas usinas sempre são instaladas perto de lagos, rios ou mares para a captação de água para o uso na condensação do vapor. O aquecimento da água, para ser transformada em vapor, é feito pela fissão nuclear, conforme mostrado na Figura 3.

**Figura 3 - Esquema de Usina Nuclear**



Fonte: MENDE (2017)

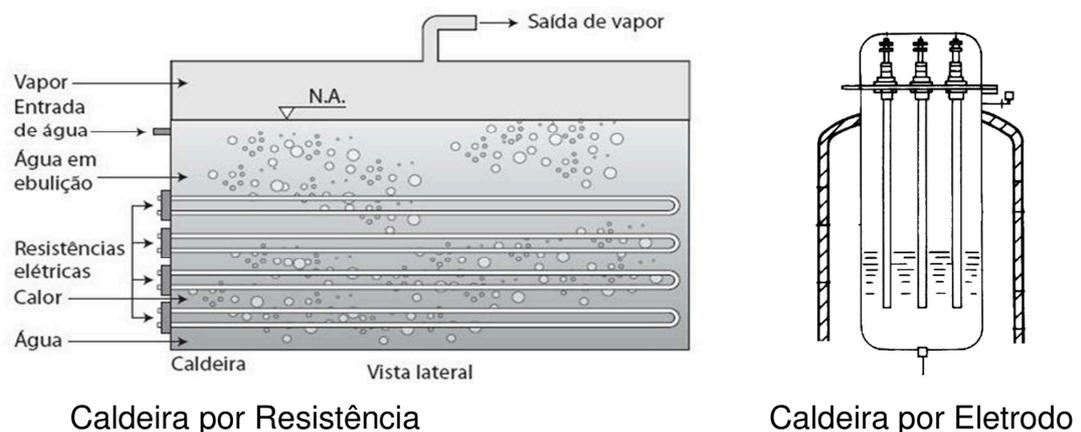
### 2.3.2 Elétricas

Conforme BIZZO (2003), as caldeiras elétricas têm seu funcionamento baseado na conversão de energia elétrica em energia térmica. É um equipamento bastante simples, que consiste basicamente em um vaso de pressão, onde a água é aquecida por resistência ou eletrodos, conforme Figura 4.

Caldeiras mais simples são feitas com resistência. Sua potência é limitada em 2,5 KW, podendo operar com uma voltagem de 200 a 500 V.

Já as caldeiras que requerem uma produção maior, são construídas com eletrodos. Esses eletrodos são projetados para trabalhar com potências de 3,8 a 13,8 KW (BIZZO, 2003).

**Figura 4 - Caldeira Elétrica**



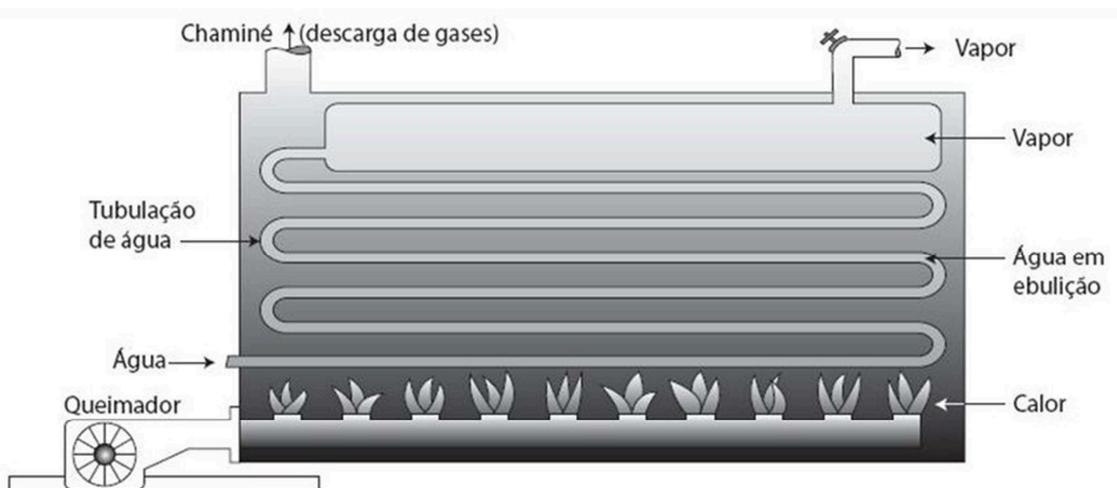
Fonte: FERREIRA (2014)

### 2.3.3 Aquatubulares

As caldeiras do tipo aquatubulares são caldeiras de uso mais abrangente, podendo atender desde pequenas fábricas, até grandes centrais termoelétricas.

Com o seu aparecimento foi possível a obtenção maior da produção de vapor e, conseqüentemente, de pressões mais elevadas. A caldeira aquatubular é construída com diversos tubos de dimensões pequenas, de modo que a água transite por dentro deles, conforme Figura 5.

**Figura 5 - Caldeira Aquatubular**



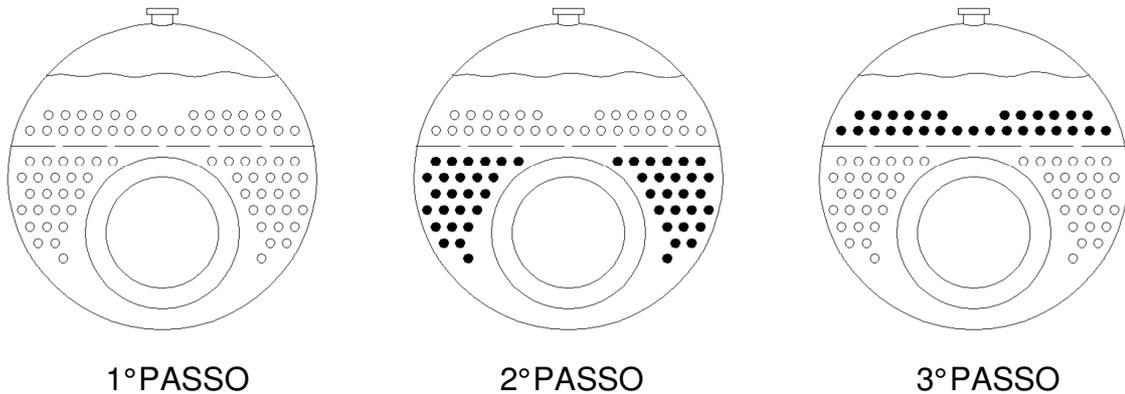
Fonte: FERREIRA (2014)

### 2.3.4 Flamotubulares

“Constituem-se da grande maioria das caldeiras utilizadas para pequenas capacidades de produção de vapor (da ordem de até 10 ton/h) e baixas pressões (até 10 bar), chegando algumas vezes a 15 ou 20 bar.” (BIZZO; 2003; p. 74)

Ainda segundo BIZZO (2003), nas caldeiras flamotubulares os gases da combustão circulam por dentro de tubos, sendo que ao redor desses tubos há água que será vaporizada por meio da transferência de energia térmica (radiação e convecção). A Figura 6 mostra o exemplo de caldeiras com um a três passos.

**Figura 6 - Corte transversal das caldeiras flamotubulares**



Fonte: BAZZO (1995)

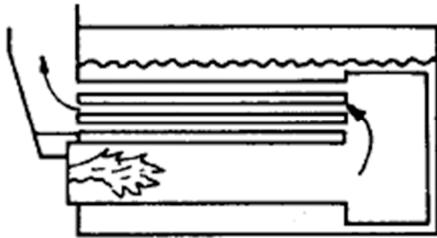
Para BAZZO (1995), as caldeiras flamotubulares também são conhecidas como fumotubulares, sua forma de construção permite que a água circule ao redor de seus diversos tubos, sendo que eles são instalados entre espelhos, a água deve sempre se manter acima da tubulação, a fim de se evitar superaquecimento. Os gases da queima, por sua vez, circulam por dentro desses tubos até sua saída pela chaminé. Essa circulação pode ser em um ou mais passes.

Conforme NOGUEIRA (2005), este tipo de caldeira foi o primeiro a ser construído, também sendo chamada de tubo-de-fogo, tubo-de-fumaça ou piro-tubular, devido aos gases em alta temperatura, gerados pela combustão, que se deslocam pelo interior destes tubos em um ou mais passes, sendo que a água permanece ao redor dos tubos. Apesar do aparecimento de caldeiras mais modernas esse tipo ainda se mantém em uso por causa de sua simples construção. Com o passar do tempo sofreu algumas melhorias, passando a chamar-se caldeira escocesa. Sua construção é simples, sendo constituída de um tubo cilíndrico externo, no qual internamente há água, e outro tubo cilíndrico, onde a fornalha está situada. O tubo externo é construído em chapas com espessuras que variam conforme o tamanho da caldeira, sendo que as pressões internas podem variar de 5 a 10 Kgf/cm<sup>2</sup>, chegando a gerar 6 tv/h, saturado. Para BAZZO (1995) o diâmetro máximo desse tipo de caldeira chega a variar de 900 a 2800 mm, para garantir maior segurança são fixados estais nos espelhos da caldeira, reforçando os pontos mais críticos, e o diâmetro dos tubos oscilam entre 30 e 100 mm, sendo que estes devem estar bem ajustados aos espelhos, pois, caso contrário, com a expansão dos tubos

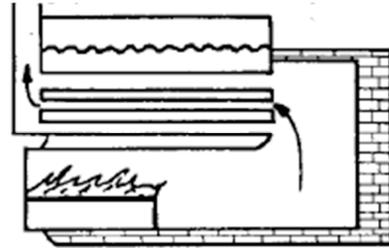
nos espelhos, a circulação dos gases livres da combustão é dificultada próximo à câmara de reversão (saída da fornalha), gerando superaquecimento localizado.

Conforme BIZZO (2003), a construção das fornalhas e suas câmaras de reversão pode ser de seis tipos, conforme Figura 7 a seguir.

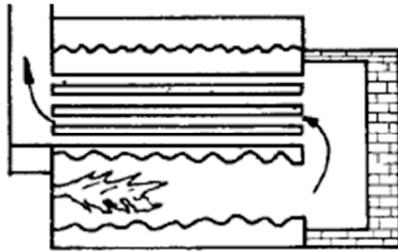
**Figura 7 - Tipos de caldeiras flamotubulares**



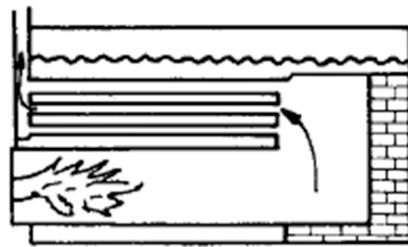
Traseira molhada, dois passos, queimador de óleo ou gás.



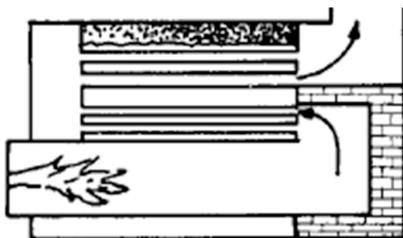
Traseira com topo molhado dois passos, queimador de óleo ou gás.



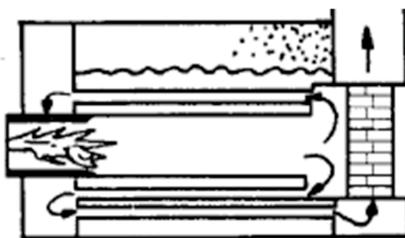
Traseira seca, dois passos, queimador de óleo ou gás, com fornalha corrugada.



Traseira seca, dois passos com queimador de combustível sólido.



Traseira seca, três passos, queimador de óleo ou gás.



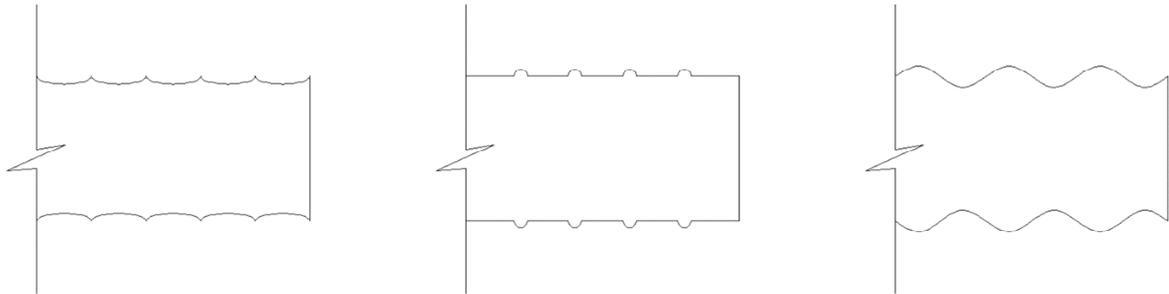
Traseira seca, três passos, queimador de óleo ou gás.

**Fonte: BIZZO (2003)**

De acordo com BAZZO (1995), as fornalhas possuem diâmetros que variam de 400 a 1300 mm, sendo que suas paredes podem ser corrugadas. Esse tipo de parede suporta maiores pressões de trabalho e assegura uma maior margem de segurança, trazendo a vantagem de aumentar a superfície de troca de calor entre a

água e os gases da queima. Quando as paredes são lisas, estas, por sua vez, serão mais propensas a amassados e aos perigos de explosão. A Figura 8, a seguir, mostra os tipos de paredes corrugadas:

**Figura 8** - Formas convencionais de paredes corrugadas para fornalhas internas



Fonte: BAZZO (1995)

#### 2.3.4.1 Tipos De Caldeiras Flamotubulares

Para STROBEL (entre 1995 e 2015) as caldeiras flamotubulares podem se dividir e subdividir em alguns tipos, quais sejam:

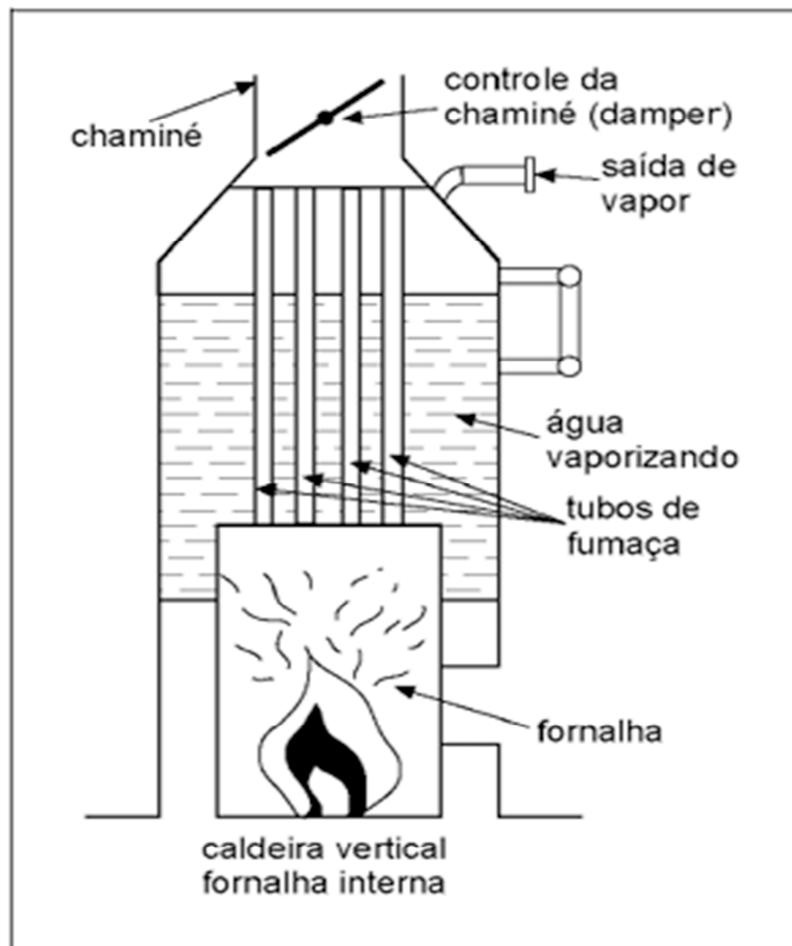
- Verticais;
- Horizontais;
- Cornuália;
- Lancaster;
- Multitubular;
- Locomóvel;
- Escocesa.

#### 2.3.4.2 Caldeiras Flamotubulares Verticais

Conforme NOGUEIRA (2005), as caldeiras verticais possuem esse nome devido o fato de seus tubos serem montados verticalmente dentro de um corpo cilíndrico com sua as extremidades fechadas por espelhos, a fornalha é montada na parte de baixo, no interior ou exterior do cilindro. Os gases da combustão sobem

pelos tubos transferindo energia térmica para a água, que fica em volta deles. Este tipo de caldeira é empregado em locais de pouco espaço e que não requerem grande quantidade de vapor, mas sim alta pressão. Os combustíveis utilizados normalmente possuem baixo poder calorífico, tais como: serragem, palha, bagaço de cana, entre outros. A Figura 9 mostra um exemplo de uma caldeira vertical.

**Figura 9 - Caldeira vertical**

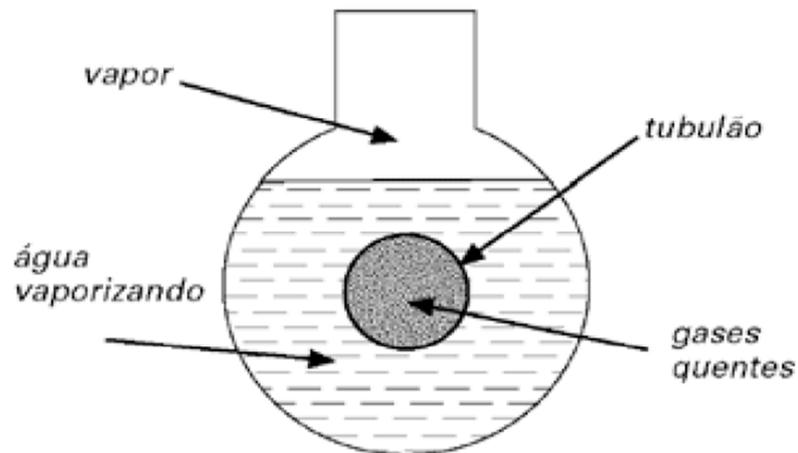


Fonte: STROBEL (1995-2015)

#### 2.3.4.3 Caldeiras Flamotubulares Horizontais - Cornuália

Segundo STROBEL (entre 1995 e 2015), essa caldeira é construída com apenas um tubo central que liga os gases da queima diretamente ao local de saída dos mesmos. Possui um funcionamento simples e um baixo rendimento, como pode-se ver na Figura 10.

**Figura 10** - Exemplo de caldeira Cornuália

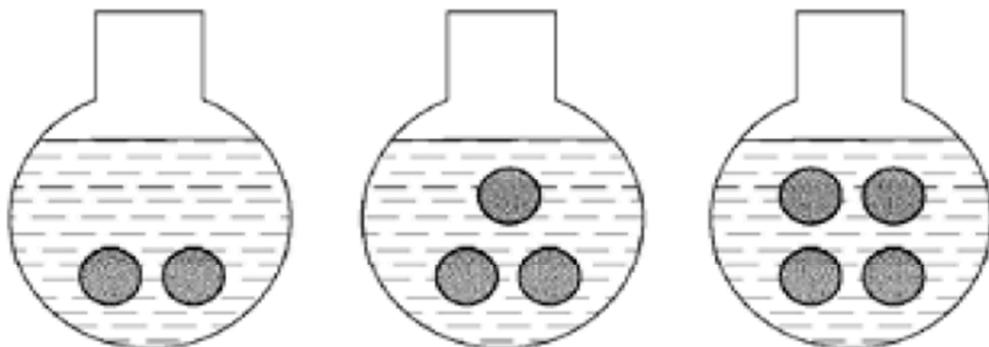


Fonte: STROBEL (1995-2015)

#### 2.3.4.4 Caldeiras Flamotubulares Horizontais – Lancaster

Conforme STROBEL (entre 1995 e 2015) a caldeira Lancaster possui o mesmo princípio de construção da Cornuália, porém contém, em seu interior, dois ou mais tubos, com a mesma função da anterior, como representado na Figura 11.

**Figura 11** - Caldeira do tipo Lancaster

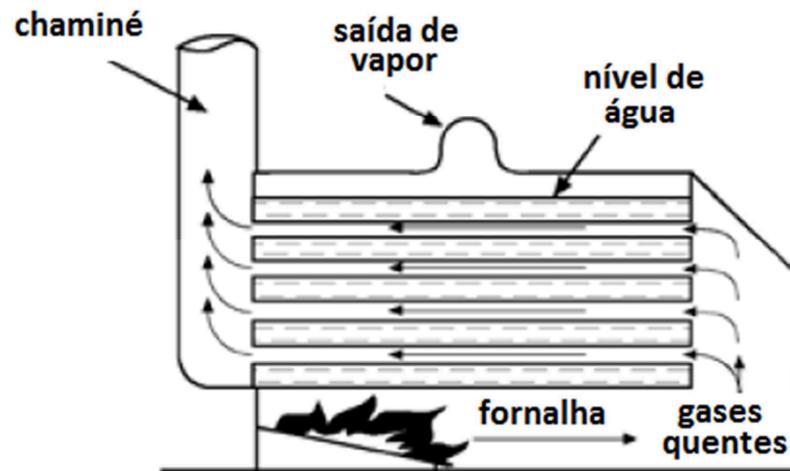


Fonte: STROBEL (1995-2015)

#### 2.3.4.5 Caldeiras Flamotubulares Horizontais – Multitubular

De acordo com STROBEL (entre 1995 e 2015), nesta caldeira a fornalha é montada externamente e os gases da combustão passam por diversos tubos até chegarem à chaminé, sua fornalha aceita a queima de qualquer tipo de combustível. Pode-se ver uma esquematização conforme Figura 12.

**Figura 12 - Caldeira multitubular**

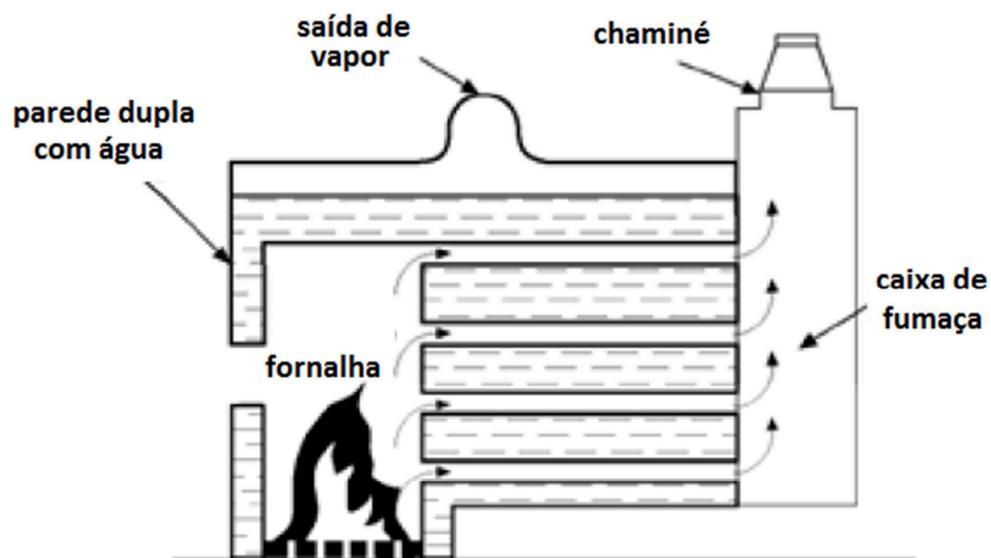


Fonte: STROBEL (1995-2015)

#### 2.3.4.6 Caldeiras Flamotubulares Horizontais – Locomóvel

Para STROBEL (entre 1995 e 2015), a caldeira locomóvel é construída com dupla parede em chapa na parte da fornalha, onde há água circulando, como pode se observar na Figura 13. É uma caldeira de fácil transferência de local, sendo muito utilizada em serrarias e campos de petróleo.

**Figura 13 - Caldeira Locomóvel**

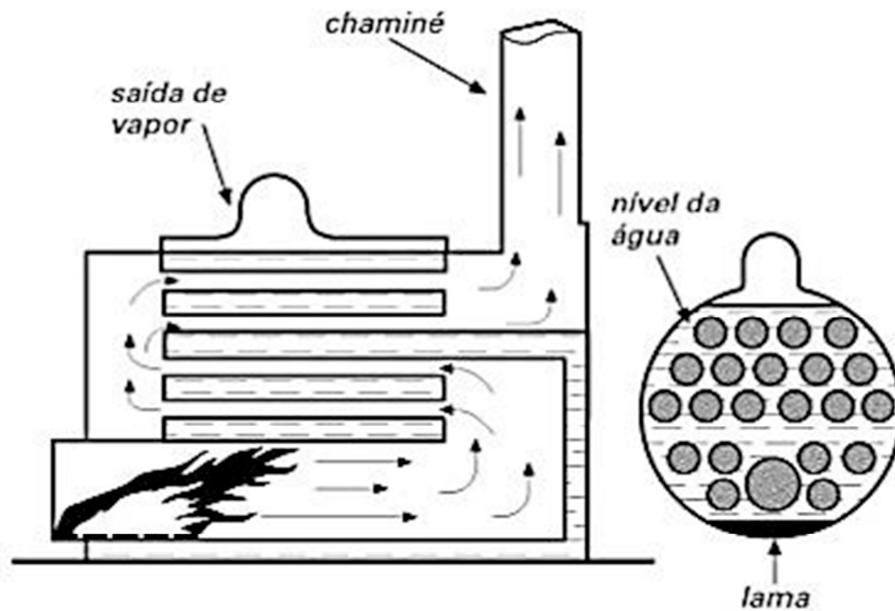


Fonte: STROBEL (1995-2015)

### 2.3.4.7 Caldeiras Flamotubulares Horizontais – Escocesa

Ainda segundo STROBEL (entre 1995 e 2015), a caldeira escocesa é o tipo mais utilizado no mundo e pode utilizar óleo ou gás na combustão, sendo desenvolvida basicamente para uso marítimo. Pode-se ver um modelo na Figura 14.

**Figura 14 - Caldeira Escocesa**



Fonte: STROBEL (1995-2015)

## 2.4 COMBUSTÍVEIS

Conforme BAZZO (1995), os combustíveis que serão designados para a utilização no aquecimento industrial, devem seguir algumas características importantes para um bom funcionamento produtivo e administrativo. São eles como o baixo custo por conteúdo energético, a facilidade da compra e transporte.

Por um longo período os principais meios de combustíveis utilizados eram os não renováveis como petróleo e carvão mineral. Como esses meios foram ficando cada vez mais escassos e caros, assim indo totalmente ao contrário das características essenciais de baixo custo e fácil acesso, necessitou-se que outros meios de combustíveis fossem pesquisados e estudados, principalmente os que venham a contribuir para o meio ambiente, gerando um impacto menor do que a utilização dos combustíveis fósseis (BAZZO, 1995). Pode-se, então classificar os

combustíveis entre: Combustíveis fósseis (não renováveis), e combustíveis vegetais (renováveis), conforme Quadro 1 a seguir:

**Quadro 1 – Combustíveis fósseis e vegetais**

Origem	Combustível Básico	Derivado
FÓSSEIS	Petróleo	GLP Gasolina Óleo Diesel Óleo Combustível Óleos Residuais
	Gás Natural	
	Xisto Betuminoso Carvões Minerais	Gases manufaturados
VEGETAIS	Cana-de-açúcar	Bagaço de cana Alcool Etílico
	Lenha	Carvão Vegetal Gases manufaturados Metanol
	Resíduos Vegetais	Biogás

Fonte: BAZZO (1995)

Já conforme as utilizações dos combustíveis, eles recebem a classificação entre sólidos, líquidos e gasosos (BAZZO, 1995).

#### 2.4.1 Combustível Sólido

Para BIZZO (2003) os principais combustíveis sólidos utilizados para a queima dentro das caldeiras são a lenha e o carvão mineral. Eles são duas fontes de energia térmica de extrema importância, principalmente na Europa, e no Brasil sua utilização se faz um pouco restrita à região Sul do país, onde se localizam os grandes produtores.

Como no Brasil existe uma vasta área de árvores em reservas ambientais, surge o grande problema do desmatamento. Com a necessidade da utilização da madeira como um dos combustíveis sólidos, infelizmente ainda se faz o uso da madeira ilegal.

Segundo dados do IMAZON (2014-2015), o desmatamento de florestas nativas da Amazônia, no período de agosto de 2014 à fevereiro de 2015 foi de 1.700 quilômetros quadrados, uma área que é maior que a cidade de São Paulo, tendo ocorrido um aumento de 215% em relação ao ano anterior.

Segundo BIZZO (2003), quando utilizados combustíveis sólidos deve-se atentar a algumas propriedades do material, sendo as principais:

- Carbono Fixo, onde se concentram os resíduos após a queima do combustível, tendo sua composição formada principalmente por carbono, além de conter outros elementos;
- Material volátil, que na combustão é uma parte que se separa do combustível na forma gasosa, composta de hidrocarbonetos e outros gases, como hidrogênio, monóxido de carbono e metano;
- Cinzas, simplesmente são os resíduos dos minerais que não sofreram combustão, tais como óxidos de alumina, de cálcio e magnésio;
- Umidade, que interfere no poder calorífico inferior do sólido; e
- Enxofre total.

Assim sendo, os meios sólidos mais utilizados são lenha, bagaço de cana-de-açúcar, carvão mineral, serragem, turfa, coque de petróleo e carvão, borra de café, casca de arroz e outros diversos tipos de resíduos de grãos (NOGUEIRA, 2005).

#### **2.4.2 Combustível Líquido**

Segundo BIZZO (2003) os combustíveis líquidos são mais usados nas indústrias pelo motivo de terem uma maior facilidade no manuseio, desde transporte até o armazenamento. São os combustíveis líquidos os que são derivados do petróleo.

Conforme BIZZO (2003), quando se utiliza combustíveis sólidos deve-se atentar a algumas propriedades do material, sendo as principais:

- Poder calorífico de combustão;
- Ponto de fulgor, temperatura em que o combustível sofre uma combustão transitória;
- Ponto de ignição, temperatura em que o combustível sofre uma combustão contínua;

- Temperatura de autoignição, uma mínima temperatura para ocorrer a mistura do ar/combustível para se iniciar o processo de combustão;
- Ponto de fluidez, temperatura mínima necessária para que o líquido combustível se transforme em fluido;
- Viscosidade, que irá determinar a temperatura de armazenamento do combustível e a temperatura de pulverização;
- Entre outras propriedades voltadas para líquidos de combustíveis automotivos como (período de indução, cetanagem e octanagem).

Os combustíveis líquidos são vaporizados ou atomizados antes de sofrerem a queima. Quando o óleo combustível penetra pelo queimador, ele é nebulizado por pressão, ou seja, é transformado o fluxo contínuo de óleo em pequenas gotas. Assim, é misturado com o ar de entrada e sofre um intenso turbilhonamento, que proporciona um maior aquecimento (NOGUEIRA, 2005).

Conforme NOGUEIRA (2005), são exemplos dos óleos: líquidos derivados de petróleo, álcool, óleo de xisto, alcatrão, licor negro e óleos vegetais.

### **2.4.3 Combustível Gasoso**

Conforme BIZZO (2003) a aplicação dos combustíveis gasosos nas indústrias nacionais vem aumentando, atendendo a demanda por fontes de energia mais limpas e eficientes. A limitação de seu crescimento está relacionada na disponibilidade dos gases e quanto ao seu transporte.

Os combustíveis gasosos não necessitam de uma preparação antes da combustão, pois eles são facilmente dispersos no ar. Deve-se ter um grande cuidado para realizar a redução da pressão de saída antes, pois ela tem que se adequar às características do queimador dentro da caldeira (NOGUEIRA, 2005).

Conforme BIZZO (2003), quando se utilizam combustíveis sólidos deve-se atentar a algumas propriedades do material, sendo as principais:

- Densidade relativa;
- Número de Wobbe, uma relação feita da densidade e poder calorífico;
- Velocidade de chama.

Existem dois tipos de combustão gasosa, a com mistura de gases no bocal, e a com mistura do ar de entrada. São alguns gases mais utilizados, o metano, Hidrogênio, GLP (Butano e Propanol), Biogás e o gás de Coqueira que são utilizados em siderúrgicas (BIZZO, 2003).

## **2.5 VAPOR: GERAÇÃO E PRINCIPAIS APLICAÇÕES INDUSTRIAIS**

Segundo Vichi e Mello (2003) considera que as caldeiras são equipamentos vastamente utilizados na geração de energia elétrica e na indústria, de forma que é necessário para o processo produtivo e, em alguns casos, o principal equipamento.

As caldeiras em geral são empregadas para alimentar máquinas térmicas, autoclaves para esterilização de materiais diversos, cozimento de alimentos através do vapor, ou calefação ambiental (VICHÍ; MELLO, 2003).

### **2.5.1 Indústria de Alimentos**

Utiliza o vapor no estado saturado e de forma indireta, à média pressão, para cozimento de alimentos. Nas indústrias onde o vapor atua diretamente no processo, os cuidados devem ser redobrados para não se comprometer a qualidade do produto final (PERA, 1990).

### **2.5.2 Indústria Têxtil**

Nesta indústria, segundo Vichi e Mello (2003) utiliza-se o vapor no estado saturado à média pressão, para viabilizar o aquecimento dos tanques de tingimento, alvejamento e secagem.

### **2.5.3 Indústria de Papel e Celulose**

Utiliza-se o vapor no estado saturado à média pressão, sendo a maior parte empregada nos tanques de branqueamento, nos cilindros de lavagem, nas calandras e secadores de papel (VICHÍ; MELLO, 2003).

#### **2.5.4 Hospitalar e Hotelaria**

Utiliza o vapor para suprir as necessidades da lavanderia e da cozinha e do sistema de aquecimento dos quartos e banheiros. Muitos hotéis e hospitais localizados em locais de extremo frio, que utilizam o sistema de caldeiras para o aquecimento da água e também adaptam tubulações em baixo do piso para que o chão fique a uma temperatura agradável (PERA, 1990).

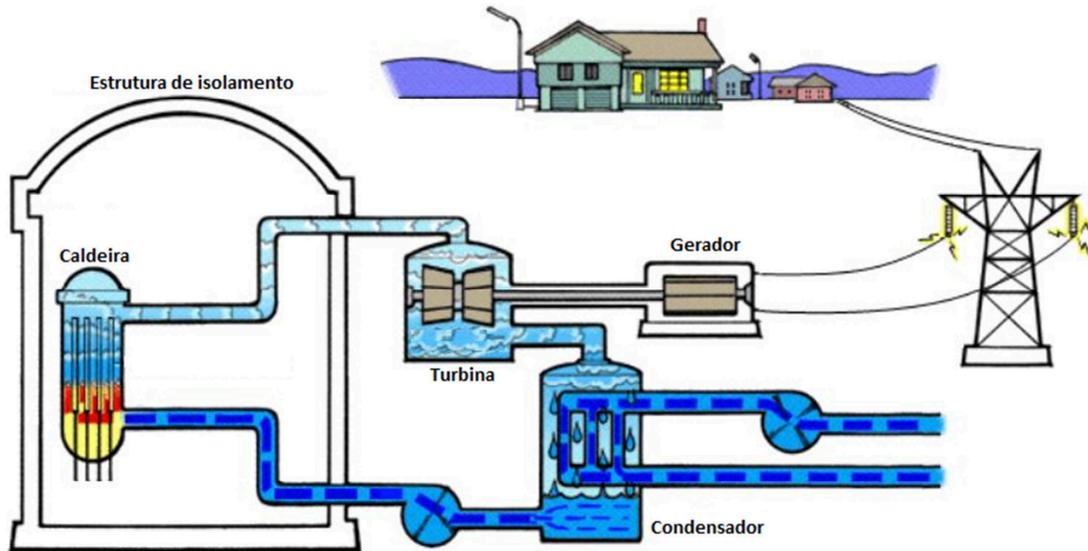
Sendo esses os principais meios de utilização de caldeiras, mas conforme CALDEIRAS DE VAPOR (2017), também podem ser utilizadas por diversas áreas industriais, assim como:

- Indústria química: utilização em reatores e armazenamento;
- Farmacêuticas: fabricação de medicamentos, vapor estéril, vacinas;
- Cosmética: perfumes, cremes;
- Indústria do cimento: fabricação de peças em cimento;
- Indústria do petróleo: armazenamento e distribuição de óleos pesados;
- Indústria da madeira: processos de contraplacado e melamina;
- Tratamento de superfície;
- Indústria automotiva: acabamentos metálicos, eletrodeposição.

#### **2.6 USO DO VAPOR COMO FONTE DE COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Conforme BIZZO (2003), o vapor é muito utilizado para a obtenção e cogeração de energia elétrica, principalmente em grandes indústrias, o mesmo pode ser gerado através da energia térmica com a queima de carvão, óleo, gás natural, biomassa, ou outro combustível em uma câmara de combustão. A obtenção da energia térmica costuma ser obtida por meio da queima de um combustível, por exemplo, em caldeiras, o qual acaba por liberar um calor a fim de aquecer a água, o que libera um vapor responsável por gerar a energia mecânica para movimentar o eixo de uma turbina, a qual transmite esse movimento para o gerador, assim cogerao energia elétrica, conforme esquema representado na Figura 15.

**Figura 15** - Esquema simplificado de geração termoeleétrica



Fonte: THE STUDENT (2017)

Entre os meios de geração de energia elétrica através do vapor, têm-se dois ciclos principais, que são eles o ciclo composto de uma turbina a vapor, mais conhecido como ciclo Rankine e o ciclo composto de uma turbina a gás, mais conhecido como ciclo Brayton (ODDONE, 2001).

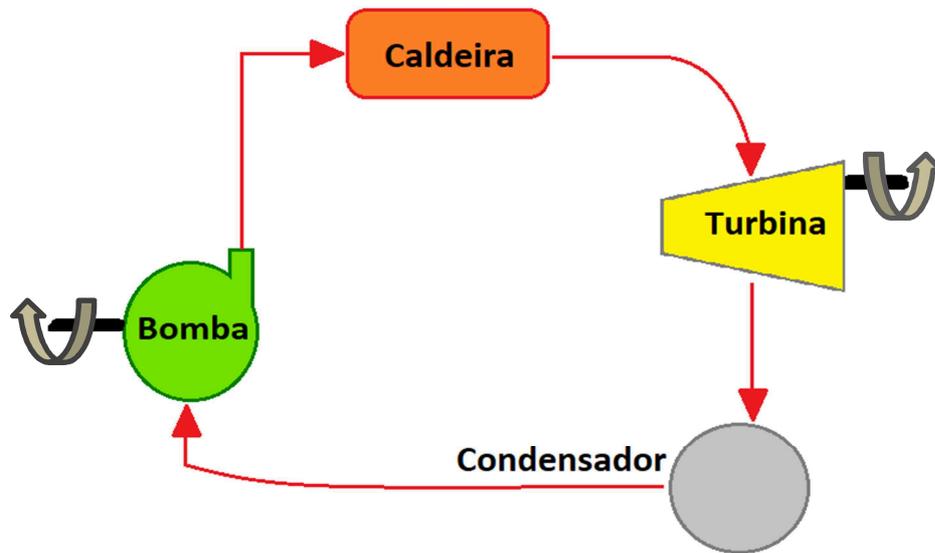
### 2.6.1 Ciclo Rankine

Através da caldeira é transferida a energia térmica, resultante da combustão, para a água, que se vaporiza e superaquece. Expande-se esse vapor superaquecido em uma turbina, que acionará uma carga mecânica (gerador elétrico). Na saída da turbina esse vapor é extraído, com condições de pressão e temperatura que o processo que utiliza este calor útil requer (ODDONE, 2001).

Segundo ODDONE (2001) o fluido é devolvido, geralmente no estado de condensado, à caldeira para recomeçar o ciclo de transferência de energia, conforme Figura 16.

No ciclo Rankine podem ser utilizados combustíveis mais baratos, como o bagaço de cana, lenha, carvão, resíduos industriais, entre outras, e muitas vezes sendo os únicos disponíveis no local (ODDONE, 2001).

**Figura 16** - Esquema do Ciclo Rankine



Fonte: BALESTIERI (2003)

### 2.6.2 Turbina a Vapor

Conforme CHIERICATO (2010) as turbinas a vapor são máquinas que realizam a combustão do lado externo da máquina, onde os gases obtidos pela queima do combustível não entram em contato com o fluido que está do lado interno da máquina, que realiza os processos da transformação da energia do combustível em energia mecânica, assim gerando a potência do eixo. Dessa forma, existe uma grande possibilidade na escolha do combustível a ser utilizado, podendo até mesmo utilizados resíduos sólidos.

A temperatura que é necessária para realizar a ebulição do condensado e posteriormente o superaquecimento se dá por meio do calor gerado na combustão, que é transferido para o fluido utilizado no sistema, por meio de serpentinas que estão localizadas dentro das caldeiras. As turbinas a vapor mais novas possuem uma alta velocidade de trabalho e podem estar submetidas a grandes temperaturas e altas pressões (CHIERICATO, 2010).

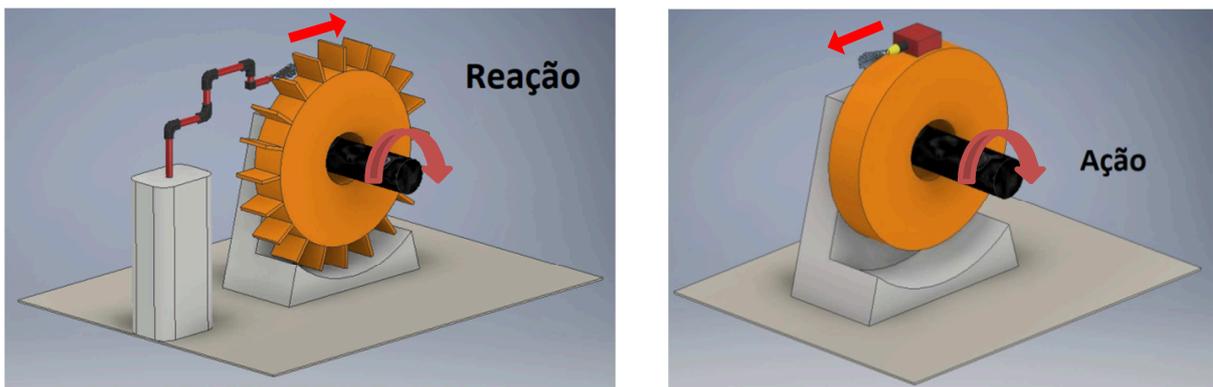
Para COELHO (2000), o rendimento térmico máximo que pode ser obtido na prática, com este processo, é de aproximadamente 30 a 35%, ou seja, 1/3 da energia do combustível pode ser convertido em energia térmica.

### 2.6.2.1 Princípio de Funcionamento

Seu objetivo é transformar a energia recebida do fluido contínuo, em energia mecânica. Pela segunda lei da termodinâmica, sabemos que nem toda a energia é reaproveitada, assim, apenas um pouco da energia presente no vapor será convertida, já o resto irá ser descarregado pela saída da máquina (ODDONE, 2001).

O processo da transformação da energia gerada do vapor em trabalho mecânico é feita em duas partes. Primeiramente é transformada em energia cinética e logo na segunda parte a energia cinética é transformada em trabalho mecânico. Essa transformação da energia é obtida de acordo com os princípios de ação e reação, conforme Figura 17 abaixo (ODDONE, 2001).

**Figura 17 - Turbina de Ação e Reação**



Fonte: AUTORES (2017)

### 2.6.2.2 Classificação das Turbinas a Vapor

Conforme CHIERICATO (2010), para poder classificar os diferentes tipos de turbinas movidas a vapor, tem-se quatro diferentes modos de dividir, como mostrado a seguir no Quadro 2.

**Quadro 2 – Classificação das turbinas a vapor**

<b>Quanto à direção do movimento do vapor em relação ao rotor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbinas a vapor axial;</li> <li>• Turbinas a vapor radial;</li> <li>• Turbinas a vapor tangencial.</li> </ul>
<b>Quanto à forma de atuação do vapor no rotor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbinas a vapor de ação;</li> <li>• Turbinas a vapor de reação;</li> <li>• Turbinas a vapor mistas.</li> </ul>
<b>Quanto a condição do vapor de escape</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbina de vapor de condensador;</li> <li>• Turbina de vapor de escape livre;</li> <li>• Turbina de vapor combinada;</li> <li>• Turbina de vapor de contrapressão.</li> </ul>
<b>Quanto ao estado de vapor na entrada</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vapor saturado;</li> <li>• Vapor superaquecido.</li> </ul>

Fonte: CHIERICATO (2010) - Adaptado

### 2.6.2.3 Principais Componentes

Para CHIERICATO (2010), basicamente os principais componentes de uma turbina a vapor, são os seguintes componentes:

- **Carcaça:** Facilita a montagem e desmontagem, geralmente é dividida em duas partes;
- **Rotor com pás na extremidade:** É o elemento móvel da turbina (envolvido pelo estator) onde existe o contato do vapor com as pás, transformando a velocidade de saída do vapor em energia cinética;
- **Estator:** É o elemento fixo da turbina (que envolve o rotor) cuja função é transformar a energia potencial (térmica) do vapor em energia cinética;
- **Sistema de comando e válvula:** Regula a velocidade e a potência da turbina, assim alterando a saída do vapor;
- **Acoplamento:** Local onde as conexões mecânicas são feitas com o gerador elétrico;
- **Dispositivo de expansão:** Bocal, sendo fixo ou móvel, onde a energia do vapor transforma-se em energia cinética;

- **Junta de labirinto:** Reduz o calor gerado quando acontece o contato do rotor-estator.

### 2.6.3 Ciclo Brayton

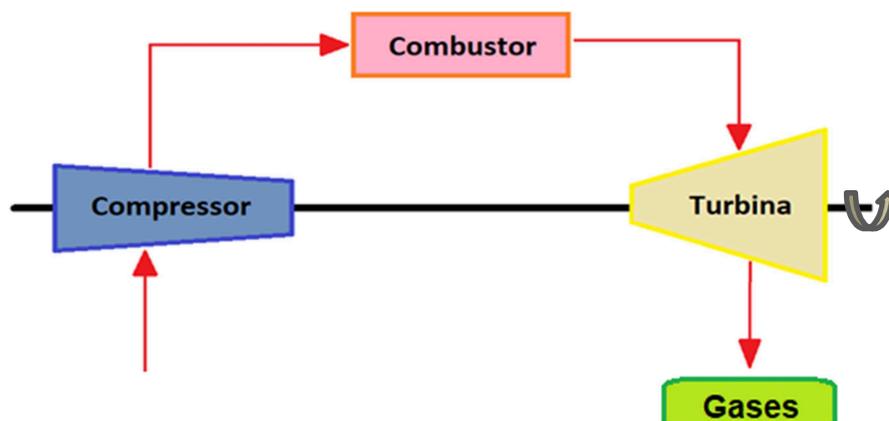
Também conhecido como ciclo de turbina a gás, onde um conjunto de geradores é acoplado a três principais equipamentos: compressor, câmara de combustão, ou combustor, e turbina a gás (que na verdade, é o conjunto destes três equipamentos). O compressor aspira o ar, que depois é enviado para a câmara de combustão e misturado com o gás natural (combustível). Gases em alta temperatura são enviados à turbina a gás, após a combustão da mistura, onde é gerada a energia mecânica durante a expansão desses gases. O conjugado mecânico gerado aciona o compressor de ar e produz trabalho líquido.

Para ODDONE (2001), o ciclo Brayton classifica-se em termos da circulação dos gases de exaustão em ciclo aberto, onde os gases são liberados para a atmosfera conforme ilustrado na Figura 18, ou em ciclo fechado onde os gases retornam ao compressor por meio de um trocador de calor, fazendo com que circule sempre o mesmo fluido de trabalho, como ilustrado na Figura 19.

Para GOMES (2005) as plantas que operam em ciclo fechado, embora tenham aplicação limitada, possuem a vantagem de combater problemas associados ao meio-ambiente.

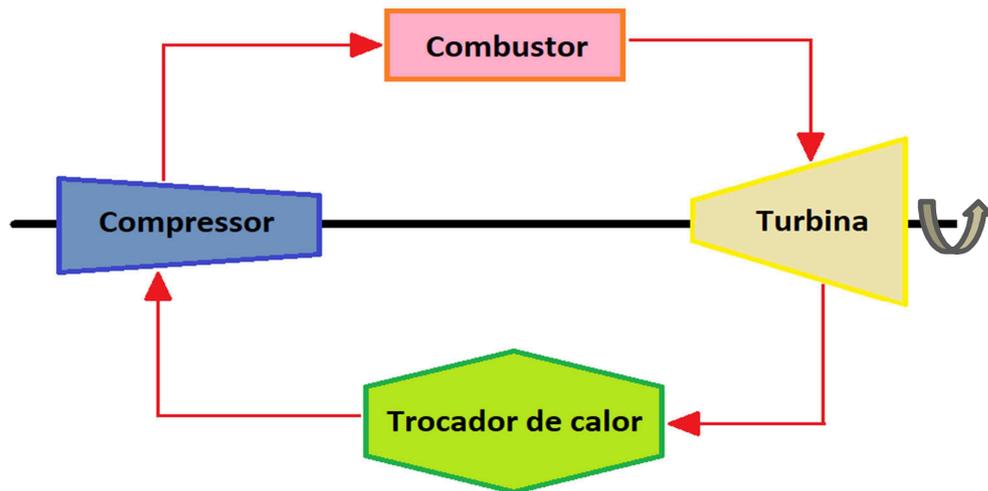
Ajustando-se as temperaturas em diferentes etapas do ciclo, é possível maximizar a produção da turbina a gás. (SANTOS; NOVOS, 2008).

**Figura 18** – Esquema do Ciclo Brayton em ciclo aberto



Fonte: BALESTIERI (2003) - Adaptado

**Figura 19** – Esquema do Ciclo Brayton em ciclo fechado



Fonte: BALESTIERI (2003) – Adaptado

#### 2.6.4 Turbinas a Gás

Pertencem ao grupo de motores de combustão interna e operam em faixa desde pequenas até grandes potências. Uma de suas vantagens é ocupar pouco espaço em relação às outras máquinas térmicas, devido a seu pequeno peso e volume, aumentando a versatilidade e crescimento de uso nos últimos anos (CHIERICATO, 2010).

Conforme CHIERICATO (2010) quando comparadas a motores alternativos, há uma grande vantagem: por não haver movimentos alternativos, diminui-se o atrito entre superfícies sólidas como ocorre entre as camisas dos cilindros e pistões, o que significa uma quase inexistência de problemas de balanceamento, e ao mesmo tempo, um baixo consumo de óleo lubrificante uma vez que o mesmo não entra em contato direto com partes quentes e nem com os produtos de combustão. Já comparadas às turbinas a vapor, a sua vantagem é a de não utilizar fluido refrigerante, o que facilita na sua instalação, e aumenta sua confiabilidade. São formadas por três componentes principais: o compressor, o aquecedor do fluido de trabalho e a turbina propriamente dita.

Para COELHO (2000), o rendimento térmico máximo que pode ser obtido na prática, com este processo, é de aproximadamente 35%, ou seja, 1/3 da energia do combustível pode ser convertido em energia térmica. Porém atualmente existem

turbinas que conseguem um rendimento de 41% de energia térmica a partir da energia do combustível.

Apresentam também algumas desvantagens, como o baixo rendimento do combustível, e alta rotação, o que, na aplicação industrial, são fatores desfavoráveis (CHIERICATO, 2010).

#### **2.6.4.1 Princípio de Funcionamento**

O ar é comprimido por meio de um compressor e conduzido à câmara de combustão, onde o combustível é introduzido e será queimado numa condição de pressão constante (processo de queima em regime contínuo), aumentando a temperatura dos gases. Os gases de combustão se expandem e a turbina transforma esta energia dos gases em energia mecânica, que deverá ser maior do que a energia que aciona o compressor. Chama-se de energia mecânica efetiva disponível, essa diferença de energia (CHIERICATO, 2010).

A introdução do calor é diretamente proporcional à potência efetiva, assim, um aumento grande de combustível (calor), resulta no aumento de potência, sendo que para uma determinada vazão de ar, existe um limite de proporção de introdução de combustível. É determinada a máxima relação de combustível/ ar, através da temperatura de trabalho das pás da turbina, que operam em altas condições de tensionamento, e que não podem ultrapassar determinado valor crítico (depende da tensão do material utilizado na construção da turbina e sua vida útil desejada) (CHIERICATO, 2010).

#### **2.6.4.2 Classificação das Turbinas a Gás**

Conforme CHIERICATO (2010), as turbinas a gás podem ser classificadas desde o tipo de construção até quanto às suas aplicações. Segue abaixo no Quadro 3, a classificação mais comum das turbinas a gás:

### Quadro 3 – Classificação das turbinas a gás

<b>Quanto à construção</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leves (Jet-Derived GT);</li> <li>• Pesadas (Heavy-Duty).</li> </ul>
<b>Quanto à rotação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidade constante (Turbo-Alternadores);</li> <li>• Velocidade variável (Turbo-Compressores e Turbo-Bombas).</li> </ul>
<b>Quanto ao número de eixos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Um eixo;</li> <li>• Vários eixos.</li> </ul>
<b>Quanto à localização</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interna (Onshore);</li> <li>• Externa (Offshore);</li> <li>• Móvel (On-Board).</li> </ul>
<b>Quanto à aplicação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Industrial;</li> <li>• Aeronáutica;</li> <li>• Marítima.</li> </ul>
<b>Quanto ao ciclo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aberto;</li> <li>• Fechado.</li> </ul>

Fonte: **CHIERICATO (2010)**

Ainda quanto à aplicação das turbinas a gás, existe também a utilização em veículos terrestres. Como o motor de turbina a gás *Honeywell AGT1500* que tem sido a força por trás da mobilidade do tanque de batalha principal (MBT) *Abrams M1* do exército americano desde o início dos anos 80, conforme Figura 20. Fornece energia, velocidade, aceleração rápida e operação silenciosa que obteve o M1 de altas marcas em todos os teatros militares (*HONEYWELL AEROSPACE, 2017*).

**Figura 20** – Tanque de combate *Abrams-M1* com turbina *Honeywell AGT1500*

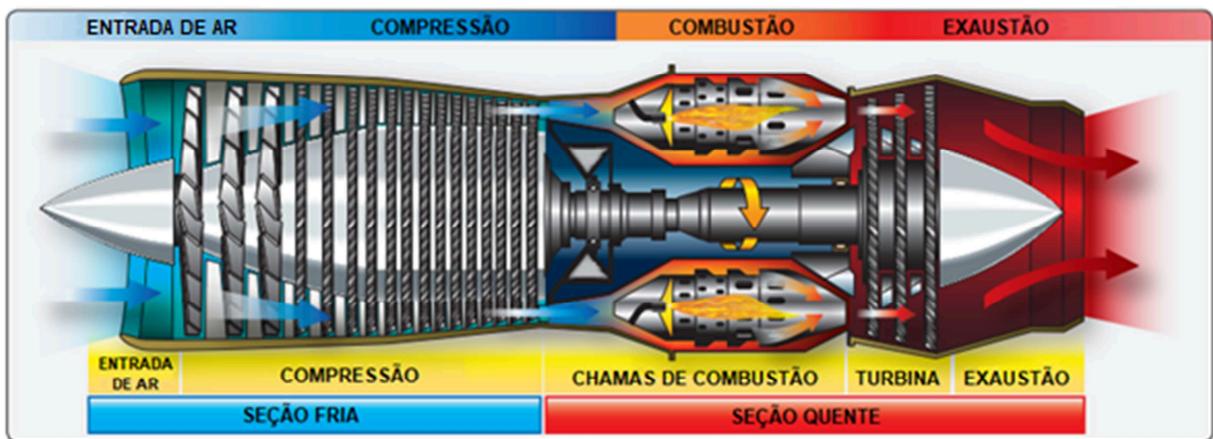


Fonte: **MARINES - THE OFFICIAL WEBSITE OF U.S. MARINE CORPS (2011)**

### 2.6.4.3 Principais Componentes

As turbinas a gás são constituídas de quatro partes principais: entrada de ar, compressor, câmara de combustão, e exaustão, conforme Figura 21 (*FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 2017*).

**Figura 21** - Detalhes internos de uma turbina a gás



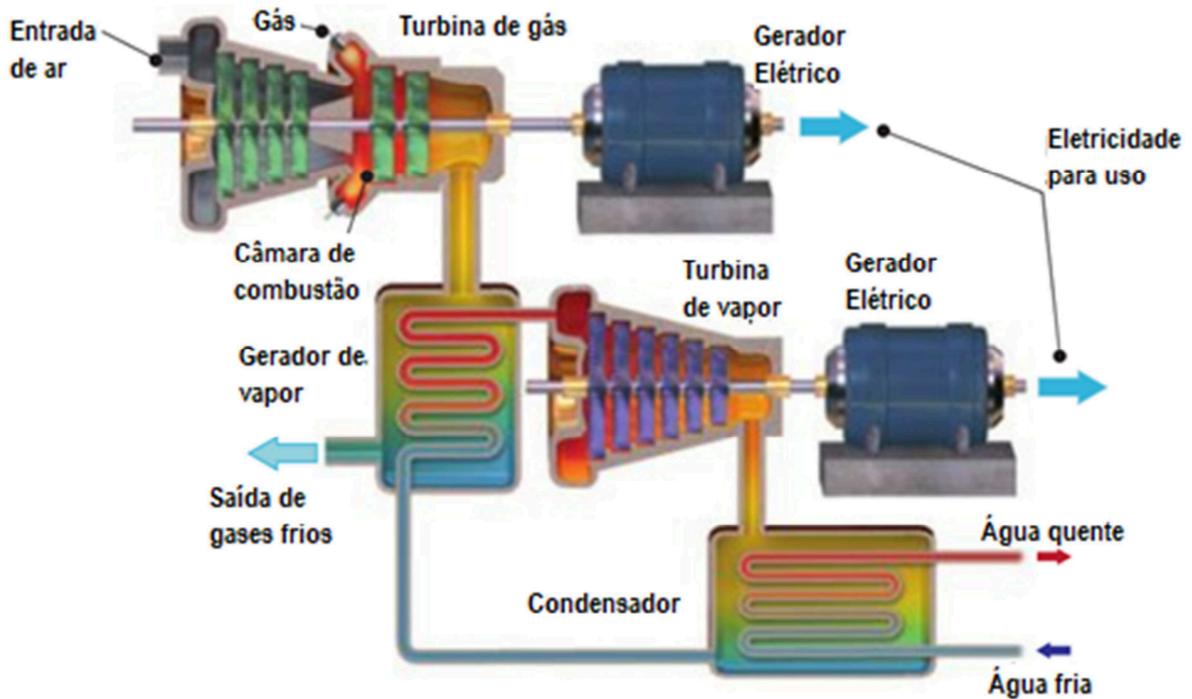
Fonte: *FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (2017)* – Traduzido

### 2.6.5 Ciclo Combinado

É recomendado quando se deseja produzir energia elétrica e térmica úteis, em quantidades variáveis, de acordo com as cargas consumidoras ou para atendimento de mercados específicos. É baseado na junção dos ciclos de Brayton e Rankine conjuntamente, onde o calor liberado por um ciclo é utilizado como entrada de calor para o outro ciclo, parcialmente ou totalmente. Conforme Figura 22 (*ODDONE, 2001*).

Para *COELHO (2000)*, o ciclo combinado tem uma eficiência térmica maior que a dos ciclos Rankine e Brayton separadamente. Este tipo de processo de cogeração é o mais recomendado para os locais onde a demanda de eletricidade é superior à demanda de vapor, ou seja, nas indústrias eletro-intensivas.

**Figura 22 – Esquema do Ciclo Combinado**



Fonte: CERES (2017)

Os gases de exaustão da turbina a gás estão normalmente na temperatura entre 450° e 550°C, no ciclo combinado (Brayton-Rankine), podendo ser utilizados na caldeira de recuperação de calor, no fluxo de gás quente. A geração de vapor serve como fluido de trabalho para acionar uma turbina a vapor, gerando uma energia adicional. Assim tem-se uma eficiência térmica maior, no ciclo combinado, do que nos ciclos Brayton e Rankine separadamente.

É mais recomendado esse tipo de processo para locais onde a demanda de eletricidade é maior que a demanda de vapor (indústrias eletro-intensivas) (CHIERICATO, 2010).

### 3 METODOLOGIA

A metodologia para desenvolvimento desta pesquisa aplicada, associada à estudo de caso, está embasada em pesquisa experimental e bibliográfica, com pesquisas em sites especializados, artigos acadêmicos e normas, que contemplem os sistemas térmicos de caldeiras com energia heliotérmica, operando em cogeração.

As caldeiras possuem diversos componentes e sistemas auxiliares, sendo alguns deles necessários para sua operação e outros com a finalidade de aumentar o rendimento térmico, aproveitando melhor a energia térmica contida nos gases de combustão. Apresentando-se a realização do projeto com seu memorial de cálculo, têm-se as seguintes características contempladas: Vaso de pressão, Tubos de cobre, Condensador, *Boiler*, Instrumentação e Controle (Válvulas, Manômetro, Termopar, Conexões), Coletor solar plano, Sensores de fluxo. Foram realizados os seguintes cálculos para especificação e dimensionamento: Eficiência térmica e eficiência útil, Vazão em massa, Potência útil e absorvida, Pressão admissível, conforme ilustrado à Figura 23.

**Figura 23** – Lista de equações

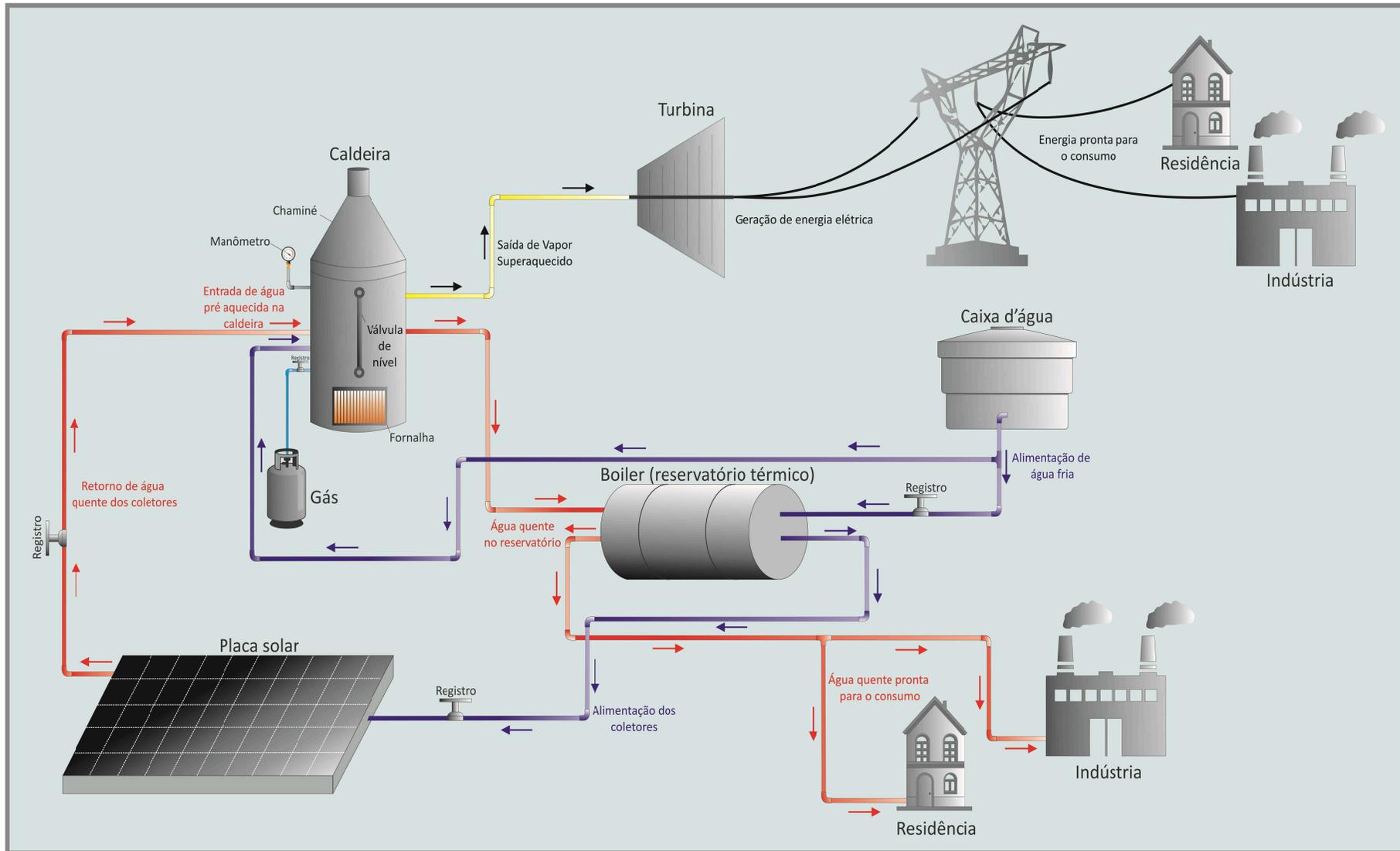
**LISTA DE EQUAÇÕES**

$\rightarrow \dot{m} = \rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2$	$\rightarrow C_P = \left(\frac{q}{\Delta T}\right)_P = \left(\frac{\Delta h}{\Delta T}\right)_P$
$\rightarrow Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$	$\rightarrow C_V = \left(\frac{q}{\Delta T}\right)_V = \left(\frac{\Delta u}{\Delta T}\right)_V$
$\rightarrow A = \pi \cdot \frac{D_i^2}{4}$	$\rightarrow Q_{VC} = m \cdot [(h_2 - h_1)]$
$\rightarrow \frac{P_0}{\rho} + \frac{V_0^2}{2} + \rho \cdot Z_0 = \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + \rho \cdot Z_1$	$\rightarrow \eta_T = \frac{m_v \cdot (h_{Vs} - h_{Ve})}{m_c \cdot PCI}$
$\rightarrow \Delta p = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2}$	$\rightarrow P_G(t) = \eta \cdot I(t) \cdot N \cdot S_h$
$\rightarrow Q = m \cdot c \cdot \Delta T$	$\rightarrow RSI \cdot A \cdot \eta = m \cdot c \cdot \Delta_t$

Fonte: AUTORES (2017)

O sistema proposto descrito está demonstrado na Figura 24 e consiste em uma maior eficiência térmica e econômica para a produção do vapor.

Figura 24 – Representação esquemática



Fonte: AUTOR (2017)

### 3.1 METODOLOGIA DA PESQUISA

Conforme GOODE (1969), o método do estudo de caso é um tipo de análise qualitativa.

O estudo de caso tem sido mais utilizado como uma maneira pedagógica para se obter percepções de ordem exploratória, do que uma pesquisa comum (BONOMA, 1985).

O estudo de caso é nada mais que uma pesquisa investigatória empírica, onde quem realiza a pesquisa não tem controle dos possíveis eventos variáveis em sua volta (MARTINS, 2007).

Conforme YIN (2001), o estudo de caso é uma maneira de se verificar uma pesquisa que assume um método que envolve abordagens específicas para analisar e coletar dados.

É importante que haja investigações do assunto tratado reunindo documentos que comprovem o que está sendo apresentado no trabalho científico, dessa forma, tornando-o confiável e alta relevância (YIN, 2001).

A pesquisa aplicada no presente trabalho é verificada por meio de uma pesquisa exploratória bibliográfica com estudo de caso, e uma proposta de construção de protótipo de conceito de uma caldeira industrial com ênfase em um maior aproveitamento de energia para redução de custos.

Para GIL (1991), uma pesquisa exploratória tem a função de tornar um problema explícito a fim de criar hipóteses, fazendo com haja uma maior interação de pessoas que tiveram experiências com problemas envolvendo o estudo abordado, com o objetivo de obter a compreensão e possíveis formações de futuras pesquisas bibliográficas e estudo de caso.

Ainda segundo GIL (1991), a pesquisa bibliográfica se dá a partir de dados e materiais já existentes, contidos em livros, artigos de periódicos e possíveis acessos à internet.

## **3.2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.2.1 Materiais**

Neste tópico é explorada a construção de um protótipo conceitual de uma caldeira de pequeno porte com fonte parcial de energia heliotérmica para análise de desempenho, rendimento e custo, com o emprego em indústrias, para o possível aproveitamento do vapor para a cogeração de energia elétrica.

Como base de estudo para o projeto, foram analisados todos os componentes presentes em uma caldeira industrial de modelo “CVS-VG 30kg/h” cilíndrica, compacta, vertical, com uma passagem de gases combustos (fogo), fornalha cilíndrica toda circundada por água, fabricados em chapa de aço ASTM-A-285 C e tubos em aço ASTM-A-178.

Conforme lista abaixo se encontram os principais materiais com suas devidas especificações de trabalho.

#### **BOMBA D'ÁGUA**

- Vazão 2,7m<sup>3</sup>/h;
- Para pressão de 70 mca;
- Rotor de bronze e selo mecânico de viton;
- Bomba motor 1 CV 220V.

#### **VÁLVULAS DE SEGURANÇA**

- 01 válvula Ø1/2 atuada por mola e com alavanca.

#### **VÁLVULAS GLOBO PARA SAÍDA DE VAPOR**

- 01 saída de vapor Ø1/2.

#### **VÁLVULAS ESFÉRICAS**

- Modelo tripartida;
- Vedação de teflon;
- Pressão de trabalho para 150 psi.

### **VISOR DE NÍVEL**

- Visor de nível com tubo de vidro;
- Garrafa de nível;
- Pressão de trabalho para 150 psi;
- Válvula de nível com bloqueio tipo agulha, para alta pressão;
- Válvula esférica tripartida para dreno;

### **MANÔMETROS**

- Quantidade: 01 (uma) unidade;

### **VÁLVULAS DE RETENÇÃO PARA ALIMENTAÇÃO DE ÁGUA**

- 02 modelos horizontais com pressão de trabalho de 150 psi;

### **CHAMINÉ**

- Material em aço carbono SAE-1020;
- Espessura de chapa de 1/8”;
- Altura da chaminé de 0,5 metros.

### **CONEXÕES**

- Todas as conexões são para pressão mínima de 150 psi;

### **DESCARGA DE FUNDO**

- 01 Válvula esférica Ø ¾”

E a partir desse estudo, realizado na base de um orçamento em uma indústria especializada na construção de caldeiras, seguiu-se a busca pelos materiais, especificações e preços, assim criando o protótipo de conceito com os materiais a seguir:

### **TUBO**

- 1 Tubo de Ø 9.5/8”;
- Norma API – 5CT;
- Tubo sem costura (solda);

- Espessura da parede do tubo de 12,70mm;
- 23 Tubos de 1" de 567mm de comprimento (esp. 1,20mm);
- 1 Tubo de 2" de 567mm de comprimento (esp.1,20mm).

### **CHAPA**

- 1 chapa de 1/2" com o tamanho de 600mm x 300mm (onde foram realizados os cortes plasmáticos).

### **VÁLVULAS DE SEGURANÇA**

- 01 válvula de alívio, com regulagem de até 120 psi.

### **CONEXÕES**

- Todas as conexões são para pressão máxima de 200 psi;
- 4 Nipples de redução 3/4" x 1/2" – aço galvanizado;
- 1 Conexão em T de 1/2" – aço galvanizado;
- 1 Curva de 1/2" – aço galvanizado;
- 2 Buchas de redução de 1/2" x 1/4" – aço galvanizado;
- 15 Nipples 1/2" – aço galvanizado;
- 6 Cotovelos de 1/2" – aço galvanizado;
- 12 Cotovelos de 3/4" – aço galvanizado;
- 3 Luvas 3/4" – aço galvanizado;
- 6 Luvas de 1/2" – aço galvanizado.

### **MANÔMETRO**

- 01 manômetro com glicerina de até 210PSI, de 63mm, com saída de Ø1/4".

### **VÁLVULAS ESFÉRICAS**

- 3 válvulas Ø 1/2" de aço carbono para 300L.

### **VISOR DE NÍVEL**

- Visor de nível com mangueira para sucção, atóxica, de Ø3/4";
- 2 Abraçadeiras comuns de 14mm;
- 2 Espigões fixos Ø 1/2" x 3/4", de latão;

- 2 Registros de gaveta Ø 1/2", de latão.

### **CHAMINÉ**

- Material galvanizado;
- Altura da chaminé de 450mm.

Além desses materiais que foram utilizados para a construção da caldeira, também foram utilizados outros componentes para a formação do sistema de cogeração, sendo eles:

### **PLACA SOLAR**

- 1 Placa solar 1m x 1m (pequeno porte).

### **QUEIMADOR**

- 1 Queimador de fogão industrial (Bocal).

### **BOILER (Reservatório)**

- 1 *Boiler* de pequeno porte.

### **BOTIJÃO**

- 1 Botijão de gás GLP.

### **CAIXA D'ÁGUA**

- 1 Caixa plástica 18l.

## **3.2.2 Métodos**

Para a construção da caldeira industrial, buscou-se uma fonte alternativa de energia para que pudesse trabalhar em conjunto com a queima de combustíveis, ou até mesmo substituir a queima de combustíveis, assim gerando o vapor responsável por movimentar máquinas industriais com cogeração de energia elétrica, porém, constatou-se, por meio de pesquisas, que somente utilizando-se de energia

heliotérmica como fonte alternativa para o funcionamento de uma caldeira, não teríamos a eficiência desejada, pois não é possível obter a luz solar constantemente para alimentar a placa solar. Desta forma, optou-se por uma caldeira mista, à base de combustíveis e energia heliotérmica.

A caldeira escolhida tem como princípio e diferencial a placa solar, responsável por absorver energia solar, transformando em energia heliotérmica para pré-aquecer a água, a qual, por sua vez, ficará armazenada em um *boiler*, no qual será transferido para o interior da caldeira, desta forma, trazendo vantagens para o desempenho da caldeira, pois chegará ao seu ponto de ebulição mais rapidamente por já estar pré-aquecida, assim gerando o vapor que será aproveitado para movimentar turbinas, cogerando energia elétrica para as máquinas industriais.

Foram definidas as especificações de trabalho nas quais a caldeira irá operar, e a partir disto foram calculados as dimensões do projeto, para que assim fosse definido o processo de fabricação. Para este processo de fabricação foi utilizado um tubo de  $\varnothing 9.5/8"$ , com material de aço conforme norma API – 5CT, usinado para realizar o rebaixo conforme Figura 25, que serviu para encaixe dos espelhos.

**Figura 25** – Usinagem do tubo



Fonte: AUTORES (2017)

O próximo processo foi fazer o espelho da caldeira, cujo processo teve que ser terceirizado, pela falta de equipamento especializado para realizar os cortes. Foi utilizada uma chapa de 1/2" de material ASTM 1020 e feitos os cortes por meio do processo de corte plasmático, com a furação ideal para passar os tubos trocadores de calor. Foi escolhido o corte plasmático para se obter uma melhor tolerância e acabamento. Logo após a execução dos cortes, o espelho passou para o processo de usinagem para realizar-se um chanfro necessário para o processo futuro de solda, conforme Figura 26.

**Figura 26** – Espelho cortado a plasma e usinado com chanfro



Fonte: AUTORES (2017)

Os tubos trocadores de calor são vendidos em barras de 6 metros, então houve a necessidade de realizar cortes nas medidas corretas, utilizando a serra CNC horizontal, assim deixando todos os tubos trocadores de calor, tanto os de 1" quanto o de 2", na medida correta de 567mm, conforme Figura 27, para posteriormente serem soldados no espelho.

**Figura 27** – Tubos trocadores de calor serrados na medida correta



Fonte: AUTORES (2017)

Além de válvulas reguladoras e de segurança, para a junção do conjunto foram utilizadas conexões galvanizadas e niples, alguns de redução de 3/4" para 1/2" e outros de 1/2" e de 3/4" mesmo. Esses niples foram soldados no tubo da caldeira utilizando o processo de soldagem MIG/MAG, para uma melhor penetração do consumível assim se tendo maior eficácia na vedação. Antes de soldar os niples na caldeira, foram necessárias, furações no tubo, tendo sido utilizada uma furadeira vertical com broca anular, conforme o diâmetro dos niples, conforme Figura 28.

**Figura 28** – Detalhes dos furos, conexões soldadas e válvulas



Fonte: AUTORES (2017)

Com o término da construção da caldeira e soldagem de todos os componentes, conforme Figura 29, iniciou-se o processo de pintura, utilizando uma tinta vermelha para alta temperatura, resistente até 600°C com o intuito de preservação da estética e sinalização adequada, conforme Figura 30.

**Figura 29** – Caldeira bruta, com todas as soldas finalizadas



Fonte: AUTORES (2017)

**Figura 30** – Caldeira completa, com as válvulas, conexões e pintura



Fonte: AUTORES (2017)

Assim foi finalizada esta etapa, estando pronta para a etapa seguinte do processo de adaptação da chaminé, para concentração de gases de combustão, adaptação de um fogão industrial, juntamente com um botijão de GLP, para fornecer o combustível de queima, a adaptação de um reservatório de água com função de caixa d'água, dos tubos que irão transportar o fluido de um local ao outro e que fazem a ligação de todo o sistema, e por fim, e principalmente, a instalação da placa solar, do *boiler* para transferência de energia heliotérmica para caldeira, o qual também foi construído. A seguir utilizou-se um suporte com rodas para facilitar o manuseio e transporte de todo o conjunto, conforme Figura 31.

**Figura 31** – Chaminé; Carrinho; Fogão; Placa solar; *Boiler* e Caldeira



Fonte: AUTORES (2017)

E por fim, com o sistema totalmente montado e preparado para teste, se fez a instalação de um motor de pequeno porte, com adaptação para um rotor, com aletas retas de plástico, que irá captar o vapor para a geração de energia elétrica para a utilização em diversas aplicações. Pode-se observar a conclusão do projeto na Figura 32.

**Figura 32 – Sistema Completo**



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio do estudo realizado sobre alternativas de energia, constatou-se que no território brasileiro há uma maior concentração de energia solar, principalmente nas regiões norte e nordeste, o que despertou interesse em termos de energia, já que a mesma é capaz de se renovar, o que poderia ser uma alternativa para caldeiras industriais. Com isso, na montagem da caldeira flamotubular vertical, foi adaptada uma placa solar para geração de energia heliotérmica, para uma possível instalação em solos brasileiros. Desta forma, foi possível avaliar a eficiência que a adaptação térmica trouxe para o funcionamento da caldeira para fins de cogeração em energia elétrica, tendo ficado nítido que somente usufruir de energia solar para atingir uma maior *performance* da caldeira, apesar da grande concentração de energia solar presente nos territórios nacionais, não valeria a pena, já que não é possível se obter energia solar o tempo todo. Com isso, a junção dos sistemas de queima de combustíveis com o sistema adaptado para eficiência térmica seria o mais ideal para se obter uma maior eficiência e economia de combustíveis e energia.

A adaptação proposta de eficiência térmica para uma caldeira, equiparada com o funcionamento de uma caldeira comum, que se resume à queima de combustíveis, mostra o desperdício de tempo que se tem, pois uma caldeira comum recebe água à temperatura ambiente, isso faz com que haja um retardo no aquecimento da água devido à troca de calor, além de poderem ocorrer bolhas de vapor, que podem prejudicar o funcionamento da caldeira por causa da cavitação. Com a caldeira adaptada para eficiência térmica, ela já recebe uma água pré-aquecida, o que faz com que a troca de calor seja mais rápida, a fim de fazer com que a água atinja a temperatura ideal, proporcionando uma maior eficiência no processo.

Espera-se que uma caldeira que incorpore esse sistema de eficiência térmica, tendo como base a inserção de energia solar para geração de energia heliotérmica e aplicada em industriais para grandes produções de vapor, em um horizonte de 5 a 10 anos, apresente um grande retorno econômico em termos de custo de energia gasta *versus* o custo do investimento do projeto.

## 5 CONCLUSÃO

Com o término do trabalho, foi relatado o quão é relevante a alternativa por uma energia de caráter renovável, pois a mesma é capaz de ser utilizada infinitamente, sendo um bem renovável da natureza, e, no caso da energia solar, um meio que não prejudica nenhum aspecto relacionado com o meio ambiente e a natureza.

Desta maneira é possível trabalhar de acordo com a sustentabilidade, tendo equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a preservação do meio ambiente, utilizando-se de uma energia limpa e renovável. A sustentabilidade possui uma proposta que tem como principal objetivo a preservação do meio ambiente, visto que cada vez mais se tem aumentado a emissão de gases contribuintes para o efeito estufa, como o dióxido de carbono, gás emitido pela queima de combustíveis fósseis, o que pode gerar um aquecimento global.

Com a defesa do uso da energia solar para um sistema a vapor, como este da caldeira apresentado no trabalho, foi possível se acreditar em, e relatar, uma grande economia de energia, e, no caso da caldeira, trabalhar com duas alternativas em conjunto: com a queima de combustíveis para aquecimento da água, e geração de energia heliotérmica por meio da energia solar, para também, aquecer a água. Dessa forma, o objetivo foi plenamente atingido, pois, a adaptação de um sistema solar para abastecer uma caldeira industrial mostrou a importância de se buscar alternativas de energia para, cada vez mais, diminuir custos, e, principalmente, sem prejudicar a natureza.

## REFERÊNCIAS

**ATLAS de Energia Elétrica do Brasil.** 3ª Edição. Brasília: TDA Comunicação, 2008. 236 p. v. 1.

BACELAR, Jonildo. **Guia Geográfico.** Disponível em: <<http://www.guiageografico.com/sobre.htm>>. Acesso em 06 Agosto de 2017, 19:46.

BALESTIERI, J.A.P.; **Cogeração: Geração Combinada de Eletricidade e Calor;** 2003, Universidade Federal de Santa Catarina.

BAZZO; E. **GERAÇÃO DE VAPOR.** 2ª Edição. DAUFSC. [1995].

BEGA, Egidio Alberto. **CALDEIRAS: INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE.** Rio de Janeiro: Jr Editora Técnica Ltda., 1989. 154 p.

BIZZO, W. A. **GERAÇÃO, DISTRIBUIÇÃO E UTILIZAÇÃO DE VAPOR.** Apostila de Curso. Faculdade de Engenharia Mecânica-UNICAMP. 2003.

BONOMA, Thomas V.- **Case Research in Marketing; Opportunities, Problems, and Process.** Journal of Marketing Research, Vol. XXII, May 1985.

BUENO PEREIRA, Enio; RAMOS MARTINS, Fernando ; LUNA DE ABREU, Samuel. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** 1ª Edição. São José dos Campos - SP: [s.n.], 2006. 60 p.

**CALDEIRAS DE VAPOR** - Aplicações. Disponível em: <[http://www.babcock-wanson.pt/produtos\\_caldeiras\\_applicoes.aspx](http://www.babcock-wanson.pt/produtos_caldeiras_applicoes.aspx)>. Acesso em 13 de Maio de 2017, 13:27.

CERES - Consultores Internacionais: **Centrais Térmicas de Ciclo Combinado.** Disponível em: <[http://ceresconsultoresinternacionais.com/?page\\_id=53](http://ceresconsultoresinternacionais.com/?page_id=53)>. Acesso em 18 de Julho de 2017, 13:49.

CHIERICATO, Thiago: **Sistemas de Cogeração,** Universidade Federal de São Carlos, 2010.

COELHO, Suani Teixeira et al. **Medidas mitigadoras para a Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Geração Termelétrica**. 1ª Edição. Dupligráfica Editora. 2000. 222p.

ENERGIA HELIOTÉRMICA. **Energia heliotérmica**. Disponível em: <<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica>>. Acesso em 12 de Maio de 2017, 21:48.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. United States Department of Transportation. **Airplane Flying Handbook**: Chapter 14: Transition to Turbopropeller-Powered Airplanes. Washington, DC 20591: [s.n.], [2017]. 14 p. v. 14. Disponível em: <[https://www.faa.gov/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aviation/airplane\\_handbook/media/16\\_afh\\_ch14.pdf](https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/airplane_handbook/media/16_afh_ch14.pdf)>. Acesso em 09 Agosto de 2017, 10:23.

FERREIRA, Rodrigo. **NR 13 CALDEIRAS E VASOS DE PRESSÃO**. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/1256733/>,%202014>.2014. Acesso em 01 de Maio de 2017, 17:45.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GOMES, R. A. do E. S.. **Modelagem Computacional de Caldeiras de Recuperação Térmica**. 2005. 195 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

GOODE, W.J.& HATT, P.K. – **Métodos e pesquisa social**. 3º Edição. São Paulo: Cia Editora Nacional, 1969.

HONEYWELL AEROSPACE. **AGT 1500 Battle Tank Turboshaft Engine**. Disponível em: <<https://aerospace.honeywell.com/en/products/engines/agt-1500-battle-tank-turboshaft-engine>>. Acesso em 03 de Novembro de 2017, 19:45.

IBICT, Instituto Brasileiro de Informação Em Ciência e Tecnologia (IBICT). **ENERGIA HELIOTÉRMICA: Qual o potencial heliotérmico do Brasil?**. Disponível em: <<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/fatos/qual-o-potencial-heliotermico-do-brasil>>. Acesso em 06 de Agosto de 2017, 18:40.

IMAZON. **Boletim do desmatamento da amazônia legal (fevereiro de 2015) sad**. Disponível em: <<http://imazon.org.br/boletim-do-desmatamento-da-amazonia-legal-fevereiro-de-2015-sad/>>. Acesso em 29 de Abril de 2017, 05:12.

MARINES - THE OFFICIAL WEBSITE OF U.S. MARINE CORPS. **MARINE CORPS PHOTOS**. Disponível em: <<http://www.marines.mil/Photos/>>. Acesso em 03 de Novembro de 2017, 15:34.

MARTINS, Jorge Santos. **Projetos de pesquisa, ensino e aprendizagem em sala de aula**. Campinas: Autores Associados, 2007.

MENDE, Manders. **Energia Nuclear, Fissão Nuclear e Fusão Nuclear: Reator nuclear**, 2012. Disponível em: <<http://www.megatimes.com.br/2012/07/energia-nuclear.html>>. Acesso em 01 de Maio de 2017, 17:45.

NOGUEIRA; L. A.H. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO USO DE VAPOR. ELETROPRÁS**. Rio de Janeiro, 2005.

ODDONE, C. D; **Cogeração: Uma alternativa para produção de Eletricidade**; 2001, Dissertação de Pós Graduação em Energia. Universidade de São Paulo – USP.

PALZ, W. **Energia solar e fontes alternativas: (SOLAR ELECTRICITY - An economic approach to solar enegy) - (Primeira edição em Português)**. 1ª Edição. São Paulo: Hermus-Livraria Editora Ltda, 1981. 358 p.REIS, Lineu Belico

PARQUES de São Paulo vão ser abastecidos por energia solar. **Fotovolt: Guia de estruturas, cabos e conectores para instalações FV**, São Paulo, v. 9, n. 3, p.06-08 de Março de 2017. Mensal.

PERA, Hildo. **Geradores de vapor: Um compêndio sobre conversão de energia com vistas à preservação da Ecologia**. 2ª Edição. São Paulo: Grafikor-Sociedade Editora, 1990. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAg20AAG/geradores-vapor>>. Acesso em 26 de Abril de 2017, 16:22.

REIS, L. B. D.; FADIGAS, E. A. F. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. 2ª Edição. Barueri, SP: Manole Ltda, 2012. 447 p.

SANTOS, Fernando Butierres dos; NOVOS, Luciana Morgani Alves. **FUNDAMENTOS TEÓRICOS RELACIONADOS À COGERAÇÃO E O EXEMPLO DA CENTRAL DE COGERAÇÃO INFOGLOBO**. 2008. 189 f. Graduação de Bacharel (Engenharia Elétrica) - Engenharia Elétrica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001201.pdf>>. Acesso em 27 de Julho de 2017, 17:21.

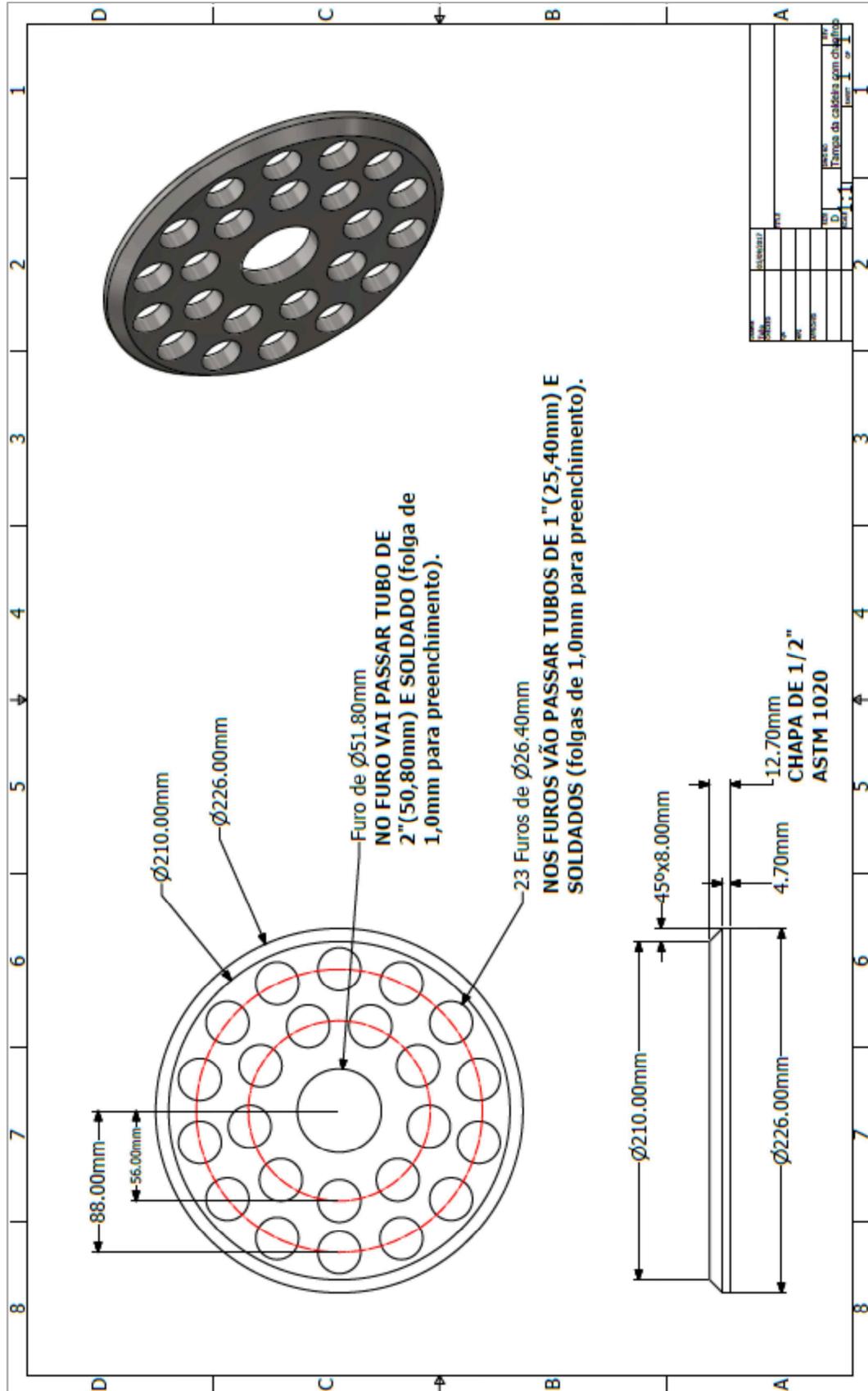
STROBEL. **CALDEIRAS**. MÁQUINAS TÉRMICAS I. [S.l.: s.n.]. [entre 1995 e 2015]. Disponível em:  
<[http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec\\_NOTURNO/TM364/Material%20de%20Aula/Aula%20de%20caldeiras.pdf](http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM364/Material%20de%20Aula/Aula%20de%20caldeiras.pdf)>. Acesso em 05 de Maio de 2017, 15:02.

THE STUDENT Corner: **What is Nuclear Energy?**. Disponível em:  
<<https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/students/what-is-nuclear-energy.html>>. Acesso em 07 de Agosto de 2017, 11:38.

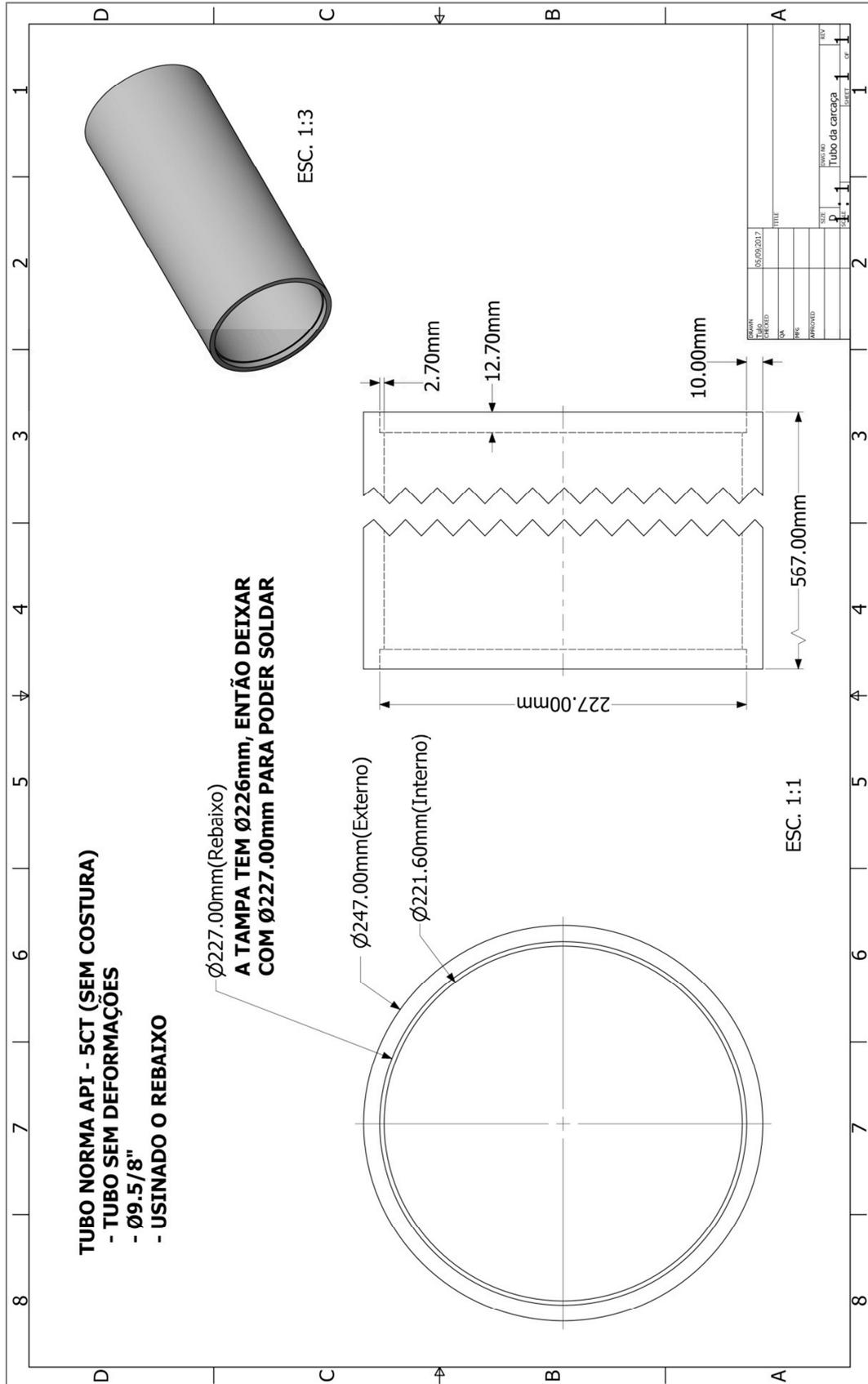
VICHI, Flávio Maron; MELLO, Leonardo Freire de. **Energia e Meio Ambiente**: Tradução da 3ª Edição Norte Americana. 3ª Edição Norte Americana. Editora São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. 543 p. v. 3ª.

YIN, Roberto K. **Estudo de Caso: Planejamento e métodos**. 2ª Edição. Porto Alegre. Editora: Bookman. 2001.

APÊNDICE A – Desenho técnico da tampa da caldeira

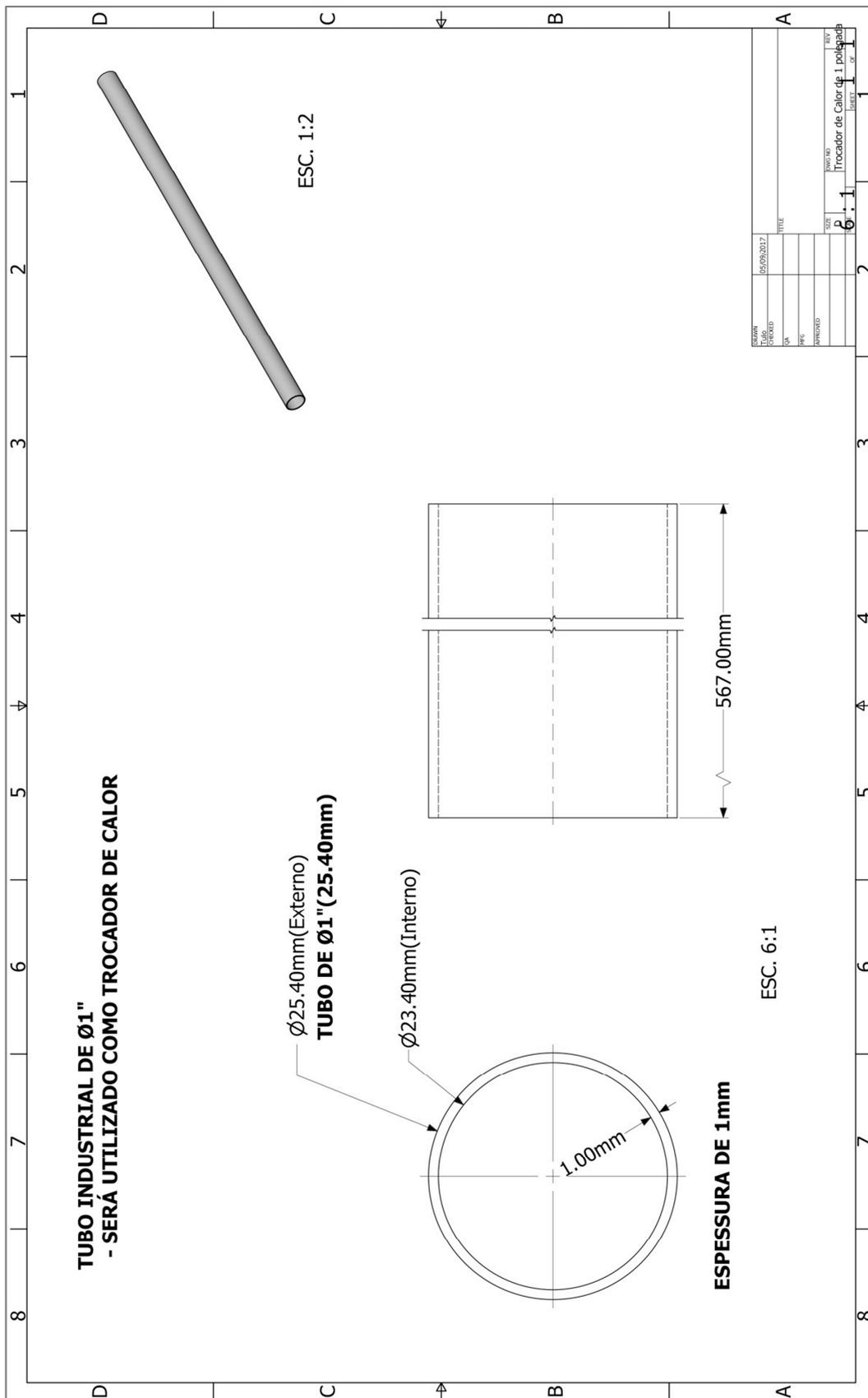


**APÊNDICE B – Desenho técnico do tubo da carcaça da caldeira**

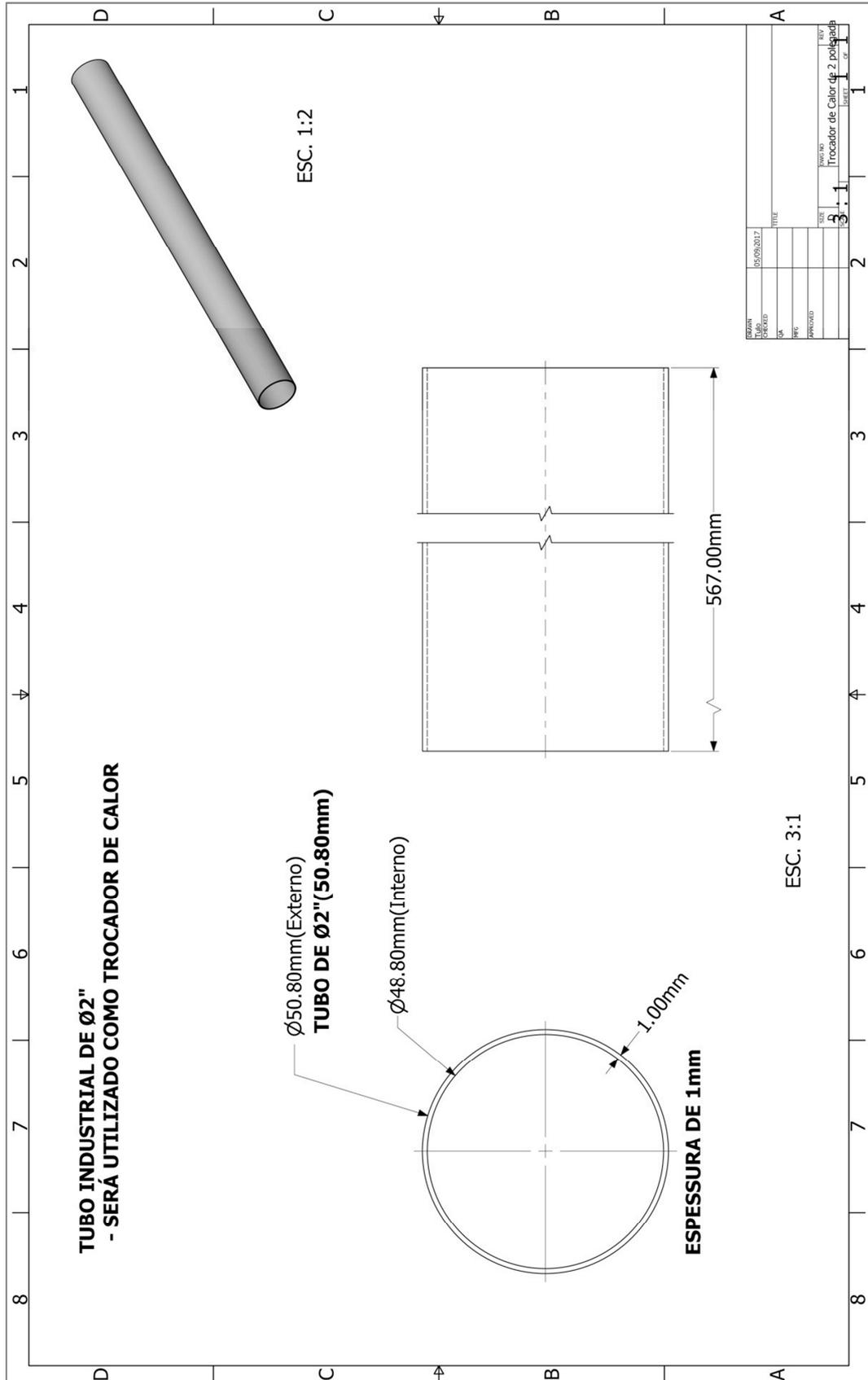




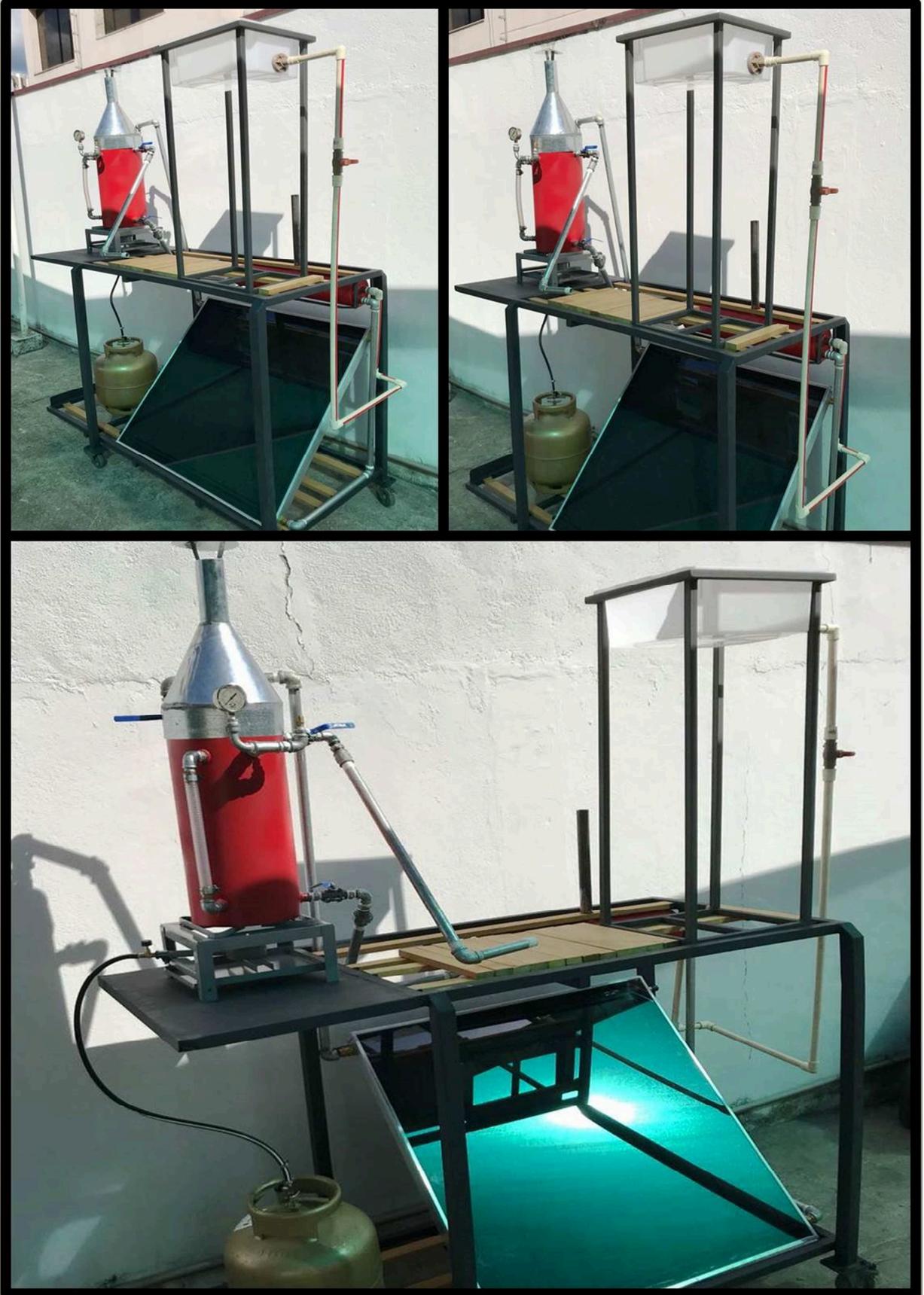
APÊNDICE D – Desenho técnico dos trocadores de calor



**APÊNDICE E – Desenho técnico do trocador de calor central**



## APÊNDICE F – Demais imagens do projeto completo



## ANEXO A – Orçamento realizado



PROPOSTA 021072017SP  
Pindamonhangaba-SP 24/07/2017



Temos o prazer de apresentar a proposta de fornecimento de uma CALDEIRA nova geradora de vapor, 1 passagens de gases com bustos, com capacidade de produção de 30 Kg/h - combustível Gás - água de alimentação a 26º Celsius. Tensão de 220 trifásicos ou monofásica.

**PROPOSTA TÉCNICA**  
**DADOS TÉCNICOS DO PROJETO**  
**MODELO CVS-VG 30 kg/h**  
**Produção nominal de vapor: 30 Kg/h**  
**PMTA: 7 Kgf/cm<sup>2</sup>**  
**Pressão de teste hidrostático: 10,5 Kgf/cm<sup>2</sup>**  
**Temperatura do vapor saturado: 170 °C**

### CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

Modelo "CVS-VG 30" cilíndrica, compacta, vertical com 01 passagem de gases com bustos (fogo), fornalha cilíndrica toda circundada por água, fabricados em chapa de aço ASTM-A-285 C e tubos em aço ASTM-A-178, com a apresentação do prontuário e teste hidrostático 50% acima da PMTP e teste de fogo, para regulagem das válvulas de segurança, tampa de visita para interior, queimador atmosférico.

### CARACTERÍSTICAS COMBUSTÍVEL E CALCULO CONSUMO

Combustível	consumo
GLP	2.060 kg/h
G.Nat	2.411 Nm <sup>3</sup> /h

Parâmetros GLP 11000 kcal/kg / Gás natural 9400 kcal/kg  
Potencia térmica kcal/hora 19.260

### BOMBA D'ÁGUA

- Vazão 2,7m<sup>3</sup>/h;
- Para pressão de 70 mca;
- Rotor de bronze e selo mecânico de viton;
- Bomba motor 1 CV 220 v;

## ANEXO A – Orçamento realizado



### **VÁLVULAS DE SEGURANÇA**

- 01 válvula Ø1/2 atuada por mola e com alavanca;

### **VÁLVULAS GLOBO PARA SAÍDA DE VAPOR**

- 01 saída de vapor Ø1/2;

### **VÁLVULAS ESFÉRICAS**

- Modelo tripartida;
- Vedação de teflon;
- Pressão de trabalho para 150 psi;

### **VISOR DE NÍVEL**

- Visor de nível com tubo de vidro;
- Garrafa de nível;
- Pressão de trabalho para 150 psi;
- Válvula de nível com bloqueio tipo agulha, para alta pressão;
- Válvula esférica tripartida para dreno;

### **MANÔMETROS**

- Quantidade: 01 (uma) unidade;

### **VÁLVULAS DE RETENÇÃO PARA ALIMENTAÇÃO DE ÁGUA**

- 02 modelos horizontal pressão trabalho 150 psi;

### **CHAMINÉ**

- Material em aço carbono SAE-1020;
- Espessura de chapa de 1/8;
- Altura da chaminé de 0,5 metros;

### **CONEXÕES**

- Todas as conexões são para pressão mínima de 150 psi;

### **DESCARGA DE FUNDO**

- 01 Válvula esférica Ø 3/4

## ANEXO A – Orçamento realizado



### COMANDO ELÉTRICO

Painel de comando completo;

**CONDIÇÕES FINANCEIRAS E DE FORNECIMENTO PREÇO**  
**TOTAL (FOT) NA FÁBRICA**

QTD	Caldeira - Capacidade de Produção	Combustível
01	30 kg/h	Gás
	Preço	R\$ 21.600,00

### FORMA DE PAGAMENTO

Na confirmação do pedido R\$ 9.000,00 (Nove mil reais).

O restante em três parcelas 30, 60 e 90 dias.

*	Entrada	R\$ 9.000,00	(Nove mil reais)
1	Parcela	R\$ 4.200,00	(Quatro mil e duzentos reais)
2	Parcela	R\$ 4.200,00	(Quatro mil e duzentos reais)
3	Parcela	R\$ 4.200,00	(Quatro mil e duzentos reais)
	<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 21.600,00</b>	<b>(Vinte e um mil e seiscentos reais)</b>

### PRAZO PARA TÉRMINO DA FABRICAÇÃO

30 dias úteis a partir da confirmação do pedido;

### GARANTIAS

A partir da data da entrega do equipamento ou 12 meses do início da operação, o que ocorrer primeiro. A garantia fornecida pela

### TRANSPORTE

Transporte por conta da empresa Compradora.



## ANEXOS B – Comprovantes de materiais comprados

ARBO - CASA DAS MANGUEIRAS  
 Av. Juca Esteves, 507 - Centro / Taubaté-SP | CEP: 12.080-330  
 Fone: (12) 3633 - 1817 | Fax (12) 3621 - 9592/whatsapp (12)99167-0604  
 E-mail: vendas@arbocasadasmangueiras.com

**ARBO**  
 Casa Das Mangueiras

Página 1  
 06/09/2017 - 12:38:37

069175  
 Via 1 de 1

Quantidade	UN	Código	Descrição	Valor Unitário	Valor Total
1,00	PC	0000000004734	GALV. NIPLE RED. 3/4 X 1/2 I		
1,00	PC	0000000003377	GALV. TE 1/2 I 1113012M CG130C		
1,00	PC	0000000001948	GALV. CURVA MF 1/2 I 11112M		
2,00	PC	0000000003361	GALV. BUCHA DE REDUCAO 1/2 X 1/4I 112411214M		
7,00	PC	0000000003355	GALV. NIPLE 1/2 I 1128012M CG280C		
5,00	PC	0000000003383	GALV. COTOVELO 1/2 I 119012M CG90C		
1,00	PC	0000000003391	GALV. LUVA 3/4 I 1127034M CG270D		
1,00	PC	0000000008919	MANOMETRO C/ GLICERINA 0-14KG 210PSI 1/4 -63MM		
1,00	PC	0000000000486	VALVULA DE SEGURANCA 120LBS ARC-125BP 990		
4,00	PC	0000000003390	GALV. LUVA 1/2 I		
2,00	PC	00000000010172	VALVULA ESFERA TP 1/2 AC PR WCB BSP 300L TSUPER		
0,80	MT	0000000006399	MANGUEIRA P/ SUCCAO E DESC ATOXICA 3/4 25/50M 110L		
2,00	PC	0000000000170	ESPIGAO FIXO 1/2 X 3/4 LATAO BSPT LUB-26E-L CE15		
2,00	PC	0000000005098	ABRACADEIRA COMUM-FAB1927 14MM 19-27MM		

Total

Operador : victor

Vendedor : victor hugo

Orçamento nº 121919

ARBO - CASA DAS MANGUEIRAS  
 Av. Juca Esteves, 507 - Centro / Taubaté-SP | CEP: 12.080-330  
 Fone: (12) 3633 - 1817 | Fax (12) 3621 - 9592/whatsapp (12)99167-0604  
 E-mail: vendas@arbocasadasmangueiras.com

**ARBO**  
 Casa Das Mangueiras

Página 1  
 08/11/2017 - 10:37:37

072911  
 Via 1 de 1

Quantidade	UN	Código	Descrição	Valor Unitário	Valor Total
1,00	PC	0000000003395	GALV. UNIAO 3/4 I 1134034M		
2,00	PC	0000000003685	GALV. COTOVELO 3/4 I REMADI-CG90D		
1,00	PC	0000000003356	GALV. NIPLE 3/4 I 1128034M CG280D		

Dinheiro

Total

TROCO

Operador : victor

Vendedor : luana

\* OBS: \*Não realizamos estorno de dinheiro, somente trocamos a mercadoria.

\*\* não trocamos mangueiras, não insista





## ANEXOS B – Comprovantes de materiais comprados

RECEBEMOS DE TEMPERSOL INDUSTRIA E COMERCIO DE AQUECEDORES LTDA OS PRODUTOS CONSTANTES DA NOTA FISCAL INDICADA AO LADO		NF-e N. 000014171 SÉRIE 1																												
DATA DE RECEBIMENTO	IDENTIFICAÇÃO E ASSINATURA DO RECEBEDOR																													
 <b>TEMPERSOL</b> <small>AQUECEDOR SOLAR DESDE 1978</small> <b>TEMPERSOL IND. E COM. DE AQUECEDORES LTDA EPP</b> Rua Dois, 581 - Quinta das Frutas São Gonçalo - Taubaté- SP CEP: 12092-525 Fone: (12) 3681-1044 www.tempersol.com.br	<b>DANFE</b> DOCUMENTO AUXILIAR DA NOTA FISCAL ELETRÔNICA 0-ENTRADA 1-SAÍDA	 <b>CHAVE DE ACESSO DA NF-E</b> 3517 1106 2844 7700 0122 5500 1000 0141 7110 0375 8870  Consulta de autenticidade no portal nacional da NF-e www.nfe.fazenda.gov.br/portal ou no site da SEFAZ Autorizada																												
	N. 000014171 SÉRIE 1 FOLHA 01/01																													
NATUREZA DA OPERAÇÃO VENDA PROD ENTREGA F		PROTOCOLO DE AUTORIZAÇÃO DE USO 135170713775533 03/11/2017 16:31:08-02:00																												
INSCRIÇÃO ESTADUAL 688151895112	INSC. ESTADUAL DO SUBST. TRIB.	CNPJ 06.284.477/0001-22																												
DESTINATÁRIO/REMETENTE		DATA DE EMISSÃO																												
NOME/RAZÃO SOCIAL TULIO SIGNORINI COSTA		03/11/2017																												
ENDEREÇO		DATA ENTRADA/SAÍDA																												
BAIRRO/DISTRITO		03/11/2017																												
MUNICÍPIO		HORA ENTRADA/SAÍDA																												
TAUBATE		16:30:00																												
FONE/FAX																														
UF SP																														
INSCRIÇÃO ESTADUAL																														
<b>CALCULO DO IMPOSTO</b>																														
BASE DE CALCULO DO ICMS 0,00	VALOR DO ICMS 0,00	BASE DE CALCULO DO ICMS SUBSTITUIÇÃO 0,00																												
VALOR DO ICMS SUBSTITUIÇÃO 0,00	VALOR TOTAL DOS PRODUTOS																													
VALOR DO FRETE 0,00	VALOR DO SEGURO 0,00	DESCONTO 0,00																												
OUTRAS DESPESAS ACESSÓRIAS 0,00	VALOR DO IPI 0,00	VALOR TOTAL DA NOTA																												
TRANSPORTADOR/VOLUMES TRANSPORTADOS																														
RAZÃO SOCIAL TEMPERSOL INDUSTRIA E COMERCIO DE AQUECEDOR LTDA EPP	FRETE POR CONTA 0-EMITENTE	CÓDIGO ANTT																												
PLACA DO VEÍCULO	UF	CNPJ/CPF 06.284.477/0001-22																												
ENDEREÇO RUA DOIS, 581	MUNICÍPIO TAUBATE	UF SP																												
INSCRIÇÃO ESTADUAL 688151895112																														
QUANTIDADE	ESPECIE	MARCA																												
NUMERAÇÃO	PESO BRUTO	PESO LÍQUIDO																												
DADOS DO PRODUTO / SERVIÇO																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <thead> <tr> <th>CD. PROD</th> <th>DESCRIÇÃO DO PROD./SERV.</th> <th>NCM/SH</th> <th>CST</th> <th>CFOP</th> <th>UN</th> <th>QUANT.</th> <th>V.UNITARIO</th> <th>V.TOTAL</th> <th>BC.ICMS</th> <th>V.ICMS</th> <th>V.IPI</th> <th>A.ICMS</th> <th>A.IP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>000240040001</td> <td>SIST.AQ.SOLAR COLETOR VERTICAL 1,00X1,00</td> <td>84191910</td> <td>040</td> <td>5116</td> <td>UN</td> <td>1,00</td> <td></td> <td></td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00%</td> <td>0,00</td> </tr> </tbody> </table>	CD. PROD	DESCRIÇÃO DO PROD./SERV.	NCM/SH	CST	CFOP	UN	QUANT.	V.UNITARIO	V.TOTAL	BC.ICMS	V.ICMS	V.IPI	A.ICMS	A.IP	000240040001	SIST.AQ.SOLAR COLETOR VERTICAL 1,00X1,00	84191910	040	5116	UN	1,00			0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00		
CD. PROD	DESCRIÇÃO DO PROD./SERV.	NCM/SH	CST	CFOP	UN	QUANT.	V.UNITARIO	V.TOTAL	BC.ICMS	V.ICMS	V.IPI	A.ICMS	A.IP																	
000240040001	SIST.AQ.SOLAR COLETOR VERTICAL 1,00X1,00	84191910	040	5116	UN	1,00			0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00																	
<b>CALCULO DO ISSQN</b>																														
INSCRIÇÃO MUNICIPAL	VALOR TOTAL DOS SERVIÇOS	BASE DE CALCULO DO ISSQN																												
		VALOR DO ISSQN																												
DADOS ADICIONAIS																														
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES Protocolo: 135170713775533 Isenção do ICMS Conf. Art. 30, do Anexo I do RICMS/00 SP. IPI Tributada Aliquota Zero Conforme Decreto n. 6.906, de 28 de dezembro de 2006 DOU de 08/01/2007 PEDIDO: 000433 XML ENVIADO PARA O E-MAIL: TULIO SIG@HOTMAIL.COM		RESERVADO AO FISCO																												

**ANEXOS B – Comprovantes de materiais comprados**

MADEIREIRA GUIMARAES - (12) 3621-6688 Orc (J) 17049815 DtEmiss:06/11/2017 3

Cliente : 21509-TULIO SIGNORINI COSTA DtValidade: 06/11/2017  
 Endereco : RUA ENGENHEIRO URBANO ALVES DE SOUZA PEREIRA, 181 - JARDIM SANTA CLAR A - TAUBATE  
 C.P.F. : 436.875.948-66 R.G.: \_\_\_\_\_ Tel.: 12 3629-5575 12 99100-0687  
 Vendedor : ADMINISTRADOR CEP: 12080-231 TipEntrega: ENTREGA Frete: DESTINATARIO

LJ	CODIGO	QUANT.	UN	DESCRICAO	PR.UNIT	VR.VEND	TOTAL
1	002118	4,000	PC	SARRAFO GARAPEIRA 5 -			

*Deixar todos os números*  
*Cartas 4 pg 1,16 cmgrs.*  
*4 pg 1,69 cmgrs.*

**PAGO**  
 VEM RETIRAR  
 DATA: 07/11/17  
 HORA: 12:00

*Avista*

Desconto R\$ 0,00

MADEIREIRA GUIMARAES - (12) 3621-6688 Orc (A) 17049880 DtEmiss:07/11/2017

Cliente : 99999-\*\*\*\*\* CONSUMIDOR \*\*\*\*\* DtValidade: 07/11/2017  
 Vendedor : ADMINISTRADOR

LJ	CODIGO	QUANT.	UN	DESCRICAO	PR.UNIT	VR.VEND	TOTAL
1	002105	4,000	PC	SARRAFO GARAPEIRA 5 - 1,0			
1	002118	1,000	PC	SARRAFO GARAPEIRA 5 - 3,0			
1	002646	0,100	KG	PREGO 15X18 COM CABEÇA			

**PAGO**

Desconto R\$ 0,00



**ANEXOS B – Comprovantes de materiais comprados**

<b>RECIBO</b>	Nº	VALOR	<input type="text"/>
Recebi (emos) de	Tulio Costa		
a quantia de	<input type="text"/>		
Correspondente a	Reparo em carrinho c/4 no dia		
e para clareza firmo (amos) o presente.	01 de Novembro de 2017		
Assinatura			
Nome	ANDERSON SILVA	CPF / RG	23.739.483-2
Endereço			

SÃO DOMINGOS

<b>RECIBO</b>	Nº	VALOR	<input type="text"/>
Recebi (emos) de	Tulio Costa		
a quantia de	<input type="text"/>		
Correspondente a	SUPPORTE PARA CAIXA D'AGUA		
e para clareza firmo (amos) o presente.	09 de Novembro de 2017		
Assinatura			
Nome		CPF / RG	
Endereço			

SÃO DOMINGOS

	<b>CHIBRAS</b> CALHAS E RUFOS	<b>CHIBRAS COMÉRCIO DE CALHAS DE TAUBATÉ LTDA. - ME</b> CNPJ 02.784.488/0001-10 - Inscr. Estadual 688.145.760.113 ☎ (12) 3621-3763 / 3622-4432
	Av. Willy Conrado Bohlen, 215 - Pq. Aeroporto - CEP 12051-381 - Taubaté - SP - e-mail: chibrascalhas@hotmail.com	

<b>RECIBO</b>	R\$	<input type="text"/>
Recebemos do Sr.(a)	Silvio	
a importância supra de R\$	<input type="text"/>	
	), referente fabricacao de	
	Junie	
	Taubaté, 20 de Setembro de 2017	
	neanimo	

**ANEXOS B – Comprovantes de materiais comprados**

DEPOSITO CARDOSO COMERCIAL LTDA  
RUA BAHIA, 698, VILA SAO GERALDO,  
TAUBATE, SP

CNPJ 05.412.096/0001-19 IE 038234499113 IM

**Extrato No.027574**  
**CUPOM FISCAL ELETRÔNICO - SAT**

CPF/CNPJ do Consumidor: 150 129 298-61

#	COD	DESC	QTD	UN	VL UN R\$	VL TR R\$	VL ITEM R\$
001	6482	CPVC TUBO 22MM X 3M	1,0000	UN	X		
002	6473	CPVC JOELHO 22MM X 90	3,0000	UN	X		
003	6471	CPVC JOELHO 22MM X 3/4	1,0000	UN	X		
004	10714	TUBO GALV 3/4 METRO 2,25					
		NBR5580L 2,0000 MT X					
005	13103	PEX AGUA CONECTOR M 22X3/4 COL					
		SOLAR EMT 2,0000 UN X					
006	1107	ABRACADEIRA RSF 3/4X1	2,0000	UN	X		
007	8080	CPVC COLA 175 GR	1,0000	UN	X		

Total bruto de itens

**TOTAL RS**  
Outros  
Troco RS

02.03.04.03 - Consulte o QRCode deste extrato através do App DeOlhoNaNota

**DADOS PARA ENTREGA**

Endereço: RUA BAHIA 698, VILA SAO GERALDO, TAUBATE  
Destinatário: CONSUMIDOR FINAL

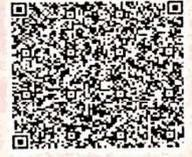
Destinatário: CONSUMIDOR FINAL

**OBSERVAÇÕES DO CONTRIBUINTE**  
Tributos Totais Incidentes (Lei Federal 12.741 /2012) :Tributos Municipal R\$ 0,00 ,Tributos Federal R\$ 23,70 ,Tributos Estadual R\$ 0,00

\*Valor aproximado dos tributos do item  
Valor aproximado dos tributos deste cupom(conforme Lei Fed.12.741/2012)R\$

SAT No. 000.018.560  
07/11/2017 - 12:14:33

3517 1105 4120 9600 0119 5900 0018 5600 2757 4098 7484

DEPOSITO CARDOSO COMERCIAL LTDA  
RUA BAHIA, 698, VILA SAO GERALDO,  
TAUBATE, SP

CNPJ 05.412.096/0001-19 IE 038234499113 IM

**Extrato No.027245**  
**CUPOM FISCAL ELETRÔNICO - SAT**

CPF/CNPJ do Consumidor:

#	COD	DESC	QTD	UN	VL UN R\$	VL TR R\$	VL ITEM R\$
001	323	AMANCO AGUA FLANGE 25MM AA					
		BOIA 1,0000 UN X					

Total bruto de itens

**TOTAL RS**  
Dinheiro  
Troco RS

02.03.04.03 - Consulte o QRCode deste extrato através do App DeOlhoNaNota

**DADOS PARA ENTREGA**

Endereço: RUA BAHIA 698, VILA SAO GERALDO, TAUBATE  
Destinatário: CONSUMIDOR FINAL

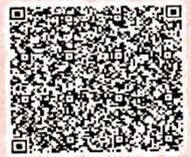
Destinatário: CONSUMIDOR FINAL

**OBSERVAÇÕES DO CONTRIBUINTE**  
Tributos Totais Incidentes (Lei Federal 12.741 /2012) :Tributos Municipal R\$ 0,00 ,Tributos Federal R\$ 0,41 ,Tributos Estadual R\$ 0,00 - Vendedor: 91 - RAFAEL BATISTA DA SILVA OLIVEIRA - Cliente: 1 - CONSUMIDOR FINAL - CPF/CNPJ: 111.111.111-11 - End.: RUA BAHIA, Bairro: VILA SAO GERALDO - Munic.: TAUBATE

\*Valor aproximado dos tributos do item  
Valor aproximado dos tributos deste cupom(conforme Lei Fed.12.741/2012)R\$

SAT No. 000.018.560  
01/11/2017 - 13:58:23

3517 1105 4120 9600 0119 5900 0018 5600 2724 5805 5770

## ANEXOS B – Comprovantes de materiais comprados

		<b>Identificação do Emitente</b> DEPOSITO CARDOSO COM LTA RUA BAHIA - 698 - VL S GERALDO - TAUBATE - SP - 12062-100 Telefone: (12)3621-2274 Fax: (12)3621-2274 E-mail: financeiro2@depos.tocardoso.com.br		<b>DANF-e</b> Documento Auxiliar da Nota Fiscal									
		0 - ENTRADA 1 - SAÍDA Nº 258382 SÉRIE 2		<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</span>		CHAVE DE ACESSO 3517 1105 4120 9800 0119 5500 2000 2563 8211 1100 7110							
NATUREZA DE OPERAÇÃO <b>VENDE DE MERCADORIA</b>		INSC. EST. DO SUBST. TRIBUTARIO 688234499118		CNPJ 05.412.096/0001-19		Protocolo de Autorização (Data e Hora) 135170720938252 07/11/2017 15:02:21							
DESTINATÁRIO/REMETENTE NOME/RAZÃO SOCIAL [REDACTED]		CNPJ/CPF [REDACTED]		DATA DA EMISSÃO 07/11/2017									
ENDEREÇO Nº [REDACTED] COMPLEMENTO [REDACTED] BAIRRO/DISTRITO [REDACTED]		UF SP		INSCRIÇÃO ESTADUAL [REDACTED]		DATA DA ENTRADA/SAÍDA 07/11/2017							
CIDADE TAUBATE		Telefone/Fax [REDACTED]		UF SP		HORA DE SAÍDA 15:02							
FATURA													
CÁLCULO DO IMPOSTO													
BASE DE CÁLCULO DO ICMS [REDACTED]		VALOR DO ICMS [REDACTED]		BASE DE CÁLCULO DO ICMS ST 0,00		VALOR DO ICMS SUBSTITUIÇÃO 0,00							
VALOR DO FRETE 0,00		VALOR DO SEGURO R\$ 0,00		VALOR DO DESCONTO 0,00		VALOR TOTAL DOS PRODUTOS [REDACTED]							
OUTRAS DESPESAS ACESSÓRIAS 0,00		VALOR DO IPI 0,00		VALOR TOTAL DA NOTA [REDACTED]									
TRANSPORTADOR/VOLUMES TRANSPORTADOS													
RAZÃO SOCIAL OUTROS FORNECEDORES		FRETE POR CONTA 0		CÓDIGO ANTT [REDACTED]		PLACA DO VEÍCULO [REDACTED]							
UF SP		MUNICÍPIO [REDACTED]		INSCRIÇÃO ESTADUAL [REDACTED]									
QUANTIDADE 1		ESPECIE [REDACTED]		MARCA [REDACTED]		PESO BRUTO 3,50							
						PESO LÍQUIDO 0,17							
DADOS DO PRODUTO/SERVIÇOS													
Codigo	DESCRIÇÃO DO PRODUTO/SERVIÇO	NCM/SH	CST	CFOP	UND	QTD	V. UN.	V. TOTAL	BC. ICMS	V. ICMS	V. IPT	ACIQ. ICMS	ALIQ. IPT
507	GALV NÍPEL 3/4 IMP	73071990	060	5405	UN	3	[REDACTED]	[REDACTED]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1032	GALV JOELHO 3/4X90 IMP	73071990	060	5405	UN	3	[REDACTED]	[REDACTED]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6513	CPVC LUVA 22MM X 25MM MARROM	39174090	360	5405	UN	1	[REDACTED]	[REDACTED]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10714	TUBO GALV 3/4 (METRO) 2 25 NBR5580L	73063000	000	5102	MT	1	[REDACTED]	[REDACTED]	53,05	9,55	0,00	18,00	0,00
CÁLCULO DO ISSQN													
INSCRIÇÃO MUNICIPAL [REDACTED]		VALOR TOTAL DOS SERVIÇOS [REDACTED]		BASE DE CÁLCULO DE ISSQN [REDACTED]		VALOR DO ISSQN [REDACTED]							
DADOS ADICIONAIS													
[REDACTED]				RESERVAÇÃO AO FISCO									
[REDACTED]				[REDACTED]									

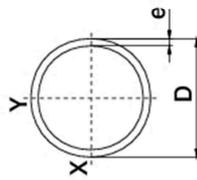
**PAGO**  
 07/11/17

## ANEXO C – Tabela de normas

Norma	Processo de Fabricação	Finalidade Principal	Norma Similar
ASTM	A53 COM OU SEM SOLDADA	Condução de fluidos, com requisitos de qualidade	NBR 5590
	A106 SEM SOLDADA	Condução de fluidos em altas temperaturas e alta pressão	NBR 6321
	A128 COM SOLDADA	Condução de fluidos (uso comum)	NBR 5885
	A134 COM SOLDADA	Tubos para baixa pressão	
	A135 COM SOLDADA	Condução de fluidos	
	A139 COM SOLDADA	Tubos para condução de líquido, gás ou vapor	
	A161 SEM SOLDADA	Serviços em refinaria	NBR 5581
	A178 COM SOLDADA	Caldeiras	NBR 5595
	A179 SEM SOLDADA	Condensadores e trocadores de calor	NBR 5583
	A192 SEM SOLDADA	Caldeiras e superaquecedores de alta pressão	NBR 5534
	A199 SEM SOLDADA	Condensadores e trocadores de calor	NBR 5584
	A200 SEM SOLDADA	Serviços em refinaria	NBR 5582
	A209 SEM SOLDADA	Caldeiras e superaquecedores	NBR 5593
	A210 SEM SOLDADA	Caldeiras e superaquecedores	NBR 5592
	A213 SEM SOLDADA	Caldeiras, superaquecedores e trocadores de calor	
	A214 COM SOLDADA	Condensadores e trocadores de calor	NBR 5585
	A226 COM SOLDADA	Caldeiras e superaquecedores de alta pressão	NBR 5596
	A252 COM OU SEM SOLDADA	Tubos para estacas	
	A333 COM OU SEM SOLDADA	Serviços em baixas temperaturas	NBR 5602
	A334 COM OU SEM SOLDADA	Serviços em baixas temperaturas	NBR 5605
A335 SEM SOLDADA	Serviços em altas temperaturas	NBR 5603	
A405 SEM SOLDADA	Serviços em altas temperaturas		
A423 COM OU SEM SOLDADA	Trabalhos sob pressão, com maior resistência à corrosão		
A500 COM OU SEM SOLDADA	Estruturas metálicas		
A501 SEM SOLDADA	Estruturas metálicas		
A513 COM SOLDADA	Fins mecânicos		
A519 SEM SOLDADA	Fins mecânicos		
A523 COM OU SEM SOLDADA	Condução de cabos elétricos		
A524 SEM SOLDADA	Temperaturas atmosféricas e abaixo		
A556 SEM SOLDADA	Aquecedores de água de alimentação		
A557 COM SOLDADA	Aquecedores de água de alimentação		
A589 COM OU SEM SOLDADA	Poços artesanais		
5CT COM OU SEM SOLDADA	Poços petrolíferos (revestimento/bombeamento - "CASING/TUBING")		
5D SEM SOLDADA	Poços petrolíferos (perfuração = "DRILL PIPE")		
5L COM OU SEM SOLDADA	Condução de produtos petrolíferos = ("LINE PIPE")		
2B COM SOLDADA	Tubos estruturais		
<b>API</b>			

## ANEXO D – Tabela de medidas

API 5CT	D Bitola (mm) - Pol		219,10 - Ø 8.5/8"										244,48 - Ø 9.5/8"										
	Matriz de Origem		219,10 mm					244,48 mm					219,10 mm					244,48 mm					
			e		p*		p		Graus		e		p*		p		Graus						
		mm	pol	kg/m	lb/ft	kg/m	lb/ft	kg/m	lb/ft		mm	pol	kg/m	lb/ft	kg/m	lb/ft	kg/m	lb/ft					
e = espessura		6,71	0,264	35,72	24,00	35,15	23,63			J55,K55	7,92	0,312	48,07	32,30	46,20	31,07			H40				
p = peso teórico		7,72	0,304	41,67	28,00	40,24	27,06			H40	8,94	0,352	53,57	36,00	51,93	34,92			H40,J55,K55				
		8,94	0,352	47,62	32,00	46,33	31,16			H40,J55,K55	10,03	0,395	59,53	40,00	57,99	39,00			J55,K55,N80 Tipo 1				
		10,16	0,400	53,57	36,00	52,35	35,20			J55,K55,N80 Tipo 1	11,05	0,435	64,73	43,50	63,61	42,78			N80 Tipo 1				
		11,43	0,450	59,53	40,00	58,54	39,36			N80 Tipo 1	11,99	0,472	69,94	47,00	68,75	46,23			N80 Tipo 1				
		12,70	0,500	65,48	44,00	64,64	43,47			N80 Tipo 1	13,84	0,545	79,62	53,50	78,72	52,94			N80 Tipo 1				
		14,15	0,557	72,92	49,00	71,52	48,09			N80 Tipo 1	-	-	-	-	-	-			-				
		D Bitola (mm) - Pol		273,10 - Ø 10.3/4"										339,70 - Ø 13.3/8"									
Matriz de Origem		273,10 mm					339,70 mm					273,10 mm					339,70 mm						
		e		p*		p		Graus		e		p*		p		Graus							
		mm	pol	kg/m	lb/ft	kg/m	lb/ft	kg/m	lb/ft		mm	pol	kg/m	lb/ft	kg/m	lb/ft	kg/m	lb/ft					
e = espessura		7,09	0,279	48,74	32,75	46,49	31,27			H40	8,38	0,330	71,43	48,00	68,47	46,04			H40				
p = peso teórico		8,89	0,350	60,27	40,50	57,90	38,94			H40,J55,K55	9,65	0,380	81,10	54,50	78,55	52,82			J55,K55				
		10,16	0,400	67,71	45,50	65,86	44,29			J55,K55	10,92	0,430	90,78	61,00	88,54	59,54			J55,K55				
		11,43	0,450	75,90	51,00	73,73	49,58			J55,K55,N80 Tipo 1	12,19	0,480	101,19	68,00	98,46	66,21			J55,K55,N80 Tipo 1				
		12,57	0,485	82,59	55,50	80,73	54,29			N80 Tipo 1	13,06	0,514	107,15	72,00	105,20	70,74			N80 Tipo 1				
		-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-	-	-			-				
		-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-	-	-			-				
		-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-	-	-			-				



# ANEXO E – Tabela de especificações

**YANGZHOU LONTRIN STEEL TUBE CO., LTD.**  
**揚州市鋼管有限公司**



Page 1/1  
 YANGZHOU LONTRIN STEEL TUBE CO., LTD.  
 Xingang Road, Daqiao Town, Jiangdu City,  
 Jiangsu Province 225211, China (PR)  
 Phone: +86 514 86 43 01 11

## MILL TEST CERTIFICATE

CUSTOMER	ZHEJIANG MATERIALS INDUSTRY INTERNATIONAL CO., LTD		CERTIFICATE NO.	03454-02		MAKING METHOD	HOT-ROLLED																
PURCHASER	ZHEJIANG MATERIALS INDUSTRY INTERNATIONAL CO., LTD		L/C NO.			DELIVERY CONDITION	AS-ROLLED																
PRODUCT	SEAMLESS CARBON STEEL PIPES		CONTRACT NO.	HY13431132		HEAT TREATMENT																	
SPECIFICATION	ASTM A106 / API 5L PSL1		GRADE	B		DATE OF ISSUE	2011-4-15																
O.D.	273.10 mm	W.T.	12.70 mm	LENGTH	12.000mm	TOTAL METERS	360	TOTAL WEIGHT (TONS)	29.322														
	CHEMICAL COMPOSITION %								( )														
NO.	WORK NO.	HEAT NO.	PCS	Non-Metallic Inclusions (Grade)																			
				*1	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B	Nb	Ti	Bi	As	A	B	C	D
1	1050642	1678	30	Max	0.28	-	1.06	0.030	0.40	0.40	0.15	0.08											
				Min	-	0.10	0.29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NO.	TENSILE TEST	GAUGE LENGTH (50.8mm)	Y.S.	*4	MPa	E.L.	A %	IMPACT TEST			HARDNESS TEST	HYDROSTATIC TEST	E.T.	U.T.	MICROSTRUCTURE	GRAIN SIZE							
								Av (J)	TEMPERATURE OF TEST	10x10x55 (20°C)							1	2	3	AVG	18.4 MPa	GOOD	GOOD
1	L	485/495	315/325	GOOD	FLATTENING TEST	GOOD	BENDING TEST	EXPAND TEST			METALLOGRAPHIC EXAMINATION												
								26/26.5	25	26	26.5	---	---	---	---	---	---	---					
VISUAL & DIMENSION *1, H : HEAT (LADLE) ANALYSIS ; P : PRODUCT ANALYSIS. *2, SIZE : STRIP*25.4 mm. *3, ORIENTATION : L= LONGITUDINAL. *4, SY=0.2%OFFSET. WE HEREBY CONFIRM THAT OUR PRODUCTS ARE MADE WITH MATERIALS WHICH ARE FREE FROM RADIATION CONTAMINATION																							
SURVEYOR WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIALS DESCRIBED HEREIN HAVE BEEN MANUFACTURED, SAMPLED, TESTED AND INSPECTED IN ACCORDANCE WITH THE CUSTOMER'S SPECIFICATION (S) , AND THAT THEY SATISFY THE REQUIREMENTS.																							
INSPECTOR										TESTER			CHIEF		FACTORY								
STAMPER: YANGZHOU LONTRIN STEEL TUBE CO., LTD.																							