

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS – MG

ENGENHARIA MECÂNICA

LUIS FELIPE REIS BELLO

**INTRODUÇÃO DE CALDEIRA DE BIOMASSA EM UMA FÁBRICA DO RAMO DE
NUTRIÇÃO ANIMAL UTILIZANDO CAVACO DE EUCALIPTO COMO
COMBUSTÍVEL**

**Varginha - MG
2018**

LUIS FELIPE REIS BELLO

**INTRODUÇÃO DE CALDEIRA DE BIOMASSA EM UMA FÁBRICA DO RAMO DE
NUTRIÇÃO ANIMAL UTILIZANDO CAVACO DE EUCALIPTO COMO
COMBUSTÍVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico, sob a orientação do Prof. Luiz Carlos Vieira Guedes.

**Varginha - MG
2018**

LUIS FELIPE REIS BELLO

**INTRODUÇÃO DE CALDEIRA DE BIOMASSA EM UMA FÁBRICA DO RAMO DE
NUTRIÇÃO ANIMAL UTILIZANDO CAVACO DE EUCALIPTO COMO
COMBUSTÍVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia Mecânica
do Centro Universitário do Sul de Minas –
UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção
do grau de Engenheiro Mecânico pela banca
Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof.º.

Prof.º.

Prof.º.

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por ter me dado sabedoria e competência para fazê-lo. Depois, dedico este trabalho à minha família, pela compreensão e ajuda durante todo o período deste curso.

Agradeço à minha namorada, por todo o apoio. Agradeço aos professores, que se empenharam ao máximo para transmitir todo o conhecimento possível para a minha formação.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

Marthin Luther King

RESUMO

O progressivo aumento no preço do petróleo e seus derivados, os créditos de carbonos, a preocupação com o meio ambiente adeptos ao déficit de precipitação de água de chuva e falta de recursos hídricos que o Brasil sofreu no ano de 2014 promoveu uma migração da participação das fontes de energia na matriz energética brasileira. O presente trabalho tem como objetivo o estudo do uso do cavaco de madeira como uma biomassa alternativa para a queima, numa caldeira flamotubular em uma fábrica que necessita do vapor como força motriz para o funcionamento de seus equipamentos e diversas operações, como as de limpeza de tubulações, buscando a otimização do custo de produção do vapor, analisou-se, economicamente, através de simulações, a substituição da caldeira antiga que utilizava Gás como combustível pela caldeira de biomassa. Apontando o projeto de introdução como um todo, o referencial traz uma introdução sobre caldeiras, combustíveis e aplicação, logo após é introduzido a proposta de necessidade e o projeto da caldeira, seus componentes, todos os cuidados ao armazenar a biomassa e sua viabilidade, tendo como base inicial dos estudos o aumento do custo de aquisição do Gás, preocupação com a preservação do meio ambiente e redução de custos. Utilizou-se, para o estudo, a caldeira de uma fabricante de ração animal localizada na cidade de Três Corações, interior do estado de Minas Gerais, que atualmente emprega como combustível o cavaco de eucalipto para gerar o vapor de água, que é utilizado na produção da ração. Após a introdução da caldeira, o projeto cumpriu com o seu intuito, os resultados foram favoráveis e a otimização dos custos é eminente.

Palavras-chave: Caldeira. Biomassa. Geração. Projeto.

ABSTRACT

The progressive increase in the price of oil and its derivatives, the carbon credits, the concern with the environment the precipitation deficit supporters of rain water and lack of water resources that the Brazil suffered in the year 2014 promoted a migration of participation of energy sources in the brazilian energy matrix. The present work aims at the study of the use of wood chips as an alternative to burning biomass in a firetube boiler in a factory that needs the steam as a driving force for the functioning of its equipment and various operations, as the pipe cleaner, seeking the optimization of the cost of production of the steam, it was examined whether, economically, through simulations, replacing the old boiler using Gas as fuel for biomass boiler. Pointing the introduction project as a whole, the benchmark brings an introduction about boilers, fuel and immediately after application is introduced the proposal of necessity and the boiler project, its components, all care when storing biomass and your viability, based on studies of the increase in the cost of gas, concern with preserving the environment and reducing costs. It was used for the study, the boiler of a pet food manufacturer located in the Três Corações, interior of the State of Minas Gerais, which currently employs as fuel the eucalyptus chips to generate steam, which is used in the production of feed. After the introduction of the boiler, the project complied with your order, the results were favorable and the optimization of costs is paramount.

Keywords: boiler. Biomass. LNG. Generation. Project.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Ilustrativo da caldeira	11
Figura 02 – Caldeira da Fazenda Suissa em 1925	12
Figura 03 – Caldeira Flamotubular.....	13
Figura 04 – Caldeira Aquatubular	14
Figura 05 – Biomassa X Gás	17
Figura 06 – Consumidores de vapor.....	18
Figura 07 – Desenho da caldeira estudada	18
Figura 08 – Configuração da caldeira.....	19
Figura 09 – Componente: Tambor de vapor.....	20
Figura 10 – Componente: Fornalha	21
Figura 11 – Componente: Grelha móvel	22
Figura 12 – Componente: Sistema de retirada de cinzas.....	22
Figura 13 – Componente: Silo dosador com roscas	23
Figura 14 – Componente: Pré-aquecedor de ar	24
Figura 15 – Componente: Filtro Multiciclone.....	24
Figura 16 – Componente: Ventilador de ar primário	25
Figura 17 – Componente: Ventilador de ar secundário.....	26
Figura 18 – Componente: Exaustor de tiragem.....	27
Figura 19 – Componente: Chaminé.....	27
Figura 20 – Componente: Soprador de Fuligem	28
Figura 21 – Componente: Tanque de Condensado.....	29
Figura 22 – Componente: Tanque de descarga de fundo	29
Figura 23 – Componente: Coletor e distribuidor de vapor.....	30
Figura 24 – Esquemático do funcionamento da caldeira de biomassa	30

Figura 25 – Sistema de controle	31
Figura 26 – Armazenagem da biomassa.....	33
Figura 27 – Investir na biomassa.....	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1. Caldeiras e geradores de vapor	12
2.1.1. Breve histórico sobre caldeiras	12
2.1.2. Classificação das caldeiras	13
2.1.2.1. Caldeiras flamotubulares	13
2.1.2.2. Caldeiras aquatubulares	13
2.1.3. Manutenção de caldeira	14
2.2. Combustíveis	15
2.3. Aplicação	15
3 A EMPRESA ONDE ESTÁ LOCADA A CALDEIRA ESTUDADA	15
4 NECESSIDADE DO PROJETO	16
4.1. Combustível renovável	16
4.2. Biomassa x gás natural	16
4.3. Consumidores	17
4.4. Redução do custo de tonelada de vapor	18
5 PROJETO DA CALDEIRA	18
5.1. Parâmetros de projeto	19
5.2. Configuração da caldeira	19
5.3. Principais componentes	20
5.3.1. Tambor de vapor	20
5.3.2. Fornalha	20
5.3.3. Grelha móvel	21
5.3.4. Sistema de retirada de cinzas do fim da grelha	22
5.3.5. Silo dosador om roscas	23
5.3.6. Pré-aquecedor de ar	23
5.3.7. Filtro Multiciclone	24
5.3.8. Ventilador de ar primário	25
5.3.9. Ventilador de ar secundário	25
5.3.10. Exaustor de tiragem	26
5.3.11. Chaminé	27
5.3.12. Sopradores de fuligem	28
5.3.13. Tanque de condensado	28
5.3.14. Tambor de descarga de fundo	29
5.3.15. Coletor e distribuidor de vapor	29
5.4. Funcionamento	30
5.4.1. Arquitetura do sistema de controle	31
5.4.2. Combustível utilizado	31
5.4.2.1. Procedimento para obtenção da quantidade de cavaco	32
5.4.2.2. Cálculo do vapor e da quantidade de cavaco	32
5.4.2.3. Armazenamento apropriado	32
6 COMISSONAMENTO DO PROJETO	33
7 RESULTADOS	34
CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS	36

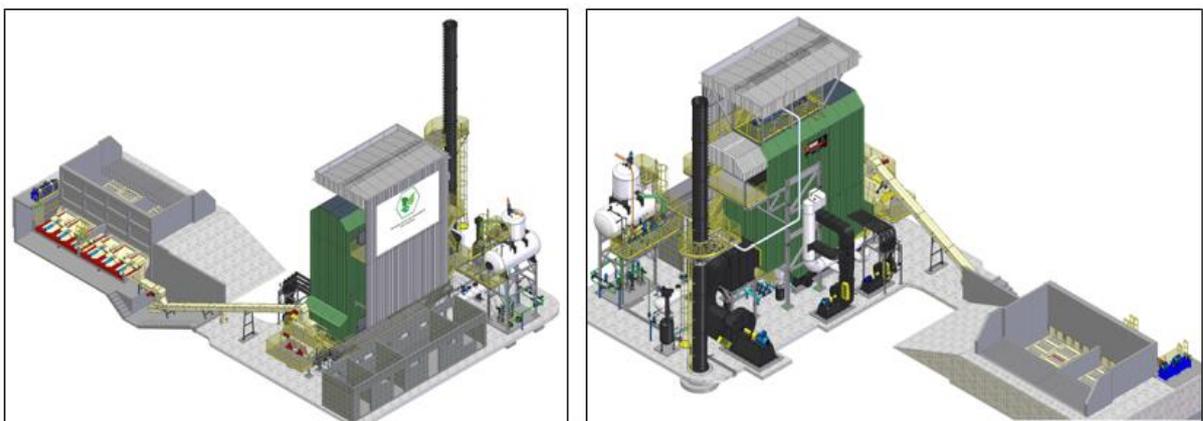
1 INTRODUÇÃO

“O elevado preço do petróleo e os impactos ao meio ambiente principalmente pela queima dos combustíveis fósseis são fatores que viabilizam o uso da energia renovável.” (BARROS et al., 2006).

O objetivo deste trabalho é viabilizar a introdução de uma caldeira de biomassa flamobutublar em uma indústria do ramo de nutrição animal utilizando como combustível o cavaco de eucalipto, substituindo o antigo método de produção de vapor. Utilizando como motivação inicial a altíssima demanda de gás GNL (gás natural liquefeito) na indústria disposto como combustível na caldeira antiga e seu instável valor de aquisição, surge a necessidade de uma redução de custos uma vez que a unidade depende da geração de vapor que é utilizado como força motriz em diversas operações de sua produção, qualidade e preocupação com o meio ambiente. Ao longo de todo o tratado acadêmico dissertado é comentado a necessidade e o projeto da caldeira implementada demonstrando seus principais componentes e também sua configuração, com o objetivo de firmar a proposta de sua utilização.

Segundo PERA (1966, p.1), “gerador de vapor é um trocador de calor complexo que produz vapor a partir de energia térmica (combustível), ar e fluido vaporizante constituído por diversos equipamentos associados”. A unidade geradora de vapor instalada possui muitos componentes que tem como objetivo aproveitar ao máximo a energia liberada na queima do combustível e o projeto vem com o intuito de aproveitar ao máximo estes recursos utilizando uma caldeira dimensionada e de gral tecnológico elevado, otimizando os custos.

Figura 1 – Ilustrativo da caldeira estudada



Fonte: Adaptado de Icavi (2015).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem por objetivo, analisar as contribuições teóricas que serão utilizadas para a estruturação deste estudo. Neste sentido, ele está dividido em 3 seções, encadeando os assuntos selecionados de acordo com o eixo que rege a pesquisa.

2.1. Caldeiras e Geradores de Vapor

As caldeiras ou geradores de vapor são equipamentos análogos que permitem a geração de formas de energia térmica de ampla utilização, tanto em nível industrial quanto comercial ou residencial, o vapor e a água quente de pressão elevada a partir do calor liberado pela queima de um combustível ou pelo calor recuperado de outras fontes (geralmente gases quentes).

2.1.1. Breve histórico sobre Caldeiras

Segundo Mitamura 2005, foi no século II a.C. que Heron de Alexandria realizou uma série de experiências e construiu um aparelho que foi o precursor das caldeiras e das turbinas a vapor. Esse aparelho é chamado de Eolípila, vaporizava água e movimentava uma esfera em torno de um eixo. Na época, o estudioso não conseguiu enxergar nenhuma utilidade prática para seu invento, visto que nenhum trabalho útil era produzido por esse movimento, mas muitos séculos mais tarde, sua invenção e uso foram uma das bases tecnológicas da Revolução Industrial onde surgiram as primeiras caldeiras.

Figura 2 – Caldeira da Fazenda Suissa em 1925



Fonte: Memoria22 (2015).

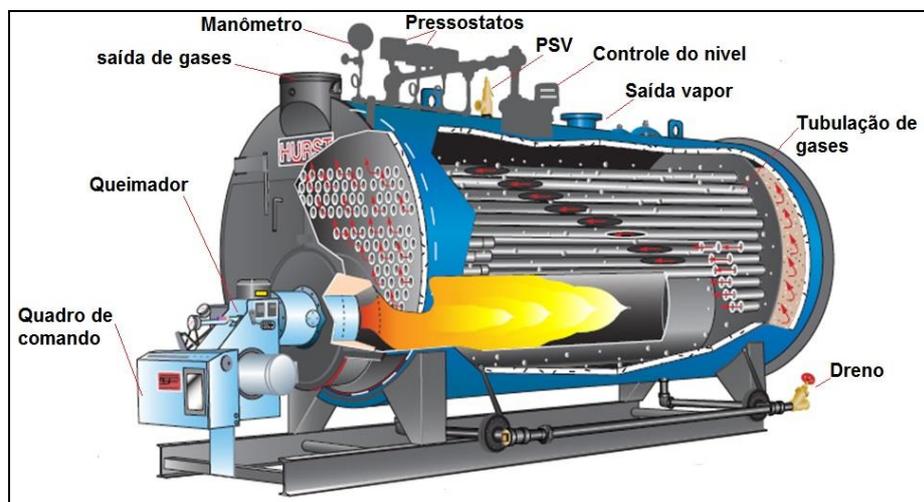
2.1.2. Classificação das caldeiras

Segundo Pazian (2004), conforme o modo de transferência de calor para vaporizar a água, as caldeiras podem ser classificadas em flamotubulares ou aquatubulares.

2.1.2.1. Caldeiras flamotubulares

Nas caldeiras com a configuração de flamotubulares ou fogotubulares, ocorre que os gases quentes da combustão circulam no interior de tubos que atravessam o reservatório de água a ser aquecida para produzir vapor. Conforme Mitamura (2005), normalmente, as capacidades são restritas à pressão máxima de 20 kgf.cm⁻² e produção de 30 ton.h⁻¹ e, de acordo com o mesmo autor, as caldeiras flamotubulares são mais econômicas que as aquatubulares, visto que, até 20t.h⁻¹ de geração de vapor, o custo é menor.

Figura 3 – Caldeira Flamotubular



Fonte: Togawa (2017).

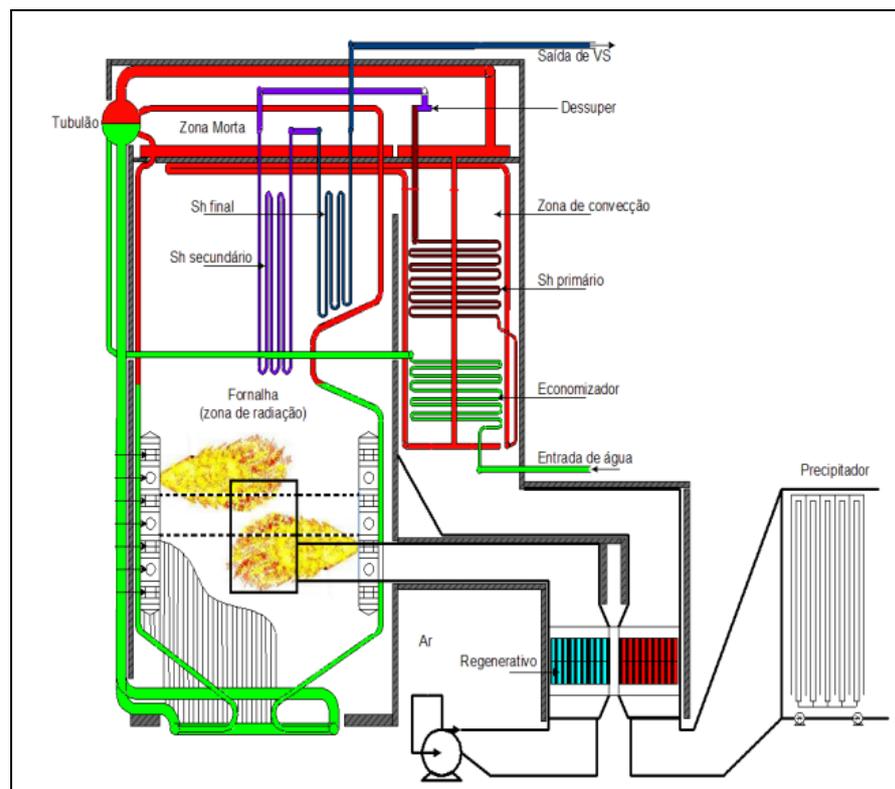
2.1.2.2. Caldeiras Aquatubulares

As caldeiras aquatubulares a água a ser vaporizada passa no interior de tubos que por sua vez, são envolvidos pelos gases de combustão. Os tubos podem estar organizados em feixes como nos trocadores de calor, e as caldeiras que os contêm aparentam a forma de um corpo cilíndrico ou de paredes de água como nas caldeiras maiores.

“Somente foi possível a obtenção de maiores produções de vapor, a pressões elevadas e altas temperaturas com o advento das caldeiras de tubos de água. A circunstância dos tubos estarem situados fora dos corpos das caldeiras, a eles se unindo para constituírem um feixe tubular de água que compõe a parte principal de absorção do calor, permite a obtenção de superfícies de aquecimento praticamente ilimitadas.” (PERA, 1966, p.138).

Esse tipo de caldeira tem mais rendimento por gerar uma maior quantidade de vapor, elevando também o nível de pressão.

Figura 4 – Caldeira Aquatubular



Fonte: Adaptado de Murilo (2013)

2.1.3. Manutenção das caldeiras

A manutenção da caldeira é fundamental na prevenção de acidentes. Os tipos mais comuns são: a manutenção preventiva, que é a mais barata, já que ela conserva o equipamento e pode ser até considerada como investimento, evitando que ela se estrague, o próprio operador de caldeira após um treinamento é capaz de executá-la. O outro tipo de manutenção é a corretiva, que é mais cara, e muitas vezes a caldeira deixa de operar por períodos longos, o que reflete no faturamento. A norma brasileira NR13 obriga inspeções periódicas em um período nunca superior a 12 meses. E, quando a caldeira completar 25 (vinte e cinco) anos de

uso, na sua inspeção subsequente, deve ser submetida a rigorosa avaliação de integridade para determinar a sua vida remanescente e novo prazo máximo para a inspeção, caso ainda esteja em condições de uso.

2.2. Combustíveis

Podem ser utilizados diversos combustíveis em caldeiras sendo eles sólidos, líquidos ou gasosos, o que lhes garante uma ótima flexibilidade operacional. Dependendo do tipo de combustível, variam as personalidades de projeto e os componentes básicos da instalação de vapor. São inúmeras as opções de combustíveis para a queima em caldeira, e os mais utilizados são: gás GLP, gás natural, óleos pesados como BPF e biomassas (lenha, resíduos de madeira etc.). Os critérios para a escolha do combustível devem ser adotados por cada usuário, devendo ser analisados o custo do combustível, posto no local do consumo, a disponibilidade na região, disponibilidade de mão-de-obra, influência do meio ambiente e custo/benefício.

2.3. Aplicação

A utilização do vapor produzido nas caldeiras assume as mais variadas aplicações, como secagem, cozimento, geração de energia, lavagem de utensílios, desinfecção, aquecimento ambiental, pasteurização (a parte referente ao aquecimento), dentre outros. Encontrado nos mais variados setores, tais como industrial, terciário e residencial (notadamente nos países de clima frio, e no Brasil no sul do país e em certas localidades de temperatura mais baixa, como Campos do Jordão), sua forma mais usual é a estacionária, porém pode ocorrer de se verificar o emprego de caldeiras em sistemas móveis, tal como as antigas locomotivas a vapor, certas embarcações navais de grande porte e mesmo existe o registro de pequenas caldeiras compactas transportadas em caminhões.

3 A EMPRESA ONDE ESTÁ LOCADA A CALDEIRA ESTUDADA

A demonstração da importância do objeto de estudo se deu em uma importante empresa multinacional, que atua no ramo alimentício com alimentos para cães e gatos, rações para animais de produção e “snacks” para cães e gatos com sede fabril situada em Três Corações, a empresa está entre as 10 maiores empresas do ramo de “*Pet Food*” do mundo.

4 NECESSIDADE DO PROJETO

O setor hidrelétrico tem sofrido grande baixa de alguns anos atrás até o momento, cooperando, portanto para a geração e cogeração de energia em termelétricas que utilizam fontes renováveis de energia como combustível, como por exemplo: bagaço de cana, cavaco, casca de arroz, cavaco de eucalipto, entre outros.

Na empresa estudada, o vapor é utilizado principalmente no processo de extrusão de alimentos completos na forma de energia térmica para cozimento da massa. Antes do projeto, a fonte de combustível (gás natural), era fornecida em caminhão tanque que abastecia a central de armazenagem e distribuição do fornecedor instalada na planta, posteriormente alimentando a caldeira. O combustível representa uma parcela considerável do custo operacional, o objetivo principal basicamente é, reduzir o custo da tonelada de vapor, consequentemente o custo operacional da tonelada do produto acabado.

4.1. Combustível Renovável

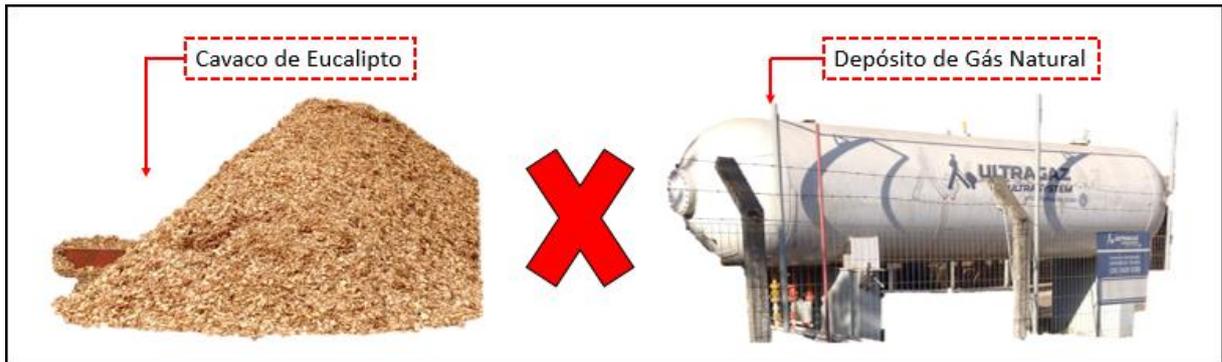
Os combustíveis renováveis utilizam como matéria-prima elementos renováveis para a natureza, como a cana-de-açúcar, usada na fabricação do álcool e também de vários outros vegetais como a mamona utilizado para a fabricação do biodiesel ou outros óleos vegetais que podem ser utilizados diretamente em motores à diesel com algumas adaptações. A biomassa substitui a utilização de combustíveis fósseis como o carvão e o petróleo, que agredem o meio ambiente, no processo de geração de vapor nas indústrias, além de ser um combustível mais barato e renovável. A biomassa proveniente do cavaco de madeira atua como alternativa de fonte renovável para reduzir a produção de dióxido de carbono (CO₂) pelos polos industriais, em um momento em que a comunidade global, sobretudo os profissionais das áreas voltadas ao meio ambiente, mencionam o aquecimento global.

4.2. Biomassa x Gás Natural

Através do desenvolvimento industrial, diversas indústrias aderiram a geração e produção de vapor em suas plantas utilizando o mesmo em seu processo de produção. O grande ponto negativo é a dependência do combustível utilizado, assim o procedimento pode levar emissão de CO₂, um dos principais causadores do aquecimento global. Segundo Duarte (2017), o gás natural é uma fonte não-renovável, que foi formada por milhões de anos nos

reservatórios subterrâneos do planeta. Seu processo de produção, desde a exploração, processamento até o transporte pode gerar grandes impactos no ambiente, como derramamentos de navios petroleiros, vazamentos em plataformas e gasodutos. Tem também a desvantagem de ter contaminantes altamente tóxicos que tem de ser eliminados no processo de refinamento.

Figura 5 – Biomassa X Gás



Fonte: O autor.

Os problemas gerados por seu uso nas usinas termelétricas, em especial a necessidade de um sistema de resfriamento, causando desperdício de água.

Conforme Magalhães (2018), a biomassa é obtida através da decomposição de uma variedade de recursos renováveis, como plantas, madeira, resíduos agrícolas, restos de alimentos, excrementos e até do lixo. O Brasil possui situação privilegiada para produção de biomassa em larga escala, pois existem extensas áreas cultiváveis e condições climáticas favoráveis ao longo do ano.

4.3. Consumidores

Na fábrica onde está situada a caldeira estudada o vapor é utilizado principalmente no processo de extrusão e peletização de alimentos completos na forma de energia térmica para cozimento da massa e também na parte de higienização das tubulações que recebem o vapor para limpeza destes. Estas operações são de suma importância para um produto final de qualidade, a confiabilidade na geração de vapor deve ser de extrema precisão para que as máquinas que necessitam de força motriz atinjam seu maior potencial de produção, tendo como base a alta demanda de produto acabado.

Figura 6 – Consumidores de vapor



Fonte: (O Autor)

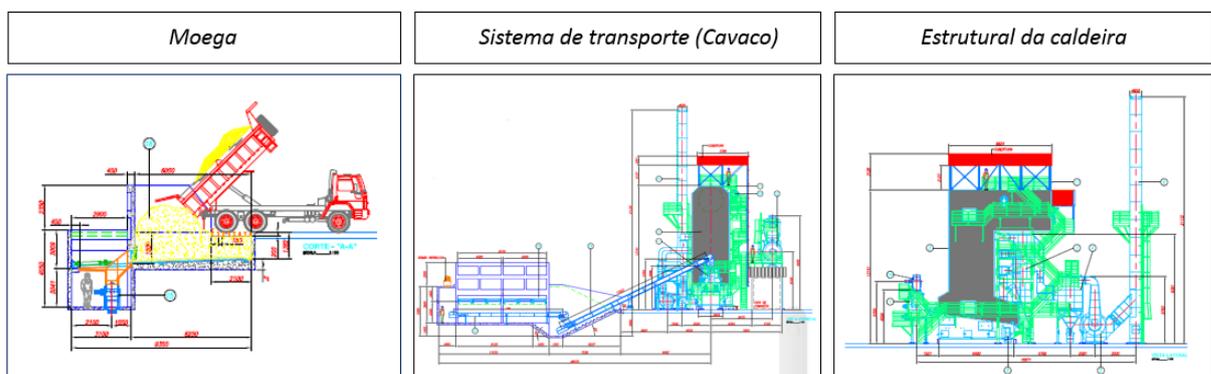
4.4. Redução do custo de tonelada de vapor

O projeto possui uma série de questões positivas referente a parte ambiental e econômica, como base a geração de vapor com recursos sustentáveis, no processo de gerenciamento de produção de vapor esta operação conta com pacotes computacionais para o monitoramento do volume e da pressão de vapor gerados pelas caldeiras, de maneira a atender à demanda de vapor com segurança, trabalhando “corretamente” levando a redução de custo por tonelada de vapor e redução do custo do produto final.

5 PROJETO DA CALDEIRA

As características gerais do projeto, tendo como base as necessidades solicitadas foram divididas em partes para facilitar o entendimento durante e consulta pós projeto, conforme imagem a baixo:

Figura 7 – Desenho da caldeira



Fonte: O autor.

5.1 Parâmetros de projeto

A seleção do tipo de unidade ou o projeto de uma nova unidade para uma certa atividade depende de muitos fatores, dentre os quais:

- Vazão, pressão e temperatura do vapor vivo;
- Temperatura e condições da água de alimentação da caldeira;
- Características de consumo do vapor gerado e tipo de serviço a ser atendido;
- Esquema de atendimento da unidade de processo;
- Combustíveis empregados e processo de combustão;
- Eficiência operacional.

5.2. Configuração da caldeira

A configuração escolhida foi do tipo flamotubular mista, com fornalha aquatubular e corpo de evaporação fogotubular, de dois passes. A fornalha tem paredes de tubos envolvidos por tijolos refratários e dividem-se em câmara de combustão e câmara pós queima. O grelhado é móvel e inclinado.

Figura 8 – Configuração da caldeira

Capacidade							
Dados	Unidade		Especificações				
Modelo	-		ICF-1213,5				
Número de unidades	-		1				
Produção de vapor nominal total	ton./h		12				
Produção de vapor mínima admissível	ton./h		3,6				
Pressão de operação	Bar (g)		13,5				
Pressão de projeto	Bar (g)		16,2				
Pressão de teste hidrostático	Bar (g)		24,3				
Temperatura do vapor	°C		195				
Temperatura da água de alimentação	°C		105				

Valores de Garantia							
Itens	Unidade		Especificações				
Capacidade da Caldeira	kg/h		12.000				
Temperatura do vapor - 100%	°C		195 + 10				
Eficiência ao PCI - 100%	%		86 + 2				
Qualidade de título de vapor	%		98,0				
Range de operação	%		30 até 110				

Combustível – Cavaco de madeira (100%) de 30% a 50% umidade							
Combustível	C	H	S	O	N	H ² O	Cinzas
% Peso	29,67	3,41	0,02	24,28	0,00	41,67	0,82

Dados	Unidade	Especificações
PCI do Combustível	kcal/kg	2.400
Consumo de combustível (100%)	kg/h	3.698
Granulometria máxima admissível	mm	30 x 40 x 50
Vazão de ar (100%)	kg/h	19.924
Vazão de Gás (100%)	kg/h	23.622
Excesso de ar	%	50

Fonte: O autor.

5.3 Principais Componentes

Abaixo listado alguns dos principais componentes que compõem a configuração da caldeira.

5.3.1. Tambor de Vapor

O tambor de vapor da caldeira será dimensionado de forma a propiciar um volume de água e vapor que permita variações na carga com mínima variação de pressão na caldeira mantendo a pureza do vapor na saída da mesma.

Figura 9 – Componente: Tambor de Vapor



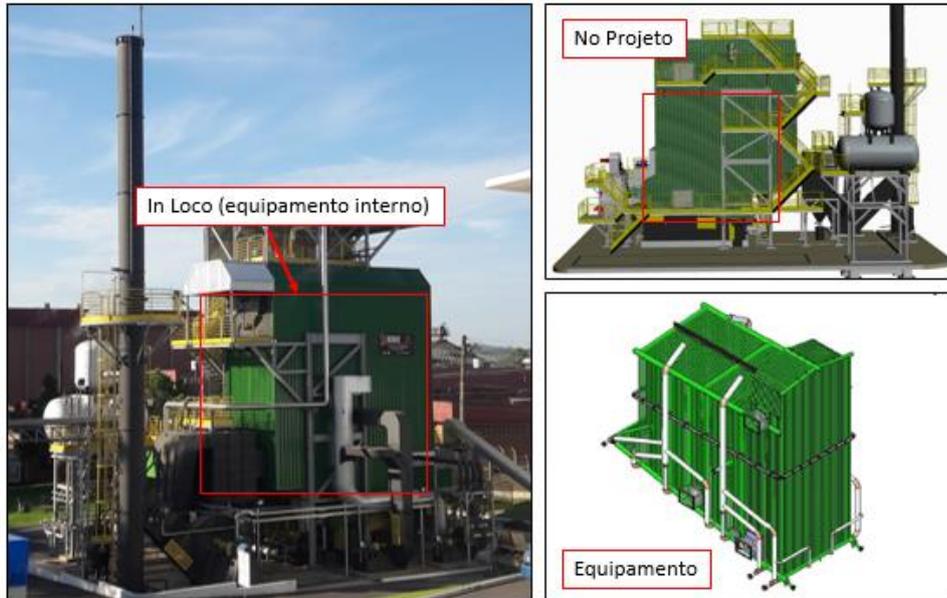
Fonte: O autor.

5.3.2. Fornalha

A fornalha, onde é instalada a grelha oscilante para a queima do combustível, é construída de tubos espaçados e recobertos de tijolos refratários especiais, de forma a revestir completamente os tubos de água, formando uma superfície radiante para otimizar a combustão da biomassa. Constituída de tubos soldados a coletores formando as paredes de água resultando em uma ótima absorção de calor. Conjuntamente com a fornalha são fornecidos dutos de ar de alta pressão, cuja finalidade é fornecer ar para o sistema de ar

secundário, composto de bocais de 2" de diâmetro, localizados na saída da câmara de combustão, que promovem uma adequada turbulência, resultando em uma queima com menor excesso de ar e emissão de particulado.

Figura 10 – Componente: Fornalha

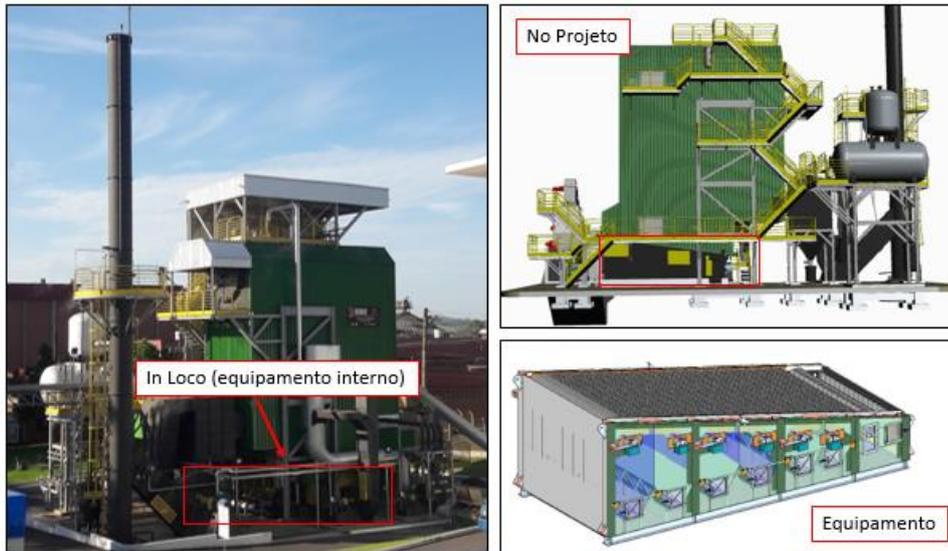


Fonte: O autor.

5.3.3. Grelha móvel

A grelha se move de forma oscilante (movimento de avanço e recuo), fazendo com que o combustível seja revolvido à medida que avança sobre a mesma. O processo de queima envolve 04 etapas sobre a grelha, a secagem do combustível, a queima dos voláteis e a queima do carbono fixo e resfriamento da cinza. A grelha é inclinada de forma a propiciar um melhor e mais uniforme escoamento do combustível. O grelhado é distribuído uniformemente, com seções de ar independentes, proporcionando uma boa distribuição em toda área e um adequado resfriamento. O sistema de grelha possui movimentos alternados os quais propiciam diferentes etapas na combustão, esse sistema torna a combustão mais eficiente e produz no final das grelhas apenas cinzas residuais e sistema de grelha possui movimentos alternados os quais propiciam diferentes etapas na combustão.

Figura 11 – Componente: Grelha Móvel

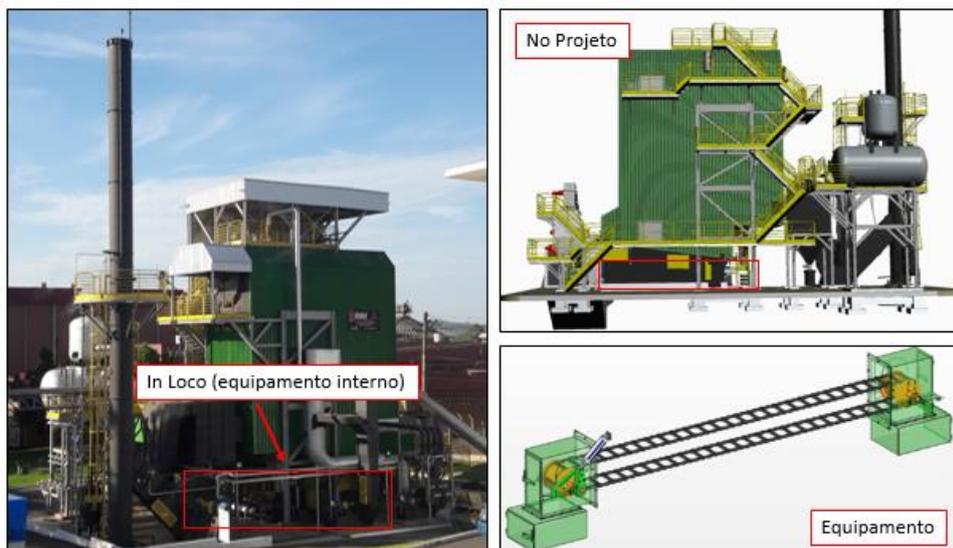


Fonte: O autor.

5.3.4. Sistema de retirada de cinzas do fim da grelha

O sistema de extração de cinzas fim de grelha tem a função de extrair automaticamente as cinzas resultantes da queima que se acumulam no final do grelhado, depositando as mesmas em um recipiente externo à caldeira, facilitando a limpeza. Processo no qual evita acúmulos de partículas dentro da estrutura do grelhado, evitando assim complicações futuras que poderiam gerar manutenções corretivas e consequentemente perda de produção.

Figura 12 – Componente: Sistema de retirada de cinzas

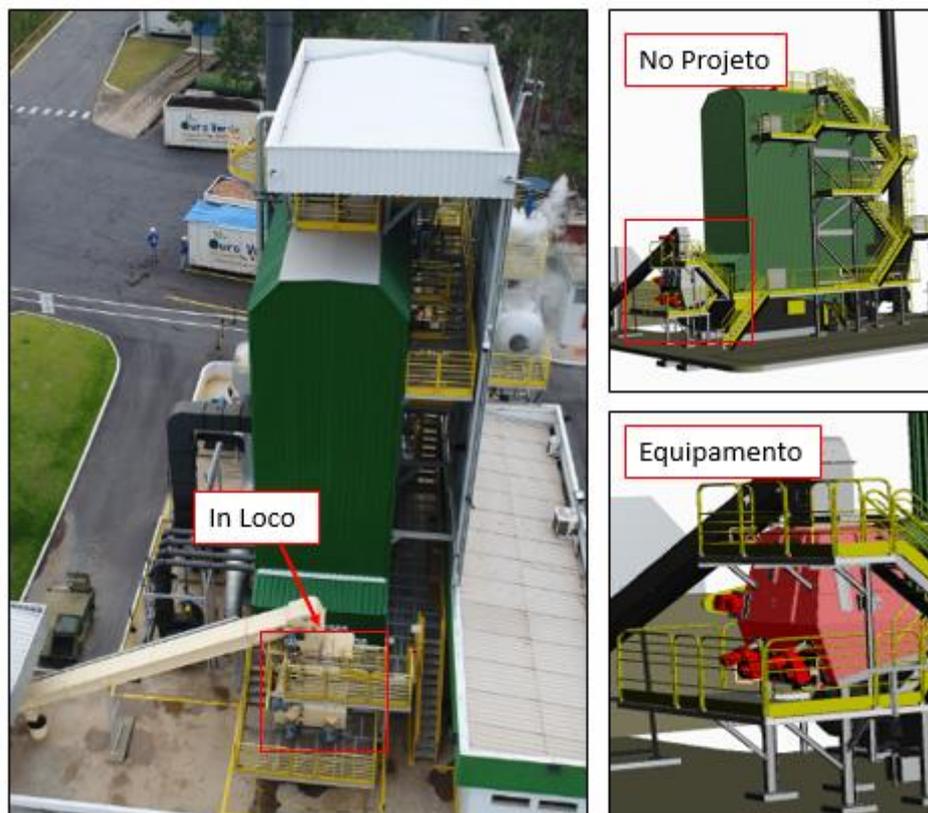


Fonte: O autor.

5.3.5. Silo dosador com roscas

A alimentação do combustível será feita através de um silo dosador com sistema de roscas, as quais farão a retirada do combustível de dentro do silo para alimentar a caldeira. O silo dosador conta com um sistema de segurança contra incêndios, com um transmissor de temperatura que determina a abertura automática de uma válvula pneumática em caso de temperatura alta no silo por um tempo maior que 30s, dando vazão de água para esguicho que abrange toda a caixa do silo.

Figura 13 – Componente: Silo dosador com roscas



Fonte: O autor.

5.3.6. Pré-aquecedor de ar

O pré-aquecedor de ar é constituído por tubos verticais posicionados defasadamente pelos quais passam internamente os fumos e externamente o ar para combustão, tendo por finalidade aquecer o ar para combustão que é injetado sob a grelha, parte fundamental que garante maior autonomia na combustão que ocorre no grelhado.

Figura 14 – Componente: Pré-aquecedor de ar

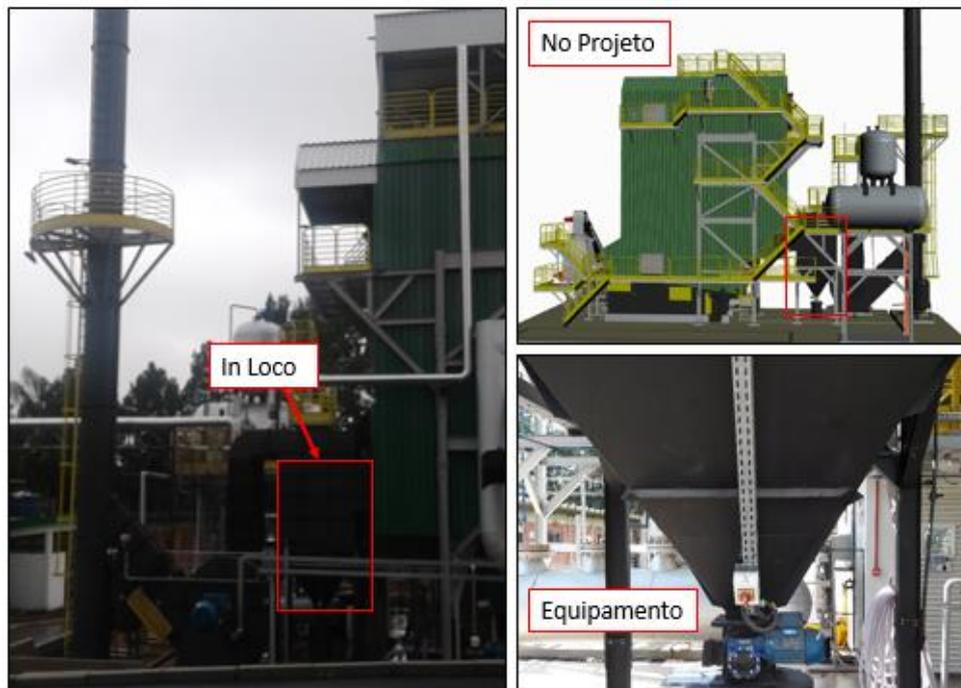


Fonte: O autor.

5.3.7. Filtro Multiciclone

O filtro multiciclone é responsável pela separação das partículas sólidas do gás de combustão, controlando a emissão de particulado na atmosfera. A saída do gás limpo é então feita pelo topo do ciclone através de um tubo cilíndrico central. No movimento circular decrescente do gás as partículas mais pesadas, devido à densidade ou tamanho, são atiradas contra as paredes do ciclone através de forças centrífugas, descendo para a base do ciclone, por onde irão sair.

Figura 15 – Componente: Filtro Multiciclone

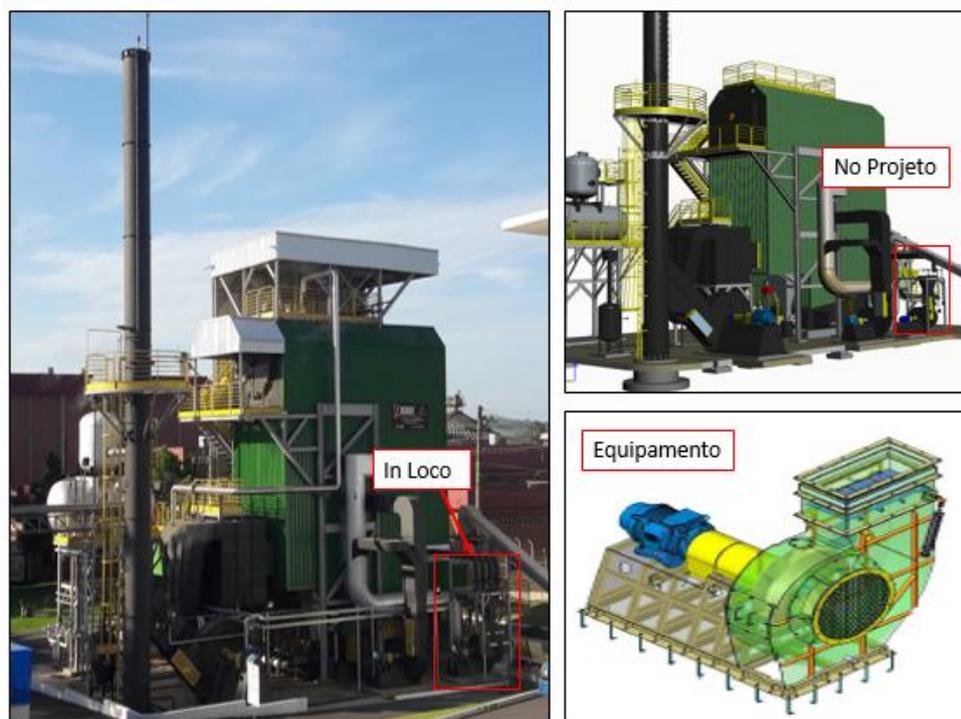


Fonte: O autor.

5.3.8. Ventilador de ar primário

O ventilador de ar primário tem como função o fornecimento do ar de combustão, injetado sob as grelhas, permitindo que a queima do combustível seja uniforme, sendo projetado para atender as perdas de carga, vazão e pressão do ar necessário para o bom desempenho do equipamento, é do tipo centrífugo, acoplado a um motor de 25 cv, com partida por inversor de frequência localizado na parte lateral da caldeira.

Figura 16 – Componente: Ventilador de ar primário

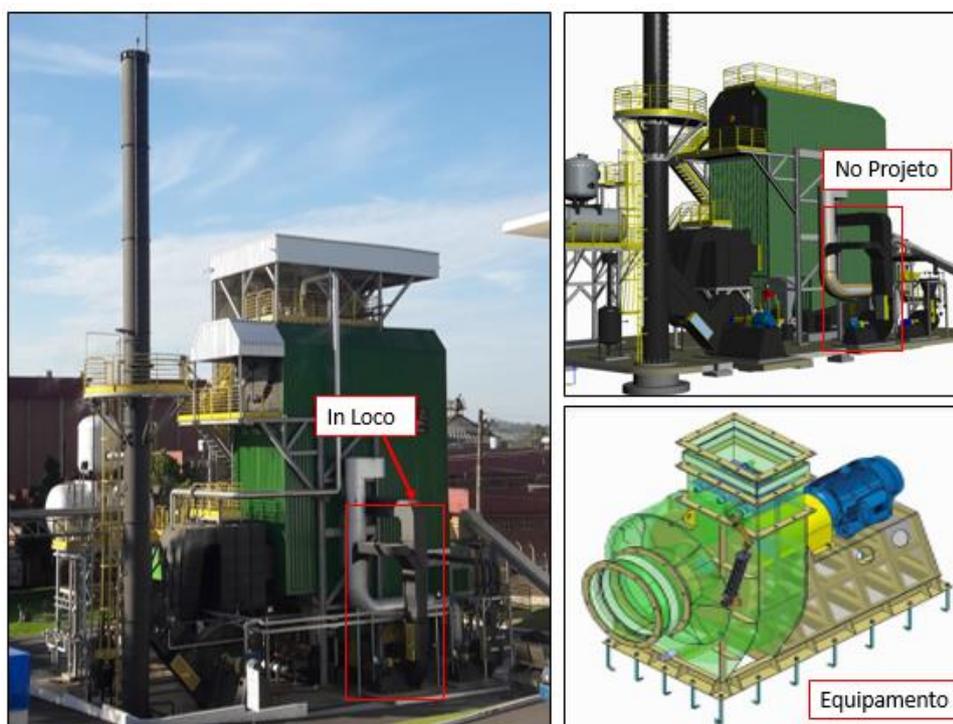


Fonte: O autor.

5.3.9. Ventilador de ar secundário

O ventilador de ar secundário tem como função o fornecimento de ar com pressão elevada em pontos específicos na fornalha, fazendo com que o ar entre em contato com os gases de combustão realizando a queima completa dos voláteis. Possui as mesmas características de um ventilador convencional que é um dispositivo mecânico utilizado para converter energia mecânica de rotação, aplicada em seus eixos, em aumento de pressão do ar, é do tipo centrífugo, acoplado a um motor de 25 cv, com partida por inversor de frequência localizado na parte lateral da caldeira.

Figura 17 – Componente: Ventilador de ar secundário

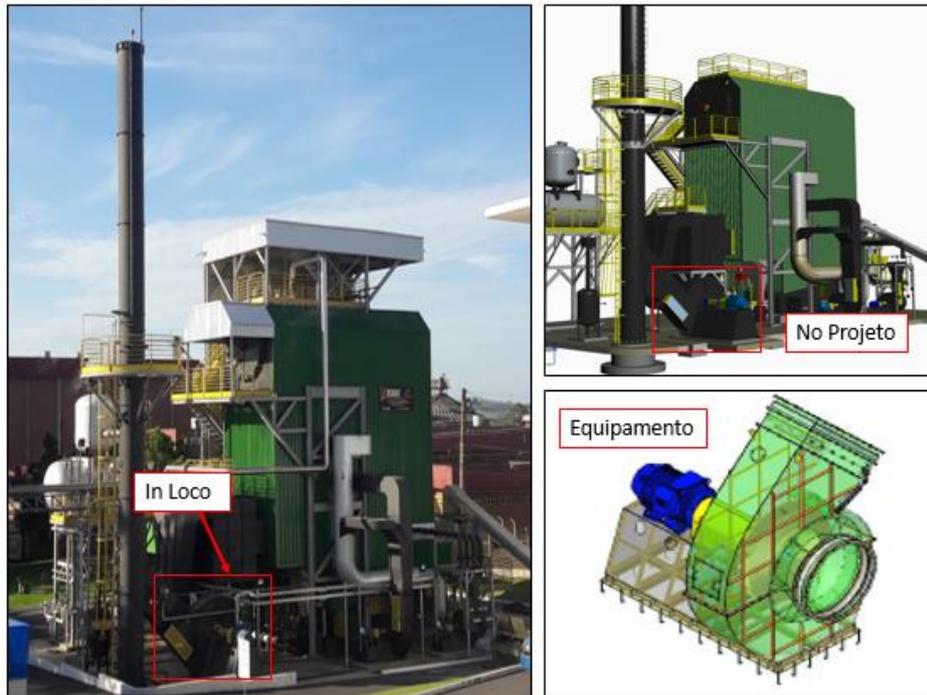


Fonte: O autor.

5.3.10. Exaustor de tiragem

O exaustor de tiragem é fundamental para que a caldeira tenha uma boa eficiência, tendo como função realizar a exaustão dos gases de combustão gerados pela caldeira. O mesmo é calculado para suprir todas as perdas de carga do equipamento, e manter as velocidades adequadas dos gases nas áreas de troca térmica, é do tipo centrífugo, acoplado a um motor de 75 cv, com partida por inversor de frequência localizado na parte lateral da caldeira. Possui basicamente a mesma propriedade de um exaustor de coifa que remove o ar viciado, fumos ou maus cheiros, de cozinhas e recintos fechados. É responsável pelo tratamento dos gases e vapores resultantes da cocção. Este tratamento pode se dar pela exaustão ou depuração dos gases. Além de tornar o ar respirável, os exaustores industriais reduzem a temperatura dentro dos recintos e previnem a estagnação do ar. Por outro lado, ajudam a reduzir os níveis de humidade, os fumos e a regular os gases nos equipamentos da indústria química ou automóvel.

Figura 18 – Componente: Exaustor de tiragem



Fonte: O autor.

5.3.11. Chaminé

A chaminé é cilíndrica vertical, auto estável, fixado na base através de chumbadores. O diâmetro é calculado conforme a vazão de gases, tendo velocidade próximo de 13m/s e 12.000mm. Obs. os dados do diâmetro e altura da chaminé são dados estimados levar em consideração o layout orientativo fornecido.

Figura 19 – Componente: Chaminé

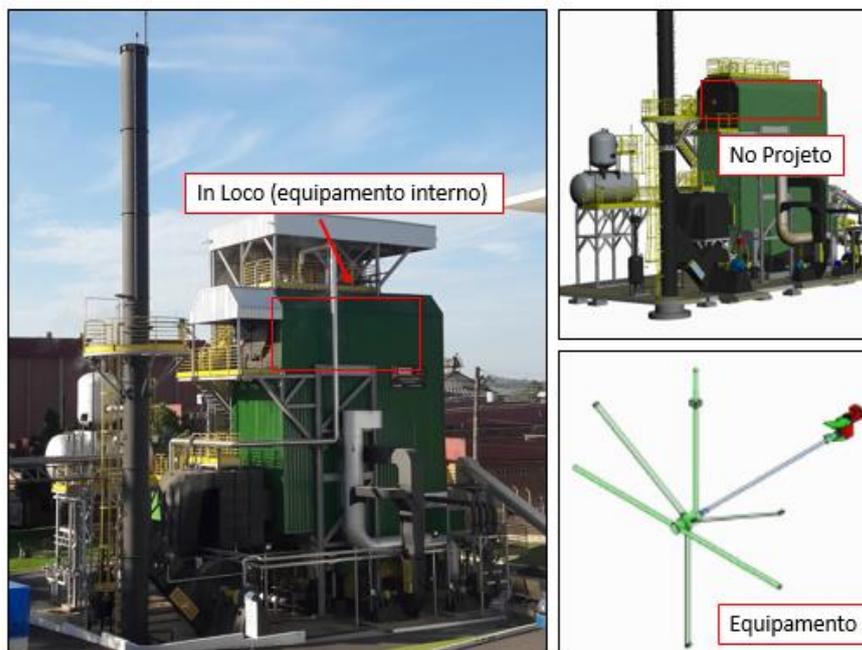


Fonte: O autor.

5.3.12. Sopradores de fuligem

Mantem as superfícies de troca térmica permanentemente limpa, será fornecido um conjunto de sopradores de fuligem estrategicamente localizados, utilizando o vapor saturado da caldeira para realizar a sopragem.

Figura 20 – Componente: Sopradores de fuligem

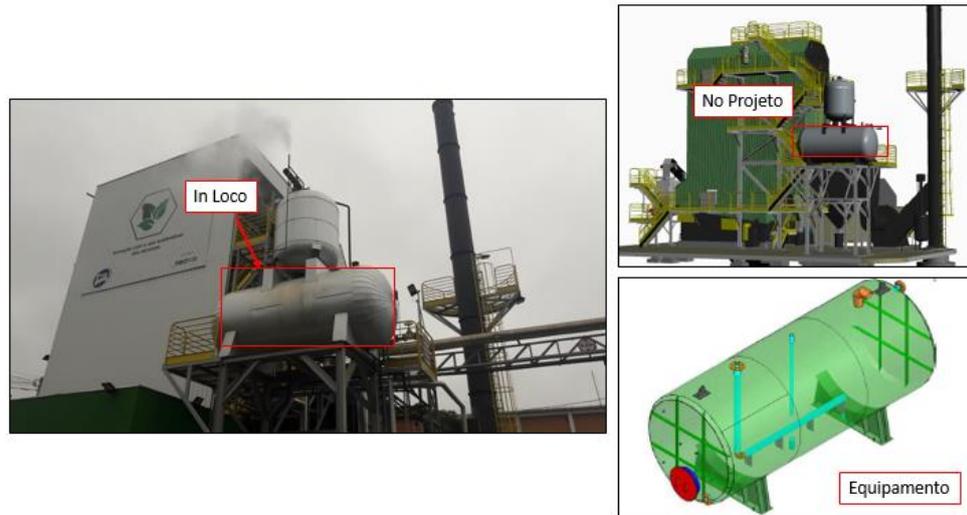


Fonte: O autor.

5.3.13. Tanque de condensado

O tanque de condensado tem a função de armazenar o condensado que retorna do processo, destinado a reaproveitar o condensado de linhas de vapor provenientes de qualquer instalação de caldeira, além da água de reposição, para manter a caldeira abastecida adequadamente, possui o formato cilíndrico e tem como capacidade 12.000 Kg/h. O tanque de condensado é normalmente utilizado para armazenamento de água quente e de condensado de caldeiras, condensado que por sua vez pode ser reaproveitado em alguma operação uma vez que é somente água tratada. O tanque de condensado construído no modelo vertical, em aço carbono tem função bastante importante no projeto da caldeira, o condensado que muitas vezes é jogado para a atmosfera pode ser canalizado e redistribuído no sistema ou utilizado em outra situação como mencionado anteriormente.

Figura 21 – Componente: Tanque de condensado



Fonte: O autor.

5.3.14. Tanque de descarga de fundo

O tanque de descarga de fundo é responsável pelo recebimento e despressurização das descargas de todos os pontos da caldeira, mantendo estes locais limpos para que o fluxo da água circule corretamente.

Figura 22 – Componente: Tanque de descarga de fundo



Fonte: O autor.

5.3.15. Coletor e distribuidor de vapor

O Coletor de vapor nada mais é que um receptor e distribuidor de vapor, também conhecido como manifold, o mesmo tem como principal função a distribuição do vapor produzido na caldeira e armazenagem, controlado por manômetro e válvulas reguladoras.

Figura 23 – Componente: Coletor e distribuidor de vapor

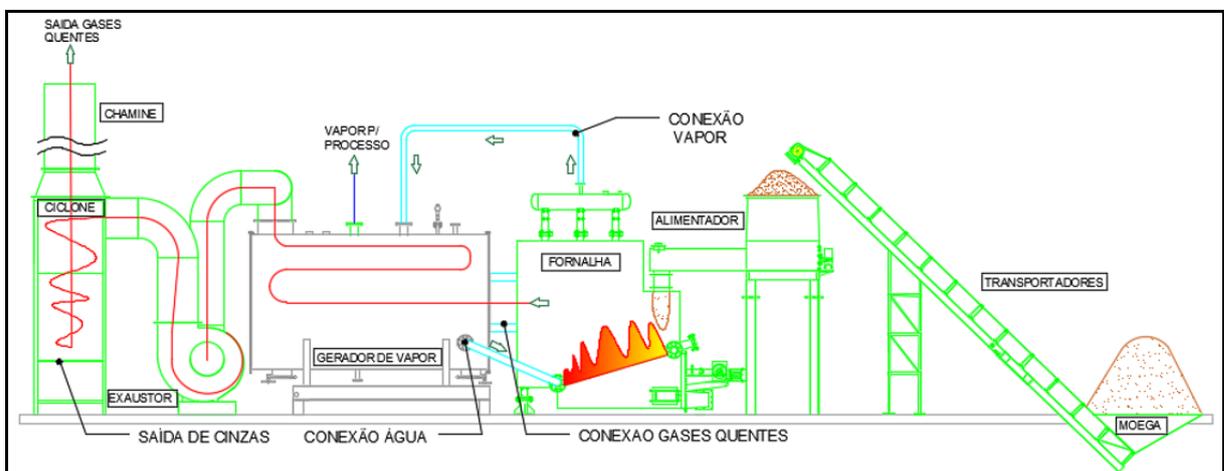


Fonte: O autor.

5.4. Funcionamento

O primeiro passo na produção de vapor por uma caldeira de biomassa (Flamotubular) é o recebimento de biomassa seja ele por alimentação direta nos dosadores ou utilizando transportadores, após o dosador ser alimentado, o cavaco passa já dosado para o alimentador com a função de transportar o cavaco até o grelhado que é onde ocorre a combustão do mesmo, em contato com tubos de água que trocam calor e dão início a primeira etapa na produção de vapor, após isso os gases quentes provenientes da queima de cavaco do grelhado vão para o gerador de vapor que é envolvido por água e possui tubos que transportam o ar quente em seu interior gerando vapor, o resultado é transmitido para um coletor que faz a distribuição do vapor, o ar quente proveniente da queima de biomassa passa por um exaustor que transporta o mesmo até um ciclone que retira particulados e o ar sai pela chaminé

Figura 24 – Esquemático do funcionamento da caldeira de biomassa

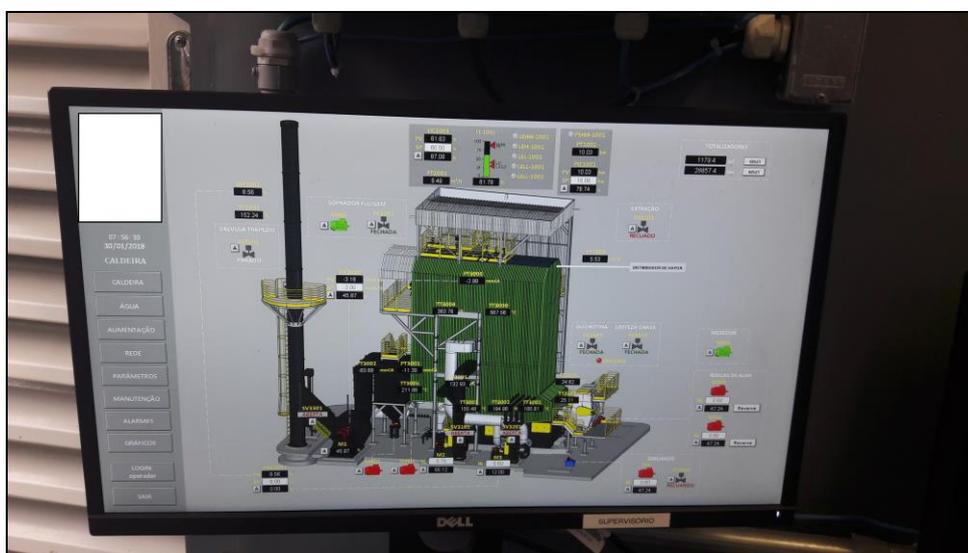


Fonte: O autor.

5.4.1. Arquitetura do sistema de controle

O sistema de controle da caldeira é baseado em uma arquitetura em que as malhas de controle contínuo são implementadas em um controlador lógico programável (para o nível do tambor de vapor, vazão de vapor e água, para depressão e combustão). O CLP se comunica com o sistema supervisório, composto de um microcomputador, software de supervisão, via comunicação ETHERNET. A operação da caldeira é feita através do terminal de operação (microcomputador) do sistema supervisório.

Figura 25 – Sistema de controle



Fonte: O autor.

5.4.2. Combustível utilizado

O combustível a ser queimado é fator de influência no dimensionamento da caldeira fisicamente, uma caldeira a carvão é maior do que uma a óleo, além de contar com equipamentos auxiliares como o moinho de bolas (para redução física do carvão) e ventiladores adicionais.

Para a configuração da caldeira implementada foi utilizado para a operação o cavaco de eucalipto que entrará em operação com uma humidade de aproximadamente 40%. De acordo com Duratex (2004), o cavaco de madeira é uma biomassa florestal que gera energia limpa e, conseqüentemente, menos gases de efeito estufa se comparada com outras fontes energéticas, como o gás natural e o óleo BPF (derivado do petróleo).

5.4.2.1. Procedimento para obtenção da quantidade de cavaco

Primeiramente, a partir dos dados reais do consumo e do Poder Calorífico Inferior da lenha, calculou-se a quantidade de vapor produzida e, a seguir, a partir dessa quantidade de vapor e através do Poder Calorífico Inferior do cavaco, obteve-se a quantidade de cavaco necessária.

5.4.2.2. Cálculo do vapor e da quantidade de cavaco

No cálculo, realizou-se o balanço de massa com o uso da seguinte expressão, segundo Hugot (1977) apud Perea (2005):

$$Q_c = \frac{Q_v \cdot (h_v - h_a)}{\eta \cdot (PCI)}$$

Q_c = quantidade de combustível (lenha ou cavaco), kg

Q_v = quantidade de vapor, kg

h_v = entalpia do vapor em função da pressão e temperatura, kcal.kg⁻¹

h_a = entalpia da água em função da temperatura, kcal.kg⁻¹

η = rendimento (%)

PCI = Poder Calorífico Inferior kcal.kg⁻¹

5.4.2.3. Armazenamento apropriado

O armazenamento do cavaco de eucalipto é parte fundamental na integridade de poder calorífero do mesmo, antes de passar pelo sistema de alimentação o cavaco deve estar com um índice de humidade conforme se necessita e por isso sua armazenagem é de grande importância. São utilizadas caçambas que ficam carregadas de cavaco aguardando a demanda de utilização, em média a caldeira estudada consome 10 toneladas de cavaco a cada 8 horas, sendo que cada caçamba contém 10 toneladas de cavaco.

As caçambas devem estar sempre cobertas, evitando o contato direto do cavaco com qualquer meio que possa adicionar água em si, já que o cavaco deve estar a aproximadamente com 40% de humidade para produção do vapor ser eficiente e a própria caldeira foi projetada com estes termos e aceites, o carregamento é de um fabricante situado em Campo Belo-MG.

Figura 26 – Armazenagem de biomassa



Fonte: O autor.

6 COMISSIONAMENTO DO PROJETO

Durante a instalação dos equipamentos, deverá ser observado os procedimentos para a execução dos trabalhos de montagem, ensaios de campo e posta em marcha dos equipamentos. A contratada será responsável pela supervisão da montagem dos equipamentos, e junto ao cliente ou seu representante, será corresponsável pela posta em marcha dos equipamentos. Portanto, a contratada deverá providenciar um ou mais supervisores com conhecimentos técnicos dos equipamentos, para supervisionar todas as tarefas que serão executadas, para colocação dos equipamentos em serviço. Para realização dos trabalhos acima citados, a contratada deve seguir o cronograma de montagem a ser estabelecido de comum acordo com o cliente. A contratada deverá prever a utilização de instrumentos e os demais componentes para os ensaios de campo fornecidos temporariamente por si mesmo e sob sua própria supervisão, sem ônus para o cliente. Os resultados destes ensaios deverão corresponder àqueles garantidos em contrato. Se houver diferença, o equipamento será prontamente reparado, sendo que, os custos de reparos e transporte devidos à rejeição nos ensaios de campo ficarão por conta da contratada. Os testes de performance deverão ser realizados no local e o funcionamento dos equipamentos dentro das condições contratuais deverá ser atestado pelo comprador através de um certificado de performance.

7 RESULTADOS

Tendo em vista todas as desvantagens com a operação de geração de vapor antiga que utilizava Gás como combustível, após todos os estudos e validações para avançar com os processos de implementação do projeto da nova caldeira, deu-se o início a etapa de construção, fase na qual os ganhos com o projeto já são previstos e a conclusão é bastante aguardada pela necessidade de Payback. Com a conclusão das obras o resultado final foi satisfatório, os objetivos alcançados e o avanço tecnológico para a empresa foi de suma importância.

Com a implementação da caldeira estudada, levando em consideração os gastos com custo do combustível, operação, energia elétrica, manutenção e terceirizados, foi contabilizado uma redução de 40% do valor de produção por tonelada de vapor, ressaltando também outros fatores positivos como o aumento da confiabilidade de produção, a contribuição com o meio ambiente e união de todos os participantes da implementação foram fatores predominantes para o sucesso do projeto. Aparenta um pouco insignificante a proporção de redução somente em uma tonelada produzida, porém colocando em uma situação de larga escala, a redução de custos é extremamente célebre.

Figura 27 – Investir na biomassa



Fonte: O autor.

Segundo Mill (2018), O uso da biomassa está em franca ascensão no Brasil – já responde por quase 10% da matriz energética brasileira – mas seu potencial de crescimento é ainda maior. Segundo diversos estudos, a biomassa, (junto com a energia eólica e solar), deve ser um dos tipos de energia que mais vai se desenvolver nos próximos anos.

CONCLUSÃO

Baseando-se nos resultados obtidos e nas discussões apresentadas neste trabalho, pode-se concluir que o estudo viabilizou o implemento de uma caldeira de biomassa em uma fábrica do ramo de nutrição animal utilizando como combustível o cavaco de eucalipto. As necessidades que ocasionaram o estudo de implementação, juntamente com as expectativas dos envolvidos no projeto de atentar aos ganhos alcançados pela conclusão do projeto foram sanadas e resultado final foi adequado aos padrões e metas estipuladas.

O resultado da redução do custo de produção por tonelada de vapor, além de contribuir para o ganho financeiro da empresa, também chegou no consumidor, pois uma vez que o processo de produção fica mais barato o produto final também acompanha a redução do custo. O projeto contribuiu também com o meio ambiente, antes utilizando o Gás como combustível para a caldeira o sistema emitia gases poluentes e hoje com utilização da biomassa na nova caldeira a emissão dos contaminantes é passado.

REFERÊNCIAS

- BARROS, Geraldo Sant'ana de Camargo et al. **AGRONEGÓCIO BRASILEIRO: Perspectivas, desafios e uma agenda para seu desenvolvimento**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Esalq/usp, Centro de Estudo Avançados em Economia Aplicada Cepea, 2006
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 13: normas reguladoras: caldeira e vasos de pressão**. Disponível em <<http://.mte.gov.br>>. Acesso em: 24 Jul. 20018.
- DUARTE. **Gás Natural: Utilização, Vantagens e Desvantagens**. 2017. Disponível em: <<https://todamateria.com.br/gas-natural-utilizacao-vantagens-e-desvantagens>>. Acesso em: 26 Jul. 2018;
- DURATEX. Duratex: **aumenta produção e comercialização de cavaco de eucalipto**, Disponível em <<http://.duratex.com.br/pt/noticias>>. Acesso em: 01 Setem. 20018.
- HUGOT, E. **Producción de Vapor**. In: Manual para ingenieros azucareros. 1.ed.(1963) 4.imp.México: Companhia Editorial Continental, S.A, 1976. p.603-705.
- MAGALHÃES. Biomassa. 2018. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/biomassa/>>. Acesso em: 26 Jul. 2018;
- MEMORIA22. **Família Suissa 1925 a 1950**. 2015. Disponível em: <<http://22memoria.blogspot.com/2015/11>>. Acesso em: 20 Jul. 2018;
- MITAMURA, S.S. **Notas de aula**. Treinamento de segurança na operação de caldeira, realização Mitamura Engenharia S/S Ltda. (Apostila). Londrina: 01 de mar.à 05 de abr. de 2005.
- MILL. Saiba como está o mercado de biomassa e seu potencial em gerar energia. 2018. Disponível em: <<http://mill.com.br/saiba-como-esta-o-mercado-da-biomassa-e-seu-potencial-em-gerar-energia/>>. Acesso em: 26 Setem. 2018;
- MURILO. Caldeira aquatubular. 2013. Disponível em: <<http://inspcal.blogspot.com/caldeira-aquatubular.html/>>. Acesso em: 29 Setem. 2018;
- PAZIAN, João Antonio. Desenvolvimento de uma metodologia para análise do potencial de cogeração de energia elétrica em usina de açúcar e álcool. 2004.
- PERA, Hildo. **Geradores de vapor de água: Caldeiras**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1966.
- PEREA, L.A. **Avaliação técnico-econômico do processo de cogeração em uma indústria sucroalcooleira**. 2005. 124 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

TOGAWA. Saiba como está o mercado de biomassa e seu potencial em gerar energia. 2018. Disponível em:
< <http://togawaengenharia.com.br/partes-que-compoem-uma-caldeira//>>. Acesso em: 25 Setem. 2018;