

UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá
2012

LEONARDO AUGUSTO RAMPAZO DE ALMEIDA

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA
SUBSTITUIÇÃO DE UM BANCO DE RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS DE
AQUECEDORES POR UMA CALDEIRA ALIMENTADA POR BIOMASSA DE
PALETES RESIDUAIS NA INDÚSTRIA DE LAMINAÇÃO.

Trabalho de graduação apresentado ao
Conselho de Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica da Faculdade de
Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade Estadual
Paulista, como parte dos requisitos
para a obtenção do diploma de
Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho

Guaratinguetá
2012

A447e	<p>Almeida, Leonardo Augusto Rampazo de Estudo da viabilidade técnica, econômica e ambiental da substituição de um banco de resistências elétricas de aquecedores por uma caldeira alimentada por biomassa de paletes residuais na indústria de laminação / Leonardo Augusto Rampazo de Almeida. - Guaratinguetá: [s.n.], 2012 52 f.: il. Bibliografia: f. 50-52</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012 Orientador: Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho</p> <p>1. Biomassa 2. Combustão I. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU 620.91</p>
-------	---

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA
SUBSTITUIÇÃO DE UM BANCO DE RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS DE
AQUECEDORES POR UMA CALDEIRA ALIMENTADA POR BIOMASSA DE
PALETES RESIDUAIS NA INDÚSTRIA DE LAMINAÇÃO.**

LEONARDO AUGUSTO RAMPAZO DE ALMEIDA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE “GRADUADO EM
ENGENHARIA MECÂNICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. ANTONIO WAGNER FORTI
Coordenador

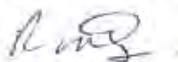
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. PEDRO MAGALHÃES SOBRINHO
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. CELSO EDUARDO TUNA
UNESP-FEG



Prof. RONNEY MANCEBO BOLOY
UNESP-FEG

Dezembro de 2012

*Dedico inteiramente tudo o que construí
à minha mãe, que por meio dos desafios divididos
e do exemplo de garra e total entrega,
moldou um homem, como uma extensão de si.*

“Ama-se mais o que se conquista com esforço.”
Benjamin Disraeli

*“A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original.”*
Albert Einstein

ALMEIDA, L. A. R. **Estudo da viabilidade técnica, econômica e ambiental da substituição de um banco de resistências elétricas de aquecedores por uma caldeira alimentada por biomassa de paletes residuais na indústria de laminação**. 2012. 53f. Trabalho (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

RESUMO

Tendo em vista a crescente demanda de combustíveis fósseis para abastecer os mecanismos da economia mundial, e tendo em vista também o lento processo de síntese do petróleo, faz-se necessário o desenvolvimento de novas fontes sustentáveis de energia, além do aprimoramento de alternativas já existentes, que sejam também competitivas na oferta energética e viáveis economicamente. Com base nisso, a biomassa mostra-se muito promissora no mercado energético mundial visto sua disponibilidade, aplicabilidade, e acima de tudo, o fato de considerar-se não emitir gases de efeito estufa, a título de estudo, se analisado o ciclo do carbono.

Nesse sentido, esse trabalho apresenta, por meio de uma análise ambiental, técnica e econômica, o impacto em uma indústria de laminação de alumínio da substituição da utilização de energia elétrica, em um de seus processos, por uma caldeira alimentada com biomassa proveniente de resíduos de paletes do processo de embalagem do produto acabado. Assim, além da redução de emissões de CO₂, ganhos financeiros são objetivados, visto que, a principal meta das corporações que demandam tal energia é a maximização de seus lucros.

PALAVRAS-CHAVE: Geração de energia. Energias sustentáveis. Sustentabilidade. Política energética. Biomassa.

ALMEIDA, L. A. R. **Study of the technical, economic and environmental feasibility of replacing electric heaters for a biomass boiler fueled by pallet waste from rolling industry.** 2012. 53f. Work (Graduation in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

ABSTRACT

Given the increasing demand for fossil fuels to power the engines of the global economy, and also the slow process of synthesis of oil, it becomes necessary to develop new sources of renewable energy in addition to improve promising sources that already exist, turning them competitive. Based on this, biomass is shown very promising between the most popular energy sources due to its availability, applicability, and above all, the fact of not emitting green house gases when analyzing the whole carbon cycle.

In this sense, this work presents, through an environmental, technical and economic analysis, the impact in an aluminum mill of replacing the use of electricity, in one process, by a boiler fueled with biomass from waste process of packaging the finished product with pallets. Thus, besides the reduction of CO₂ emissions, financial gains are targeted, since the main goal of the corporations that require such power is to maximize its profits.

KEYWORDS: Energy Generation. Sustainable energy. Sustainability. Energy policy. Biomass.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Matriz Energética Mundial (2006).....	12
FIGURA 2: Consumo médio global de petróleo.....	13
FIGURA 3: Volume global de reservas comprovadas de petróleo.....	14
FIGURA 4: Demanda energética real por grupo de equipamentos no ano de 2009.....	33
FIGURA 5: Representação simplificada de diferentes tipos de laminadores.....	34
FIGURA 6: Processo de laminação à quente.....	35
FIGURA 7: Esquema típico de um sistema automático de controle de planicidade.....	36
FIGURA 8: Modelo simplificado dos tanques de emulsão e suas respectivas resistências elétricas.....	37
FIGURA 9: Desenho técnico da caldeira selecionada e seus principais componentes – Planta.....	38
FIGURA 10: Desenho técnico da caldeira selecionada e seus principais componentes – Elevação.....	39
FIGURA 11: Desenho técnico da caldeira selecionada e seus principais componentes – Corte do perfil.....	39
FIGURA 12: Influência do preço da biomassa na receita e no Pay back.....	46
FIGURA 13: Vista de elevação da instalação do projeto.....	47
FIGURA 14: Vista da planta da instalação do projeto.....	48

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Maiores vantagens de combustíveis de biomassa.....	18
TABELA 2: Maiores desvantagens de combustíveis de biomassa.....	19
TABELA 3: Constituintes lignocelulósicos de algumas biomassas.....	20
TABELA 4: Informações da biomassa utilizada nas análises desse trabalho.....	21
TABELA 5: Parâmetros recomendados para a água.....	28
TABELA 6: Fatores de emissão de CO ₂ para o Gás Natural e Energia Elétrica.....	32
TABELA 7: Levantamento do consumo anual da planta por fonte de energia.....	32
TABELA 8: Porcentagem de emissões por fonte.....	33
TABELA 9: Potência instalada, demanda real de energia elétrica e potência a ser considerada nos cálculos do trabalho.....	38
TABELA 10: Parâmetros da caldeira selecionada.....	39
TABELA 11: Lista de componentes indicados na figura 9, figura 10 e figura 11.....	41
TABELA 12: Equações utilizadas no cálculo da redução anual das emissões de CO ₂	42
TABELA 13: Redução anual das emissões de CO ₂	42
TABELA 14: Equações utilizadas nos cálculos da análise financeira.....	44
TABELA 15: Análise financeira global e cálculo da Receita anual.....	45
TABELA 16: Custos com implementação e cálculo do Payback.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAL	- Associação Brasileira do Alumínio
AES	- Alternative Energy Resources
AIE	- Australian Institute of Energy
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
ASME	- American Society of Mechanical Engineers
BRP	- Biomass Research Project
CETESB	- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
EDTA	- Ácido Etilenodiamino Tetra-Acético
EE	- Energia Elétrica
EUA	- Estados Unidos da América
GEE	- Gases de Efeito Estufa
GU	- Grau de Utilização
IEA	- International Energy Agency
IPCC	- Intergovernmental Panel on Climate Change
MCT	- Ministério da Ciência e Tecnologia
NR 13	- Norma Regulamentadora 13
NTA	- Nitrilo Acetato
O&M	- Operação e Manutenção
OCDE	- Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PCI	- Poder Calorífico Inferior
PCS	- Poder Calorífico Superior
PEMC	- Política Estadual de Mudanças Climáticas
pH	- Potencial de Hidrogênio

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVOS.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 BIOMASSA.....	16
2.1.1 BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA NEUTRA EM CARBONO.....	16
2.1.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DE COMBUSTÍVEIS DE BIOMASSA..	17
2.1.3 FONTES DE BIOMASSA.....	18
2.1.4 COMPOSIÇÃO DA BIOMASSA.....	18
2.1.5 BIOMASSA UTILIZADA NO ESTUDO DE CASO.....	20
2.2 CALDEIRAS PARA PRODUÇÃO DE VAPOR.....	20
2.2.1 TIPOS DE CALDEIRAS E SEUS PRINCIPAIS ACESSÓRIOS.....	21
2.2.2 TRATAMENTO DE ÁGUA DE CALDEIRAS.....	24
2.2.2.1 MÉTODOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	25
2.2.2.2 MANUTENÇÃO DAS CALDEIRAS.....	28
2.2.2.3 CONTROLE QUÍMICO.....	28
2.2.2.4 LIMPEZA QUÍMICA DE CALDEIRAS.....	29
2.2.2.5 PROTEÇÃO DE CALDEIRAS CONTRA CORROSÃO.....	29
2.3 POLÍTICA ESTADUAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PENC).....	29
3 ESTUDO DE CASO: INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE.....	31
4 ESTUDO DE CASO: PROPOSTA PARA A REDUÇÃO DAS EMISSÕES.	33
4.1 O PROCESSO DE LAMINAÇÃO À QUENTE DE ALUMÍNIO.....	34
4.1.1 SISTEMA DE RESFRIAMENTO DOS CILINDROS DE TRABALHO.....	36
4.1.2 SISTEMA DE AQUECIMENTO DA EMULSÃO POR RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS.....	37
4.3 SELEÇÃO DA CALDEIRA.....	38
4.4 REDUÇÃO DAS EMISSÕES.....	40
5 ESTUDO DE CASO: IMPACTOS ECONÔMICOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO.....	43
6 MODELO DO TRABALHO IMPLEMENTADO.....	47
7 COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES.....	49
REFERÊNCIAS.....	50

1. INTRODUÇÃO

O conceito de tecnologia provém da composição de técnica e ciência. A técnica refere-se ao conhecimento adquirido por meios empíricos, estudos e experiências práticas em situações anteriores, em que tanto as atividades bem sucedidas como as falhas são parte do mecanismo de desenvolvimento. Por outro lado, a ciência se fundamenta e se estrutura em estudos e análises teóricas sob os mais diversos campos do conhecimento. Um dos principais fatores que impactaram na evolução tecnológica da humanidade foi a descoberta e posterior aperfeiçoamento das matrizes energéticas, principalmente após a revolução industrial, quando houve uma grande mudança na relação sociedade-natureza e se estabeleceram novas formas de produção sob um novo ritmo de trabalho.

Com grande impacto nesse contexto despontam os combustíveis, que em maior ou menor grau são capazes de alimentar sistemas dos mais simples aos mais complexos, como motores, ciclos de potência, sistemas de refrigeração, e os mais diversos elementos desenvolvidos para atender e suprir as necessidades humanas. Dessa forma, a forte e direta relação entre consumo energético e desenvolvimento tecnológico torna a matriz energética um fator impulsionador ou limitante no desenvolvimento econômico de uma nação.

A Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), formada por 30 países desenvolvidos, são historicamente os maiores consumidores mundiais de energia. Segundo dados estatísticos do IEA, a OCDE responderam por cerca de 47,3% do consumo de toda energia primária absorvida no ano de 2006. Em termos de consumo energético, a matriz mundial reflete como as economias se baseiam no petróleo como principal combustível para suprir suas demandas, como observado na Figura 1.

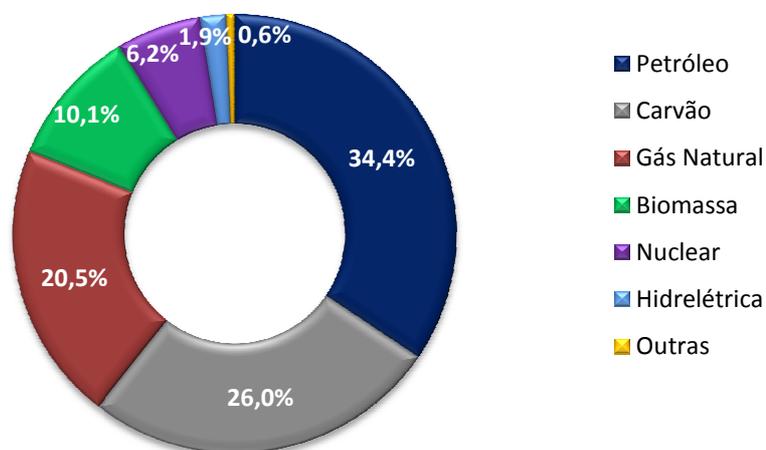


Figura 1: Matriz Energética Mundial (2006)

Fonte: ANEEL

O petróleo e seus derivados se tornaram, ao longo do século XX, não só a principal fonte primária da matriz energética mundial, mas também insumo para praticamente todos os setores industriais. Partindo do histórico desse recurso natural, nota-se a partir de meados do século XIX, o petróleo começando a ser aplicado em maior escala na substituição do óleo de baleia para a iluminação, na substituição do carvão mineral e na produção de vapor. Entretanto, sua utilização aumentou significativamente após a chamada II Revolução Industrial, em 1930, com o surgimento do motor a explosão.

A posse e controle das reservas petrolíferas e bases de refino, no século XX, representaram vantagens estratégicas por meio da segurança e estabilidade em setores como o de transportes, eletricidade e comércio exterior (exportação do óleo e seus derivados), ou seja, o recurso natural passou a representar poder político e econômico para seus detentores. Dessa forma, rapidamente sua posse impactou na estrutura geopolítica mundial, e assim como provocou acentuado desenvolvimento social e econômico, também foi responsável por crises (1973 e 1979) e guerras (Guerra do Golfo e Iraque) internacionais.

Atualmente, de acordo com dados estatísticos da BP Global, se o consumo de petróleo e o volume das reservas mundiais comprovadas permanecerem nos níveis atuais, o estoque do óleo no planeta se esgotará em aproximadamente 51 anos, número frequentemente apresentado pela mídia e até mesmo em publicações nos últimos cinco anos. Contudo, conforme observa-se nas figuras 2 e 3, o consumo global cresceu 31,8% nos últimos 20 anos, enquanto as reservas comprovadas de petróleo aumentaram em 60% no mesmo período, dessa forma 51 anos para o fim do recurso não é uma boa estimativa.

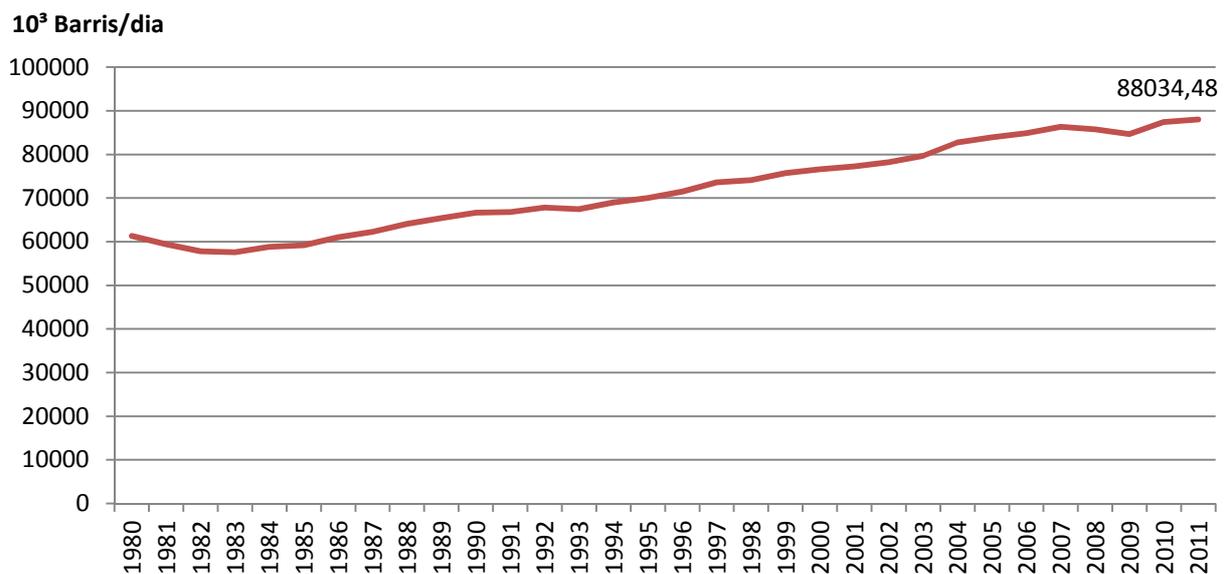


Figura 2: Consumo médio global de petróleo

Fonte: *Estatistical Review of World Energy full Report 2012 - BP Global*

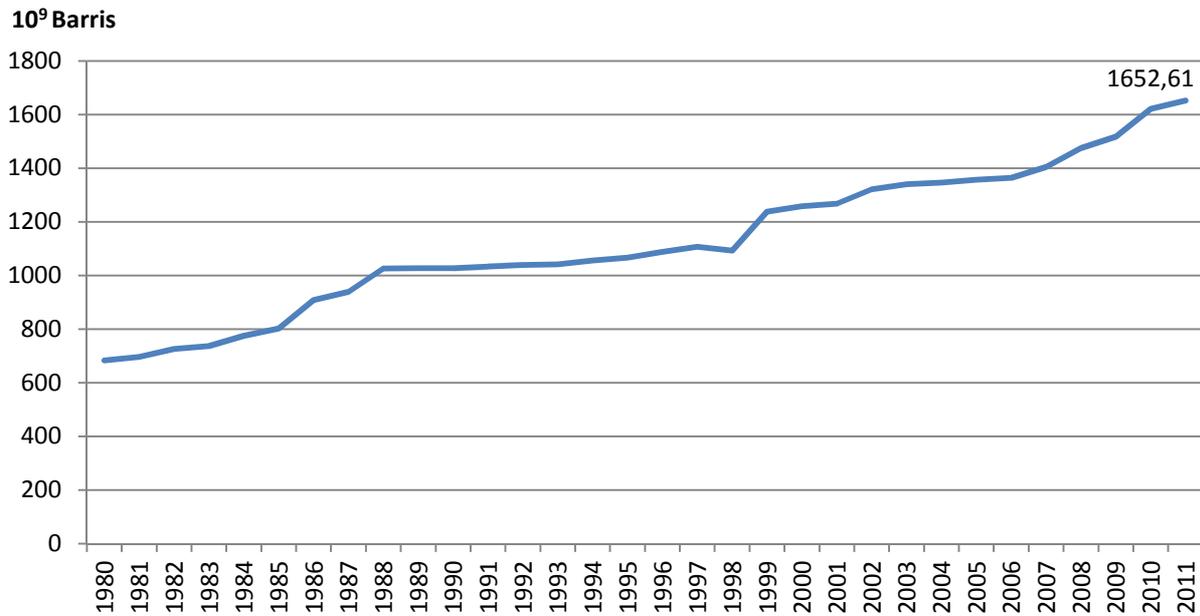


Figura 3: Volume global de reservas comprovadas de petróleo

Fonte: Statistical Review of World Energy full Report 2012 - BP Global

Apesar da crescente descoberta de novas reservas, estas são em sua maioria de difícil exploração, assim como o pré-sal, e de fato a produção natural de petróleo por meio da decomposição de matéria orgânica no solo é um processo extremamente lento se comparado ao consumo praticado a partir de 1930. Dessa forma, mesmo 51 anos sendo uma estimativa pouco precisa, o petróleo se esgotará no longo prazo e seus preços tendem a continuar em elevação, reduzindo assim, sua competitividade frente a demanda global. Ou seja, alternativas para a matriz energética mundial devem ser desenvolvidas e implementadas em nosso país, assim como acontece atualmente em países como Alemanha, tido como referência nesse setor.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo global

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma alternativa para a substituição de formas convencionais de geração e utilização de energia por meio do estudo técnico, financeiro e ambiental da implementação de uma caldeira alimentada por biomassa, onde a oferta desse insumo parte dos próprios processos internos à indústria.

1.2.2 Objetivos específicos

Por meio da alimentação de uma caldeira a vapor com paletes descartados no processo de embalagem, objetiva-se reduzir, em toneladas equivalentes de CO₂, as emissões da companhia de forma a atender as metas estabelecidas pela Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC).

Desenvolver a análise financeira global da implementação do projeto, de forma a apontar o Pay Back e possíveis ganhos financeiros do trabalho. Dessa forma, além de positivos ganhos ambientais, o impacto na redução de custos evidenciaria, frente à alta direção, sua implementação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Biomassa

Biomassa é qualquer matéria orgânica com o potencial de ser transformada em energia, energia essa proveniente da solar armazenada na matéria por meio do processo bioquímico da fotossíntese. Seja de origem agrícola (cana de açúcar, milho, soja, entre outros), de origem florestal na qual se enquadra basicamente a madeira de diversos tipos de espécies, ou de rejeitos industriais e urbanos. O insumo em questão pode ser utilizado para suprir uma ampla variedade de necessidades energéticas, incluindo a geração de eletricidade, calor para processos industriais, aquecimento para casas e combustíveis para veículos. A conversão da biomassa para uma forma útil de energia, bioenergia, pode ser alcançada por meio de diferentes tecnologias classificadas basicamente em processos termoquímicos e processos bioquímicos ou biológicos (ANEEL, 2008).

A biomassa é uma fonte de produção energética com um dos maiores potenciais de crescimento nos próximos anos, tanto no âmbito global quanto nacional, e atualmente é uma das mais cogitadas alternativas para a diversificação da matriz energética e consequente diminuição da dependência do uso de petróleo. Levando em consideração o que já se pratica nos dias atuais, biocombustíveis como o etanol e o biodiesel, já são realidade e ocupam grande parte do mercado em países como o Brasil por exemplo.

Uma das principais barreiras para a utilização da bioenergia em detrimento a outras formas de energia ou combustíveis é a baixa eficiência ainda encontrada nos processos de transformação e geração devido à alta umidade encontrada na matéria prima disponível e comercializada, fato que se deve a poucos estudos, especialização e investimentos. Além disso, a necessidade de espaço físico para o seu processamento maior do que praticada em outras fontes representa um grande revés frente a sua aplicação (ANEEL, 2008).

2.1.1 Biomassa como fonte de energia neutra em carbono

Quando a biomassa é queimada, ou utilizada após sua conversão em outros tipos de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos (como por exemplo carvão vegetal, etanol, metano), o carbono contido na biomassa reage com o oxigênio presente no ar para a formação do dióxido de carbono, no qual é lançado na atmosfera. Em combustão plena a quantidade de

dióxido de carbono produzido é igual a quantidade tomada da atmosfera durante o estágio de cultivo. Dessa forma, não há adição líquida de CO₂, e uma vez cultivada, a biomassa pode ser considerada um sumidouro de carbono. Esse fato é conhecido como o ciclo do carbono ou emissão zero de carbono. Em contraste, quando combustíveis fósseis são queimados há a adição líquida de CO₂ na atmosfera, como pode ser observado nos últimos 200 anos, quando a somatória do dióxido de carbono emitido pelo homem alcança valores jamais alcançados anteriormente (ABBASI, 2010).

Conforme observado no processo natural, se deixada em repouso no solo, a biomassa irá se decompor após um longo período de tempo, emitindo dióxido de carbono, e assim, reduzirá gradativamente sua reserva e potencial energético. Conseqüentemente, por meio da queima essa reserva energética será liberada rapidamente, porém de forma útil (AIE, 2010).

2.1.2 Vantagens e desvantagens de combustíveis de biomassa.

Algumas das vantagens e desvantagens da utilização de biomassa são mostradas na Tabela 1 que se segue.

Tabela 1: Maiores vantagens de combustíveis de biomassa

VANTAGENS

Renovável e inesgotável fonte de combustível.

Normalmente possui baixo conteúdo de cinzas, C, S e N.

Alta concentração de matéria volátil.

Altamente reativo durante processos de conversão de energia.

Mitigação de emissões que representam riscos (CH₄, CO₂, NO_x e SO_x).

Captura pelas cinzas de substâncias tóxicas durante a combustão.

Fonte relativamente barata.

Diversificação das fontes de combustíveis e segurança energética.

Criação de novos empregos.

Potencial utilização de solos pobres e restauração de terras degradadas.

Redução de dejetos de biomassa.

Podem ser utilizados em conjunto com combustíveis fósseis para a redução de emissões e obtenção de ganhos econômicos.

Terras utilizadas no plantio podem também ser utilizadas para outros propósitos, como

Tabela 1. Continuação.

conservação, hospedagem, resorts ou agricultura.

A eliminação de dejetos pode reduzir o número aterros, assim como disponibilizar mais espaço físico.

Tabela 2: Maiores desvantagens de combustíveis de biomassa.

DESVANTAGENS

Possíveis danos ao solo e à biodiversidade.

Ainda não é competitivo em relação a combustíveis fósseis.

Falta de terminologia, sistemas de classificação e padrões mundiais.

Normalmente alta umidade, Cl, K, Na e Mn.

Baixa densidade energética.

Potencial concorrência com o cultivo de alimentos.

Odor, e emissão de fuligens.

Alto custo com plantio, coleta, transporte e armazenagem.

Fontes de biomassa são relativamente difusas e podem não ser suficientes para um impacto nacional como uma fonte de energia.

Fonte: AES e BRP. 2010.

2.1.3 FONTES DE BIOMASSA

As duas principais fontes de biomassa são, os já citados, plantio e resíduos provenientes de desperdícios em geral. O cultivo da bioenergia é basicamente composto pelo plantio de madeira que dará origem a lenha, e pela agricultura. Já a matéria com origem dos desperdícios, provém de resíduos agrícolas, esgoto, resíduos florestais, dejetos sólidos municipais e resíduos de atividades pecuárias. (BOYLE, 2004).

2.1.1 COMPOSIÇÃO DA BIOMASSA

A identificação e a caracterização da composição química de um dado combustível sólido são as primeiras e mais importantes etapas durante a investigação e aplicação de tal combustível. Essa composição é um código único e fundamental que determina e caracteriza

suas propriedades, sua qualidade, potencial aplicação e problemas ambientais. Por esse fato, conhecer bem fisicamente, quimicamente e geoquimicamente é essencial para a caracterização do combustível sólido.

Biomassa possui quantidades variáveis de celulose, hemicelulose e lignina, além de pequenas quantidades de lipídios, proteínas, açúcares simples, amidos, constituintes inorgânicos e frações de água. Dentre estes compostos, celulose, hemicelulose e lignina são os três principais constituintes, e sua combinação é chamada lignocelulose, na qual compreende em torno de metade de toda a matéria produzida no processo de fotossíntese. Dessa forma, esse composto representa a mais abundante fonte de energia orgânica renovável do planeta (ZHANG, 2010).

Celulose é o componente em maior quantidade em materiais lignocelulósicos seguido pela hemicelulose e só então pela lignina. Enquanto celulose e hemicelulose são macromoléculas constituídas por diferentes açúcares, a lignina é um polímero aromático sintetizado basicamente do fenil-propano. A composição e proporção desses componentes em algumas plantas são ilustradas na Tabela 3 que se segue:

Tabela 3: Constituintes lignocelulósicos de algumas biomassas.

Biomassa	Hemicelulose [%]	Celulose [%]	Lignina [%]
Papel	0	85 - 99	0 - 15
Folhas	85 – 80	15 – 20	0
Bagaço de cana	27 - 32	32 - 44	19 – 24
Resíduos de banana	15	13	14
Jornal	25 - 40	40 - 55	18 – 30
Gramado	35 - 50	25 - 40	10 – 30
Lenha mole	24	46	28
Resíduos urbanos	29	51	24
Biomassa em geral	20 - 40	40 - 60	10 – 25

Fonte: (DEMIRBAS, 2004)

A análise estrutural da biomassa é particularmente importante no desenvolvimento do processo de transformação em outros combustíveis, processos químicos em geral e

especialmente no fenômeno da combustão. Além disso, a análise da estrutura representa importante função no cálculo do PCS e PCI de qualquer biomassa.

2.1.5 Biomassa utilizada no estudo de caso.

Tendo em vista que o objetivo deste trabalho visa um estudo geral de aplicação de uma fonte alternativa e renovável de energia, a biomassa como combustível para a produção de vapor deve ser selecionada por meio dos valores médios de preços, materiais e PCIs encontrados comercialmente no volume necessário para aplicação industrial, pois é mais interessante para a análise a aplicação de uma biomassa que de fato será utilizada pelas companhias do que uma análise baseada em um combustível ideal. A partir disso, foi selecionado o cavaco de eucalipto, no qual pode ser adquirido em todas as regiões do país, possui um valor intermediário de PCI e seu custo não é nem o mais elevado nem o mais barato. As informações referentes a essa biomassa são apresentadas na Tabela 4:

Tabela 4: Informações da biomassa utilizada nas análises desse trabalho.

	Comprimento [cm]	Umidade Relativa [%]	PCI [kCal/kg]	Preço [R\$/ton]
Resíduo de Eucalipto	3 a 8	25 a 40	3600 a 3850	168,20

Fonte: Propostas comerciais realizadas com empresas especializadas localizadas no estado de São Paulo e na região sul do estado de Minas Gerais.

2.2 Caldeiras para produção de vapor

Caldeiras a vapor são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, excetuando-se os refervedores e equipamentos similares utilizados em unidades de processo (NR13). Sua aplicação é ampla no meio industrial e também na geração de energia elétrica nas chamadas centrais termelétricas. Portanto, as atividades que necessitam de vapor para o seu funcionamento, em particular, vapor de água pela sua abundância, têm como componente essencial para sua geração a caldeira. Esse equipamento, por operar com pressões acima da pressão atmosférica, sendo na grande parte das aplicações industriais até quase 20 vezes maior e nas aplicações para a produção de energia elétrica de 60 a 100 vezes maior, podendo alcançar valores de até 250

vezes mais, constitui um risco eminente na sua operação. Vários são os aspectos relacionados ao funcionamento das caldeiras, como os principais conceitos da termodinâmica, tipos e classificação das caldeiras, seus acessórios principais, riscos, tratamento da água de caldeiras e norma regulamentadora N° 13 (BAZZO, 1995).

A primeira tentativa do homem em produzir vapor na evolução da história da humanidade foi no século I a.C., quando Heron de Alexandria concebeu um aparelho que vaporizava água e movimentava uma esfera em torno de seu eixo. Esse foi o aparelho precursor das caldeiras e das turbinas a vapor. Entretanto, foi na época da Revolução Industrial que teve impulso o uso do vapor sob pressão para movimentar as máquinas. Muitos, entre cientistas, artífices e operários, ocuparam-se por longos anos na evolução dos geradores de vapor. Os mais notáveis trabalhos neste campo se devem a Denis Papin na França, a James Watt na Escócia e a Wilcox nos Estados Unidos. Por volta de 1835, haviam aproximadamente 6 mil teares operantes a vapor (BAZZO, 1995).

2.2.1 Tipos, classificação das caldeiras e seus principais acessórios.

Atualmente as caldeira de uso industrial produzem até 10 toneladas ou mais de vapor por hora e o fator limitante da capacidade de produção de vapor é a dimensão da unidade e as propriedades metalúrgicas dos materiais utilizados. Aliado aos avanços da tecnologia na produção de vapor, houve a necessidade de avanços nas técnicas de proteção tanto dos operadores e dos equipamentos geradores de vapor, quanto da comunidade ao redor da fábrica. Foi a partir de um dos acidentes mais catastróficos ocorridos durante a evolução industrial, o qual aconteceu em 1905 na cidade de Massachusetts/EUA, onde morreram 58 pessoas, que a sociedade alertou-se para a necessidade de normas e procedimentos para a construção, manutenção e operação das caldeiras. Assim, foram criados os códigos da American Society of Mechanical Engineers (ASME), o qual constitui atualmente a principal fonte de referência normativa sobre caldeiras e vasos de pressão do mundo.

Nos geradores de vapor, a energia térmica é liberada através da queima de combustível sólido (carvão, lenha), líquido (derivados do petróleo), gasoso (gás natural), por resistências elétricas (eletrotermia) e por fontes não convencionais (fissão nuclear, energia solar, energia geotérmica). A energia térmica liberada na queima de qualquer uma das fontes citadas deve ser adequadamente transferida para as superfícies de absorção de calor. Dessa forma, existem diversos tipos de caldeiras, as quais podem ser classificadas segundo os mais diversos

critérios. Porém, por meio de uma classificação mais genérica, as caldeiras se classificam em FLAMOTUBULARES e AQUATUBULARES (BAZZO, 1995).

As caldeiras flamotubulares se caracterizam pela circulação interna dos gases de combustão, ou seja, os tubos conduzem os gases por todo o interior da caldeira. São construídas para operar com pressões limitadas, pois as partes internas submetidas à pressão são relativamente grandes, inviabilizando o emprego de chapas de maiores espessuras. Existem caldeiras flamotubulares verticais, porém, atualmente, as caldeiras horizontais são muito mais comuns, podendo ser fabricadas com fornalhas lisas e corrugadas. Nas caldeiras flamotubulares que operam com combustíveis líquidos ou gasosos, o queimador é instalado na parte frontal da fornalha. Nessa, predomina a troca de calor por radiação luminosa, enquanto nas partes posteriores da caldeira (caixas de reversão e tubos) a troca de calor se processa essencialmente por radiação gasosa e convecção. A fornalha e os tubos ficam circundados de água e são ancorados nos espelhos (discos externos) por solda ou por mandrilagem. Os espelhos são ancorados por solda ao tubulão externo. Esses estão submetidos à pressão interna do vapor e os tubos e fornalha estão submetidos à pressão externa. As caldeiras flamotubulares, em razão de seu aspecto construtivo, são limitadas em produção e pressão, que em geral não ultrapassam valores de 15 ton/h de produção de vapor e 18 bar de pressão de trabalho (BAZZO, 1995).

As caldeiras aquatubulares se caracterizam pela circulação externa dos gases de combustão e os tubos conduzem massa de água e vapor. Em termos de produção, a geração de vapor é maior que a das flamotubulares. As caldeiras aquatubulares são de utilização mais ampla, pois possuem vasos pressurizados internamente e de menores dimensões relativas. Isso viabiliza econômica e tecnicamente o emprego de maiores espessuras e, portanto, a operação em pressões mais elevadas. Outra característica importante desse tipo de caldeira é a possibilidade de adaptação de acessórios, como o superaquecedor, que permite o fornecimento de vapor superaquecido, necessário ao funcionamento das turbinas.

Nas caldeiras aquatubulares o volume de água é distribuído por um grande número de tubos submetidos, exteriormente, ao contato dos gases de combustão. Os tubos podem ser retos ou curvados, dispostos de forma a garantir uma eficiente circulação da água em ebulição. A circulação natural da água está condicionada às unidades que operam a baixas pressões de trabalho, pois valores próximos à pressão crítica tornam a circulação natural deficiente (BAZZO, 1995).

Existem, embora sejam raras, caldeiras que possuem partes flamotubulares e partes aquatubulares, constituindo, dessa forma, o que se pode denominar de caldeiras mistas. As

caldeiras flamotubulares são em geral, compactas, isto é, saem prontas da fábrica, restando apenas sua instalação no local em que serão operadas. As caldeiras aquatubulares, porém, além do tipo compacto, podem ser do tipo montadas em campo, quando seu porte justificar sua construção no local de operação.

Após a queima do combustível na fornalha, os gases quentes percorrem o circuito dos gases, desenvolvendo diversas passagens para melhor aproveitamento do calor, sendo, finalmente, lançados na atmosfera através da chaminé. É evidente que, para essa movimentação, há necessidade de diferenças de pressões para promover a retirada dos gases queimados e possibilitar a entrada de nova quantidade de ar e combustível. Dá-se o nome de tiragem ao processo que retira os gases mediante a criação de pressões diferenciais na fornalha. Portanto, as caldeiras podem ser de tiragem natural, quando esta se estabelece por meio da chaminé, e de tiragem forçada quando, para produzir a depressão, são utilizados ventiladores.

Finalmente, de acordo com BAZZO (1995) para os propósitos da NR 13, as caldeiras são classificadas em 3 categorias, conforme segue:

- Caldeiras da categoria A são aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 1960 kPa (19,6 bar = 19,98 kgf/cm²).
- Caldeiras da categoria C são aquelas cuja pressão de operação é igual ou inferior a 58 kPa (5,8 bar = 5,9 kgf/cm²) e o volume interno é igual ou inferior a 100 litros.
- Caldeiras da categoria B são todas aquelas que não se enquadram nas categorias anteriores.

As unidades geradoras de vapor necessitam de equipamentos para controle e operação, tais como:

- Sistema de controle da água de alimentação;
- Indicador de nível;
- Válvulas de segurança;
- Sopradores de fuligem;
- Injetores.
- Outros

Os sistemas de controle da água de alimentação devem regular o abastecimento de água ao tubulão de evaporação para manter o nível entre limites desejáveis. Esses limites devem ser

observados no indicador de nível. A quase totalidade das caldeiras é equipada com sistemas automatizados, que proporcionam maior segurança, maiores rendimentos e menores gastos de manutenção.

Os indicadores de nível tem por objetivo indicar o nível de água dentro do tubulão de evaporação. Em geral, são constituídos por um vidro tubular.

As válvulas de segurança são necessárias para prevenir eventual ascensão na pressão normal de trabalho da caldeira. Toda caldeira deve possuir pelo menos uma válvula de segurança, embora o recomendado sejam duas. As válvulas de segurança devem ser capazes de descarregar todo o vapor gerado sem causar aumento de pressão superior a 10% da pressão de projeto.

Os sopradores de fuligem são muito usados nas caldeiras aquatubulares e são instalados em pontos estratégicos da mesma. Servem para remover fuligem ou depósitos de cinzas das superfícies de aquecimento e funcionam, em geral, com vapor seco. Esse sai de tubeiras a alta velocidade, podendo atingir tubos distantes 2 a 3 metros. A remoção do material particulado da superfície de aquecimento pode melhorar o rendimento da caldeira de 2 a 10%.

O injetor, basicamente é um dispositivo empregado como alimentador auxiliar de caldeiras para situações de falta de energia elétrica. A maioria das caldeiras utiliza ainda pressostatos, que atuam em conjunto com os queimadores ou com alimentadores de combustível. Os pressostatos mantêm a pressão dentro de uma faixa admissível de operação. É imprescindível também o uso de manômetros nas caldeiras, os quais devem ser ligados diretamente ao espaço ocupado pelo vapor. Devem ser graduados nas unidades apropriadas com aproximadamente duas vezes a pressão de trabalho e, em nenhum caso, inferior a 1,5 vezes. Cada caldeira deverá dispor de uma ligação para um manômetro aferidor.

Outros acessórios são ainda importantes: sensor de chama (atuam no queimador), válvula de purga (instaladas no ponto mais baixo da caldeira), válvula de bloqueio (instalados em toda saída de vapor da caldeira), etc. (BAZZO, 1995).

2.2.2 Tratamento de água de caldeiras.

As principais grandezas de qualidade da água são:

• **Dureza Total.** Representa a soma das concentrações de cálcio e magnésio na água. Esses sais possuem a tendência de formar incrustações sobre as superfícies de aquecimento. A água em relação à dureza pode ser classificada como:

- Até 50 ppm de CaCO_3 mole
- 50 a 100 ppm de CaCO_3 meio dura
- acima de 100 ppm de CaCO_3 dura

• **pH.** É um meio de se medir a concentração de ácido ou soda em uma água. Em outras palavras é a maneira de se medir a acidez ou a alcalinidade de uma amostra. Para a determinação do pH usa-se uma escala que varia de 1 a 14, sendo que de 1 a 6 a água é ácida e de 8 a 14, a água é alcalina. Com pH igual a 7 a água é neutra. Quanto mais ácida é uma água, mais corrosiva ela é.

2.2.2.1 Métodos de tratamento de água

Os métodos de tratamento podem ser divididos em dois grandes grupos:

• EXTERNOS

- Clarificação
- Abrandamento
- Desmineralização
- Desgaseificação
- Remoção de sílica

• INTERNOS

- A base de fosfato
- A base de quelatos
- Sulfito de sódio
- Hidrazina
- Soda

2.2.2.1.1 MÉTODOS EXTERNOS

De acordo com BAZZO (1995), os principais métodos externos de tratamento de água são:

- **Clarificação.** O processo consiste na prévia floculação, decantação e filtração da água com vistas a reduzir a presença de sólidos em suspensão.

- **Abrandamento.** Consiste na remoção total ou parcial dos sais de cálcio e magnésio presentes na água, ou seja, consiste na redução de sua dureza.

- **Desmineralização** ou troca iônica. Nesse processo são utilizadas certas substâncias sólidas e insolúveis, das mais variadas origens e natureza química, que possuem a propriedade de, quando em contato com soluções de íons, trocar esses íons por outros de sua própria estrutura sem que haja alterações de suas características estruturais. Existem dois tipos de trocadores: de cátions e de ânions.

- **Desgaseificação.** São empregados equipamento especiais que aquecem a água e desta forma, são eliminados os gases dissolvidos. Pode ser utilizado vapor direto para o aquecimento da água a ser desgaseificada.

- **Remoção de sílica.** A sílica produz uma incrustação muito dura e muito perigosa. Os tratamentos normalmente empregados no interior da caldeira não eliminam a sílica. Os métodos mais usados para a remoção da sílica são a troca iônica e o tratamento com óxidos de magnésio calcinado.

2.2.2.1.2 Métodos internos.

Os tratamentos internos se baseiam na eliminação da dureza, ao controle do pH e da sua alcalinidade, na eliminação do oxigênio dissolvido e no controle dos cloretos e do teor total de sólidos.

- **Eliminação da dureza.** Os sais de cálcio e de magnésio precipitam como carbonatos e sulfatos, formando os depósitos duros e isolantes do calor que são as incrustações. Existem dois métodos diferentes de eliminar a dureza:

- **Precipitação com fosfatos.** Esses reagem com os sais de cálcio e de magnésio formando um produto insolúvel que não adere às partes metálicas da caldeira. O precipitado forma um lodo que se acumula no fundo da caldeira, sendo eliminado regularmente por meio de purgas.

• **Tratamento com quelatos.** Nesse tratamento não há precipitação do cálcio, nem do magnésio. Forma, porém, produtos solúveis não em forma de lama. Os quelantes mais utilizados são o EDTA e o NTA.

• **Controle do pH e da alcalinidade.** Os produtos empregados no controle do pH e da alcalinidade são a soda a 50% e a soda (hidróxido de sódio) em lentilhas. Via de regra não é necessário a adição de ácidos para o controle do pH e da alcalinidade por que as águas de alimentação são geralmente bastante ácidas.

• **Eliminação do oxigênio dissolvido.** Isso é de vital importância para o controle da corrosão. A eliminação é feita pela reação entre certos agentes redutores e o O₂. Os dois produtos mais usados são o sulfito de sódio e a hidrazina.

• **Controle do teor de cloretos e sólidos totais.** Quando a concentração de cloretos se torna muito alta, podem aparecer problemas de corrosão. Quando o teor de sólidos é alto, podem aparecer problemas de arraste. A forma de controlar esses teores é através de purgas sempre que se fizer necessário.

Na tabela 5 a seguir são mostrados os valores recomendados para os diversos parâmetros anteriormente mencionados, em função da pressão de trabalho da caldeira.

Tabela 5: Parâmetros recomendados para a água.

PARÂMETRO ¹	Pressão de trabalho da caldeira [kgf/cm ²]					
	Até 13	13,1 a 20	20,1 a 30	30,1 a 40	40,1 a 50	50,1 a 60
pH	11,0	11,0	11,0	10,5	10,5	10,0
Dureza	0	0	0	0	0	0
Alc.M. Orange (C/CaCO ₃)	< 800	< 700	< 600	< 500	< 400	< 300
Alc.Hidróxida (C/CaCO ₃)	150 – 300	150 – 250	100 – 150	80 – 120	30 – 120	80 – 100
Cloretos (C/Cl)	< 250	< 200	Água desmineralizada			
Fosfatos (C/PO ₄)	30 – 80	30 – 60	30 – 60	20 – 50	20 – 40	15 – 30
Sulfito (C/SO ₃)	40 - 60	40 – 60	40 – 60	40 – 60	20 – 40	20 – 40
Sólidos Totais	3000	3000	2500	2000	2000	2000

¹ Parâmetros: Valores em mg/l

Fonte: (BAZZO, 1995)

2.2.2.2 Manutenção das caldeiras.

Todo tratamento para ter bons resultados depende de um controle eficiente e sistemático, quer dos parâmetros químicos e físicos, como de certas operações e procedimentos.

2.2.2.3 Controle químico.

Deve ser estabelecido um programa de coleta e execução de análises que leve em conta principalmente a pressão de trabalho da caldeira, a produção de vapor e as exigências de qualidade do vapor. Em geral, para caldeiras de baixa pressão, é recomendada uma análise química pelo menos semanal e que inclua os seguintes itens:

- pH;
- Alcalinidade;
- Dureza;
- Fosfatos;
- Sulfitos ou hidrazina;
- Cloretos;
- Sólidos totais.

É comum a realização de análises mais regulares para itens como o pH, dureza e cloretos, pela facilidade de execução. Para caldeiras de alta pressão, utiliza-se pelo menos uma análise diária da água da caldeira, sendo analisados todos os itens acima mencionados.

Cuidado especial deve ser tomado com a coleta da amostra para análise. Antes da coleta deve ser feita uma purga para que seja eliminado qualquer depósito nos tubos e no fundo da caldeira. Deve ser previsto também o resfriamento da amostra de água coletada para melhorar sua concentração. Caso a análise não seja feita imediatamente, é necessário evitar o contato com o ar.

De fundamental importância é a correta utilização das purgas. Em caldeiras que são regularmente apagadas deve-se fazer uma purga maior imediatamente antes de se iniciar o fogo ou durante o período de aquecimento da caldeira.

Existem diversas maneiras de se adicionar os produtos químicos em uma caldeira. Pode-se adicionar todos os produtos de uma só vez ou um por vez. Mas o mais correto é

misturar todos os produtos e adicionar à medida que a bomba de alimentação alimenta a caldeira. Isso pode ser conseguido colocando-se uma bomba dosadora ligada junto com a bomba de alimentação (BAZZO, 1995).

2.2.2.4 Limpeza química de caldeiras.

As superfícies internas da caldeira, ainda que a água seja bem tratada, acumulam certa quantidade de depósitos de várias naturezas através do tempo. A experiência tem mostrado que uma limpeza química regular (a cada 5 ou 6 anos) apresenta bons resultados. Observa-se assim, o desaparecimento de certos problemas de corrosão que são notados quando não é feita a limpeza regularmente. O rendimento da caldeira também melhora, podendo chegar a uma redução do consumo de até 20%.

Existem vários agentes de limpeza, mas o mais usado é o ácido clorídrico misturado a um inibidor para evitar a corrosão acentuada das partes internas da caldeira (BAZZO, 1995).

2.2.2.5 Proteção de caldeiras contra corrosão

Esta proteção baseia-se fundamentalmente em evitar a entrada de ar na caldeira. O método mais fácil de conseguir impedir esta entrada é pelo enchimento da caldeira com água (a própria água de alimentação). Também pode ser feito um selo com nitrogênio, que é um gás inerte. Nesse caso, injeta-se N_2 no espaço vazio da caldeira até uma pressão de 3 a 5 kgf/cm^2 .

Caso a caldeira tenha de ser drenada, a proteção contra corrosão se baseia em evitar que a umidade se deposite sobre os metais. Isso pode ser conseguido aquecendo-se a caldeira com lâmpadas ou resistências elétricas ou usando agentes dessecantes (sílica gel ou alumina ativada). (BAZZO, 1995).

2.3 Política estadual de mudanças climáticas (pemc).

Após a Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima em 1992, convenção na qual foi criada oficialmente na Conferência das Nações Unidas sobre Meio

Ambiente e Desenvolvimento, e que conta com a participação de 192 países, foi determinado aos membros a responsabilidade de desenvolver e implementar políticas nacionais com ações reais visando reverter o quadro atual das mudanças climáticas provenientes do efeito estufa. Neste contexto, em 21 de agosto de 2009, no estado de São Paulo, foi promulgada a lei 7042.32 intitulada Política Estadual de Mudanças Climáticas, que estabelece entre outras iniciativas:

- Inventário das emissões de CO₂ de todo o Estado;
- Mapeamento das vulnerabilidades e necessidades de prevenção e adaptação aos impactos causados pelo clima;
- Plano de transportes sustentáveis;
- Incentivo a geração de energia por meio do uso de biomassa, de forma a subsidiar equipamentos voltados à geração de energia, desburocratização da emissão de licenças ambientais e facilitação em financiamentos;
- Aumento da participação de energias renováveis na matriz energética do estado;
- Implementação de programas visando à disseminação de aquecedores solar em residências e indústrias;
- Meta de redução até 2020, em todos os setores da economia, 20% das emissões de gases de efeito estufa relativas a 2005. (SÃO PAULO, lei estadual 13.798).

3. ESTUDO DE CASO: INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE.

Como ponto de partida para definir um plano de ações eficaz para reduzir as emissões de gases do efeito estufa, e assim atender as metas estabelecidas pela Política Estadual de Mudanças Climáticas (SÃO PAULO, lei estadual 13.798), é necessário realizar um levantamento das emissões da companhia. Dessa forma, é possível identificar os ativos que representam maior consumo e estudar uma alternativa que represente impacto significativo no objetivo do trabalho. Para isso, primeiramente faz-se necessário uma etapa de coleta de dados de consumo das formas de energia, gás natural e energia elétrica, que abastecem a toda a planta, para em seguida calcular a emissão total por meio da utilização dos respectivos fatores de emissão de CO₂ referentes a cada fonte.

O fator de emissão de CO₂ é uma ferramenta matemática que, por meio do volume consumido da forma de energia a ser analisada, aponta uma boa estimativa para emissões relativas à atividade com potencial para a geração de gases de efeito estufa (IPCC, 2006). Na Tabela 6 são apresentados os fatores de emissão utilizados nesse trabalho para o gás natural e energia elétrica.

Tabela 6: Fatores de emissão de CO₂ para o Gás Natural e Energia Elétrica.

	Fator de Emissão de CO ₂ [tonCO ₂ /TJ]	Energia Liberada [MJ/m ³]	Fator de Emissão de CO ₂ [tonCO ₂ /m ³]	Fator de Emissão de CO ₂ [tonCO ₂ /MWh]
Gás Natural ¹	56,1	36,685	0,002058029	-
Energia Elétrica ²	-	-	-	0,2921

¹ Fonte: IPCC 2006.

² Fonte: MCT com base em 2011.

Tabela 7: Levantamento do consumo anual da planta por fonte de energia¹.

	Consumo de Gás Natural [m ³]	Consumo de Energia Elétrica [MWh]	Fator de Emissão de CO ₂ [tonCO ₂ /m ³]	Fator de Emissão de CO ₂ [tonCO ₂ /MWh]	Emissão de CO ₂ [ton CO ₂]
Refusão	33.278.297,8	50.263.902,7	0,002058	0,2921	14.750.573,7
Laminação à Quente	9.114.438,2	136.351.249,9	0,002058	0,2921	39.846.957,9
Laminação à Frio	0,0	90.808.266,2	0,002058	0,2921	26.525.094,6
TOTAL	42.392.736,0	277.701.120,0	0,002058	0,2921	81.203.742,6

¹ Dados de a abril de 2008 a março 2009

Tabela 8: Porcentagem de emissões por fonte.

	Emissão de CO₂ [ton CO₂]	Percentual nas Emissões [%]
Gás Natural	87.245,5	0,107%
Energia Elétrica	81.116.497,2	99,893%
TOTAL	81.203.742,6	100%

Fonte: Dados fornecidos pela empresa estudada.

4. ESTUDO DE CASO: PROPOSTA PARA A REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE

Por meio do inventário de emissões de gases de efeito estufa realizado no item 3, observa-se que a energia elétrica é responsável por 99,89% das emissões de dióxido de carbono de toda a planta. Dessa forma, a substituição dessa forma de energia por uma opção sustentável mostra-se plausível para atender o objetivo de contribuir para alcançar a meta de 20% de redução estabelecida pela PEMC (SÃO PAULO, lei estadual 13.798) com eficácia. Por esse motivo o foco será voltado a um equipamento que requer alimentação por energia elétrica em detrimento a equipamentos com alimentação a gás natural.

Neste contexto, conforme ilustrado na Figura 4, o grupo de ativos que exigem maior demanda de energia elétrica é composto por: resistências elétricas dos fornos de aquecimento de placas, motores elétricos dos laminadores, compressores da linha de ar comprimido, resistências elétricas dos fornos de recozimento de bobinas, demais motores elétricos e resistências elétricas dos sistemas de aquecimento de coolant dos laminadores à quente. Com base nessa informação, a oportunidade de implementação de uma caldeira a vapor para o fornecimento da energia necessária no processo de aquecimento do coolant é evidente, visto que as resistências desempenham apenas a função de transferência de calor para a emulsão, composta por óleo de laminação e água, processo para o qual caldeiras a vapor são frequentemente utilizadas.

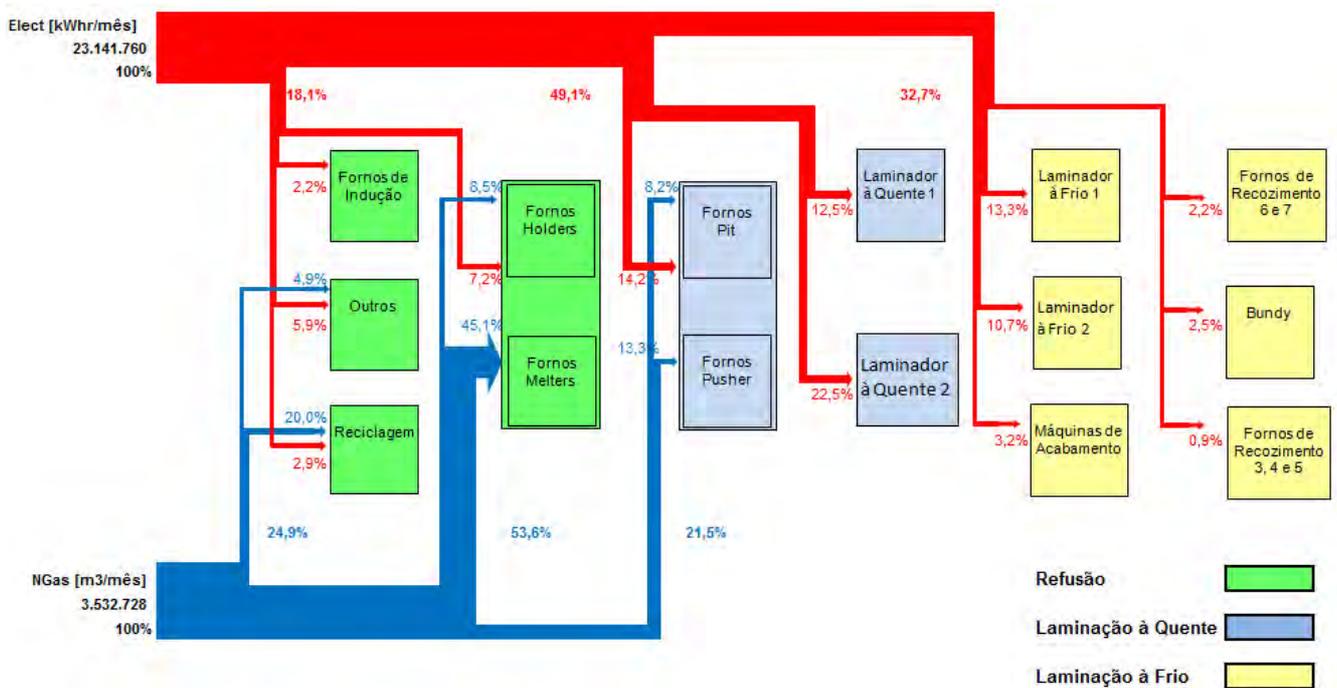


Figura 4: Demanda energética real por grupo de equipamentos no ano de 2009.

4.1 O processo de laminação à quente de alumínio.

Laminação é um processo de transformação mecânica que consiste na redução da seção transversal por compressão do metal, por meio da passagem entre dois cilindros de aço ou ferro fundido com eixos paralelos que giram em torno de si mesmos, conforme ilustrado na figura 5. Esta seção transversal é retangular e refere-se a produtos laminados planos de alumínio e suas ligas, compreendendo desde chapas grossas com espessuras de 150 mm, usadas em usinas atômicas, até folhas com espessura de 0,005 mm, usadas em condensadores. Existem dois processos tradicionais de laminação de alumínio: laminação a quente e laminação a frio. Atualmente, a indústria também utiliza-se da laminação contínua (ABAL, 2009).

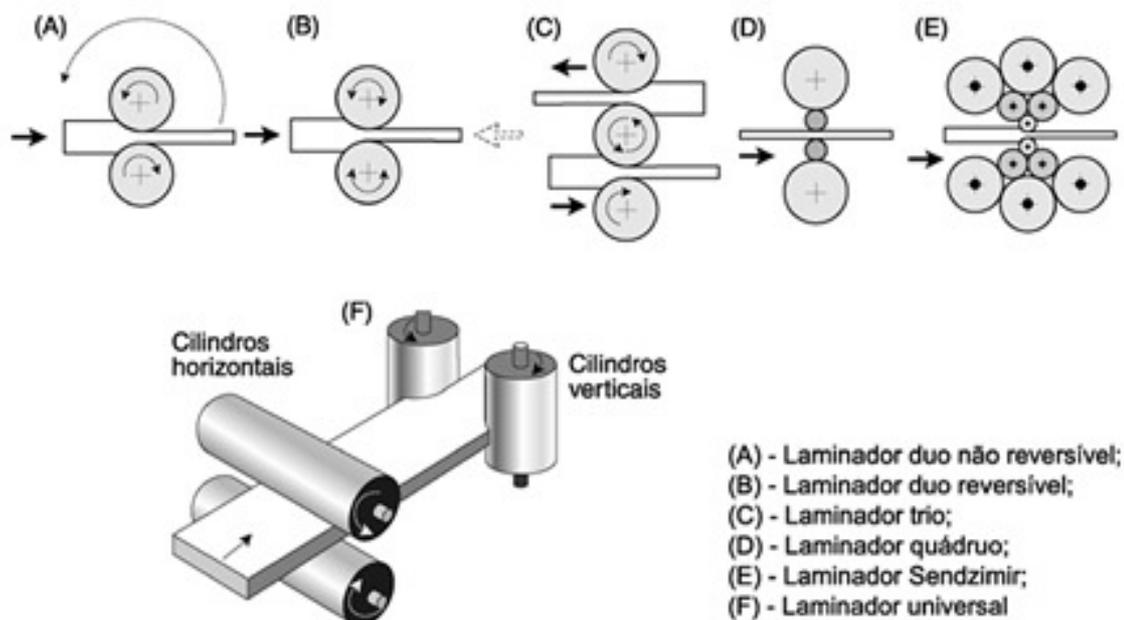


Figura 5: Representação simplificada de diferentes tipos de laminadores.

Fonte: (ABAL, 2009)

A laminação à quente, especificamente, promove reduções da seção transversal com o metal a uma temperatura mínima de aproximadamente 350°C (igual à temperatura de recristalização do alumínio). A ductilidade do metal a temperaturas desta ordem é máxima e, nesse processo ocorre a recristalização dinâmica na deformação plástica. O processo é ilustrado na Figura 6 e transcorre da seguinte forma:

1) Uma placa (matéria-prima inicial), cujo peso varia de alguns quilos até 15 toneladas, é produzida na refusão, por meio de fundição semicontínua, em molde com seção transversal retangular. (Este tipo de fundição assegura a solidificação rápida e estrutura metalúrgica homogênea). A placa pode sofrer uma usinagem superficial (faceamento) para remoção da camada de óxido de alumínio, dos grãos colunares (primeiro material solidificado) e das impurezas provenientes da fundição.

2) Posteriormente, a placa é aquecida até tornar-se semiplástica.

3) A laminação a quente se processa em laminadores reversíveis duplos (dois cilindros) ou quádruplos (dois cilindros de trabalho e dois de apoio ou encosto).

4) O material laminado é deslocado, a cada passada, por entre os cilindros, sendo que a abertura dos mesmos define a espessura do passe. A redução da espessura por passe é de aproximadamente 50% e depende da dureza da liga que está sendo laminada. No último passe de laminação, o material apresenta-se com espessura ao redor de 6mm, sendo enrolado ou cortado em chapas planas, constituindo-se na matéria-prima para o processo de laminação a frio.



Figura 6: Processo de laminação à quente

Fonte: (ABAL, 2009)

Concepções mais modernas do processo de laminação a quente podem apresentar em linha, após o desbastamento, em um laminador reversível, uma cadeia de vários laminadores, denominada de "tandem", que reduz a espessura do material para cerca de 2 mm.

Uma unidade de laminação a quente contém: laminador, refusão (unidade de fundição de placas), fornos de pré-aquecimento para placas, tratamentos térmicos de homogeneização (distribuição mais homogênea dos elementos microconstituintes químico-metalúrgicos), tesouras rotativas e guilhotinas para cortes laterais e longitudinais do material laminado, serras para cortes das extremidades e faceadeira para usinagem das superfícies (ABAL, 2009).

4.1.1 Sistema de resfriamento dos cilindros de trabalho

Afim de controlar a planicidade do metal sob níveis que não afetem a qualidade do produto final e não interfiram em processos posteriores, há um sistema automatizado de resfriamento dos cilindros de trabalho dos laminadores à quente. Esse sistema basicamente lança jatos de uma emulsão de água e óleo de laminação, chamada de coolant, em regiões específicas do cilindro de forma a proporcionar uma redução em seu diâmetro devido ao fenômeno da dilatação térmica. Além do papel principal do coolant, ressalta-se também a minimização dos esforços de atrito, dissipação do calor proveniente da conformação mecânica e aplicação do óleo de laminação no metal, funções importantes para os processos subsequentes. A Figura 7 ilustra a aplicação da emulsão no processo.

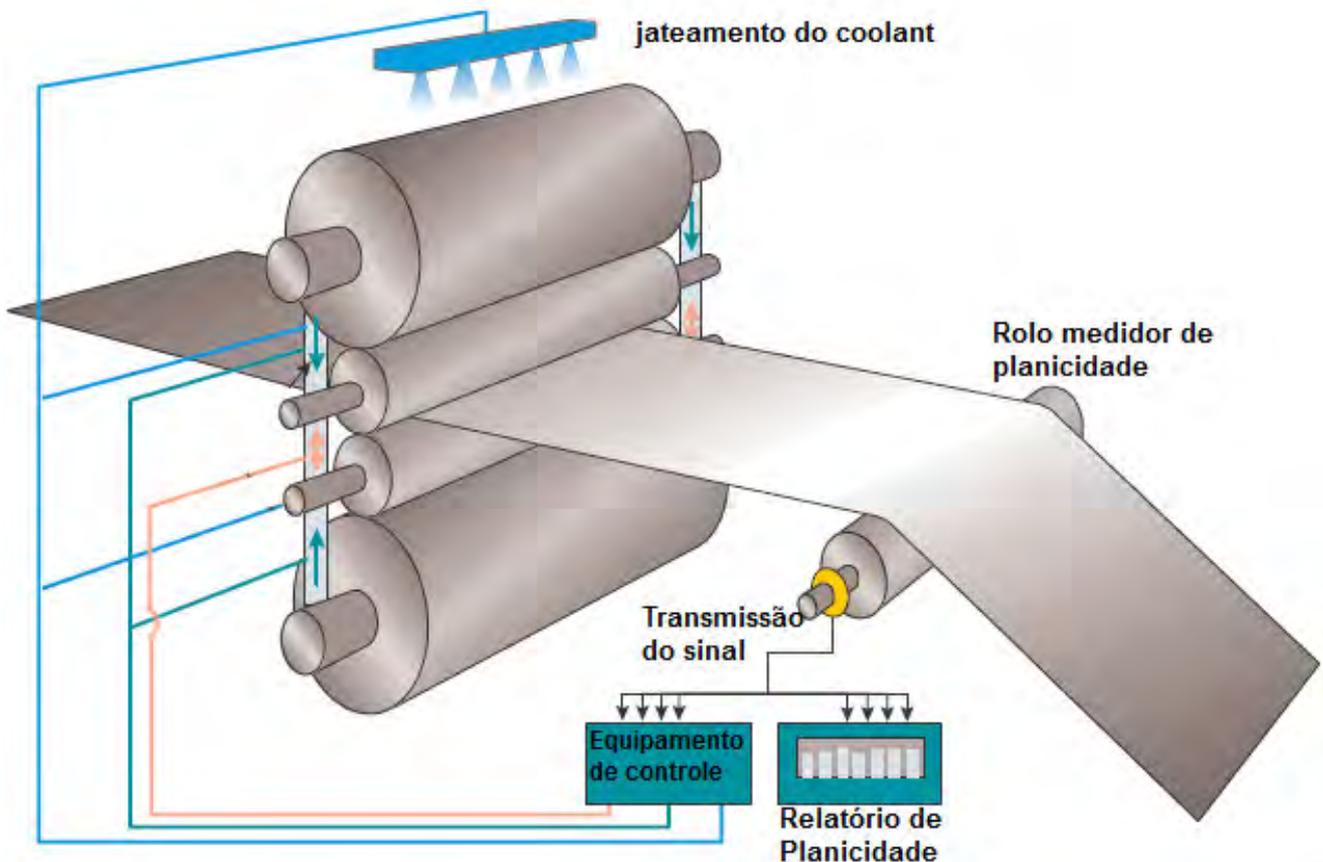


Figura 7: Esquema típico de um sistema automático de controle de planicidade.

4.1.2 Sistema de aquecimento da emulsão por resistências elétricas.

A planta analisada possui três tanques de emulsão referentes a dois laminadores, e cada tanque possui seu próprio banco de resistências. A potência total instalada é de 1,75 GW, distribuída em cinco resistências de 350 kW, assim como ilustrado na figura 8. Contudo, os aquecedores não permanecem ligados durante todo o processo, um sistema de controle sinaliza a necessidade de ligá-los ou desligá-los de forma a garantir a temperatura da emulsão em 60 °C. Neste contexto, foi instalado um medidor de consumo elétrico e mantido por uma semana em cada um dos bancos de resistências, e assim levantada a real demanda de potência elétrica da instalação. Os dados da real demanda são apresentados na Tabela 9.



Figura 8: Modelo simplificado dos tanques de emulsão e suas respectivas resistências elétricas.

Tabela 9: Potência instalada, demanda real de energia elétrica e potência a ser considerada nos cálculos do trabalho.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
P_{elet} Instalada [MW]	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
P_{elet} Real [MW]	1,23	1,20	1,24	1,22	1,22	1,21	1,23	1,24	1,22	1,24	1,25	1,24
P_{elet} Teórica [MW]	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20

Fonte: Dados aferidos por meios empíricos.

4.3 Seleção da caldeira.

A seleção e projeto da caldeira não fazem parte do objetivo desse trabalho, dessa forma, a melhor caldeira para o processo de produção de vapor, que atenda as necessidades dos dois tanques de emulsão referentes aos laminadores a quente, foi projetada com o auxílio de especialistas de uma empresa referência em fornecimento de caldeiras no país. A caldeira selecionada será aquatubular, seus parâmetros são apresentados na tabela 10 e seus componentes na figura 9, figura 10, figura 11 e tabela 11.

Tabela 10: Parâmetros da caldeira selecionada.

Produção de vapor com alimentação de água a 20°C [kg/h]	2.000
Capacidade térmica [kcal/h]	1.289.000
Superfície de aquecimento [m²]	61,2
Pressão de operação [psig]	153
Temperatura de saída dos gases [°C]	240
Rendimento [%]	80
Consumo de lenha [kg/h]	586
Área da grelha [m²]	1,83
Volume da fornalha [m³]	4,31

Fonte: Fornecedor da caldeira selecionada.

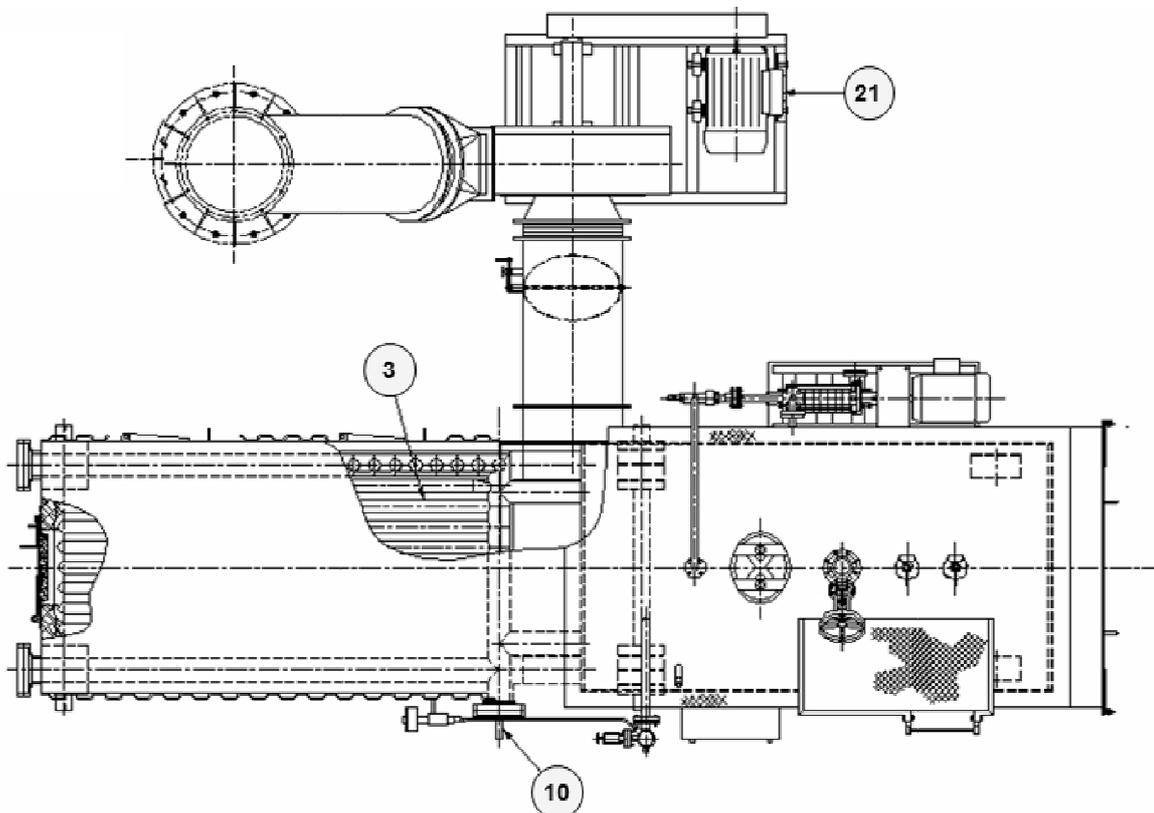


Figura 9: Desenho técnico da caldeira selecionada e seus principais componentes - Planta.

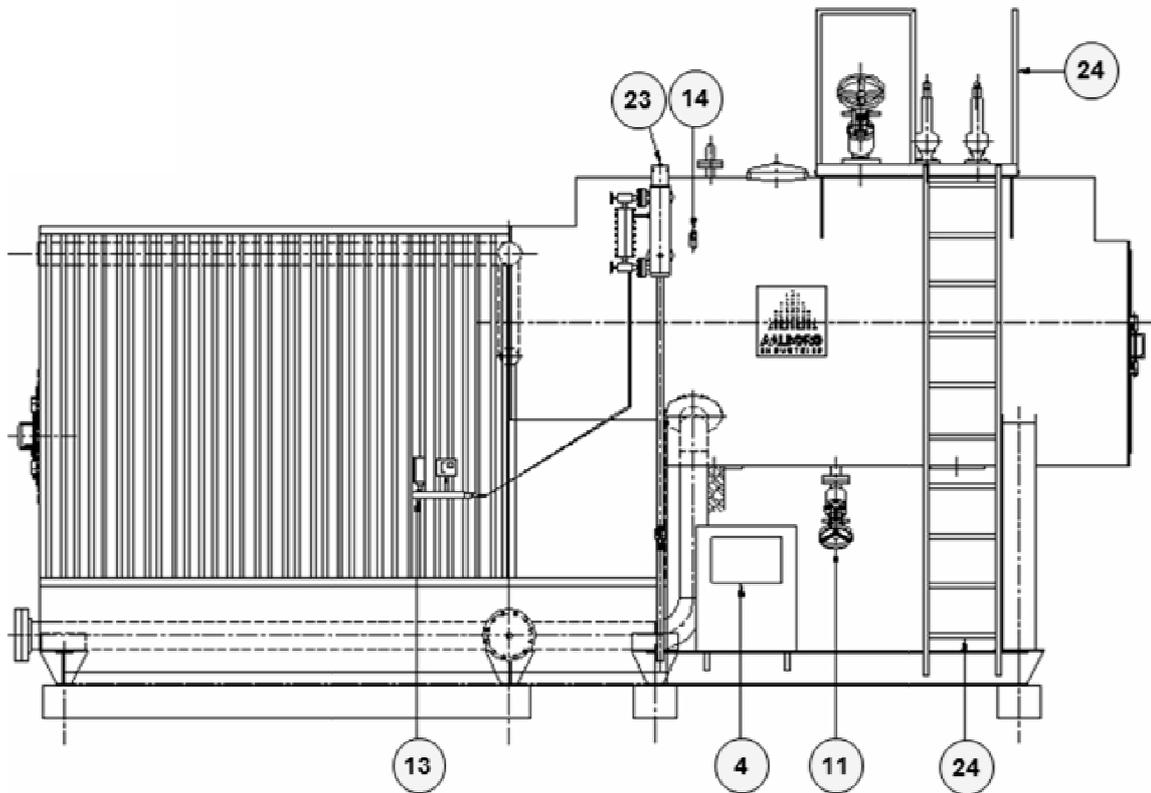


Figura 10: Desenho técnico da caldeira selecionada e seus principais componentes - Elevação.
 Fonte: Elaborado com base em um esboço disponibilizado pelo fornecedor.

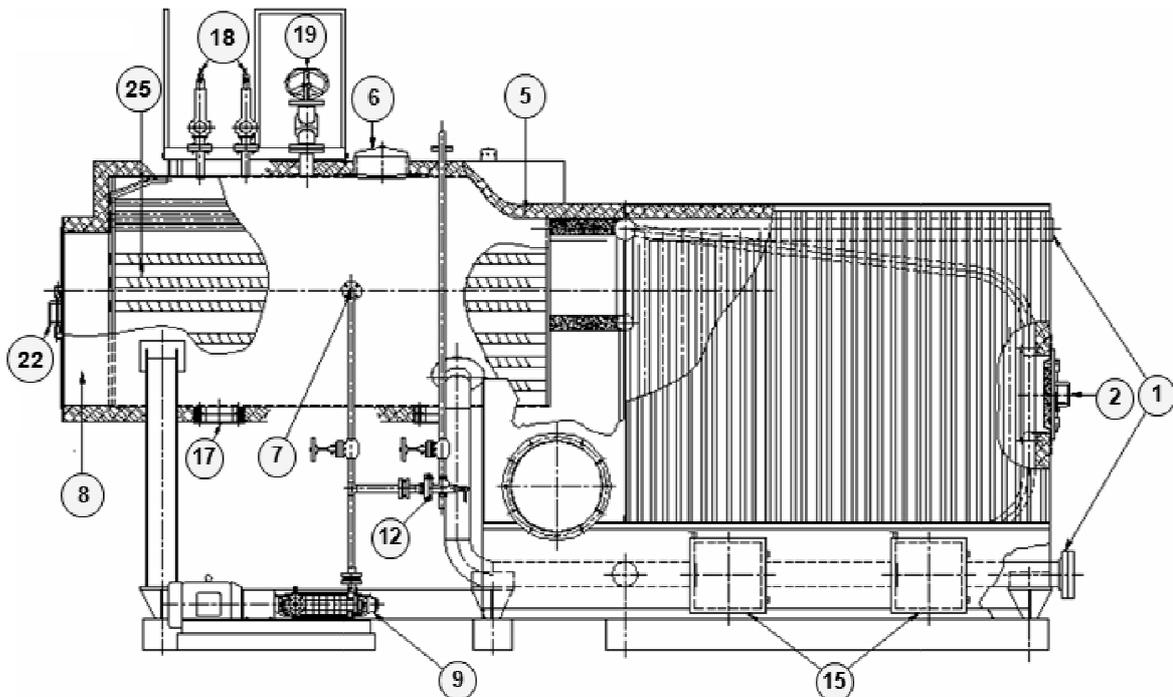


Figura 11: Desenho técnico da caldeira selecionada e seus principais componentes – Corte do perfil.
 Fonte: Elaborado com base em um esboço disponibilizado pelo fornecedor.

Tabela 11: Lista de componentes indicados na figura 9, figura 10 e figura 11.

Ítem	Descrição
1	Distribuidor e coletor da antefornalha
2	Boca de alimentação
3	Grelha
4	Painel de comando
5	Isolamento térmico
6	Boca de visita
7	Entrada de água
8	Caixa de fumaça
9	Bomba de alimentação de água
10	Dreno do coletor
11	Descarga de fundo
12	Injetor
13	Painel de instrumentos
14	Nível de segurança suplementar
15	Porta para retirada de cinzas
16	Duto de gases
17	Boca de inspeção e limpeza
18	Válvulas de segurança
19	Válvula de saída de vapor
20	Chaminé
21	Exautor
22	Porta da caixa de fumaça
23	Coluna de nível
24	Escada e plataforma
25	Tubos espiralados

Fonte: Fornecedor da caldeira selecionada.

4.4 REDUÇÃO DAS EMISSÕES COM A IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO.

Com o intuito de levantar todas as informações para a realização de uma análise ambiental bem estruturada e coerente, primeiramente foram apresentados os dados relevantes do processo de laminação à quente, em seguida, o foco foi voltado para o sistema de controle de planicidade, para então, serem apresentados os tanques de emulsão responsáveis pela preparação do sistema de resfriamento dos cilindros dos laminadores. Com os dados do inventário de emissões de toda a planta juntamente com a potência real utilizada nas resistências a serem substituídas, todas as informações necessárias para uma análise ambiental estão prontas para serem analisadas. Dessa forma, a redução anual das emissões de gases de efeito estufa foi calculada de forma clara e objetiva com o auxílio das equações contidas na tabela 12 e os resultados são apresentados na tabela 13.

Tabela 12: Equações utilizadas no cálculo da redução anual das emissões de CO₂.

VARIÁVEL A SER DETERMINADA	RELAÇÃO MATEMÁTICA
Horas úteis no mês	(Total de horas no mês) x (GU ¹)
Consumo energético	(Potência teórica) x (Horas úteis no mês)
Redução das emissões no mês	(Consumo energético do mês) x (Fator de emissão de CO ₂)

¹ Grau de Utilização – Estimativa conservadora da disponibilidade dos laminadores à quente.

Tabela 13: Redução anual das emissões de CO₂.

	P _{elet} Instalada [MW]	P _{elet} Teórica [MW]	h/mês [h]	GU ¹ [%]	Horas Úteis/ mês [h]	Consumo Energético [MWh]	Fator de Emissão de CO ₂ para EE Ano base: 2011 ² [tCO ₂ /MWh]	Redução nas Emissões de CO ₂ [tCO ₂]
JAN	1,75	1,2	744	85%	632,4	758,88	0,2621	198,902
FEV	1,75	1,2	672	85%	571,2	685,44	0,2876	197,132
MAR	1,75	1,2	744	85%	632,4	758,88	0,2076	157,543
ABR	1,75	1,2	720	85%	612,0	734,4	0,1977	145,190
MAI	1,75	1,2	744	85%	632,4	758,88	0,2698	204,745
JUN	1,75	1,2	720	85%	612,0	734,4	0,3410	250,430
JUL	1,75	1,2	744	70%	520,8	624,96	0,3076	192,237
AGO	1,75	1,2	744	85%	632,4	758,88	0,3009	228,346
SET	1,75	1,2	720	85%	612,0	734,4	0,2734	200,784
OUT	1,75	1,2	744	85%	632,4	758,88	0,3498	265,457
NOV	1,75	1,2	720	85%	612,0	734,4	0,3565	261,814
DEZ	1,75	1,2	744	85%	632,4	758,88	0,3495	265,229
							TOTAL	2567,814

¹ Grau de Utilização – Estimativa conservadora da disponibilidade dos laminadores à quente.

² Fonte: MCT (2011).

De acordo com a análise desenvolvida no item 3 toma-se conhecimento do histórico de emissões de CO₂ da planta industrial base para o estudo. Assim, para o atendimento à Política Estadual de Mudanças Climáticas, o dado referente à emissão relativa ao ano de 2005 representa a base para a eficácia do trabalho. Visto que a redução anual de emissões de CO₂ por meio da substituição dos bancos de resistência elétrica dos aquecedores de emulsão dos laminadores à quente, dado alcançado no item 4.4, é de 2.567,8 toneladas de CO₂, com a implementação desse trabalho 0,0032% do gás em questão seriam lançados a menos na atmosfera, representando assim, 0,0158% da meta estipulada para os anos de 2006 a 2020.

Outro fator a ser levado em consideração em uma análise ambiental, especificamente para essa utilização da biomassa, é a emissão de fuligem intrínseca ao processo de combustão

na caldeira, onde particulados de matéria orgânica serão possivelmente lançados ao ar. De acordo com o CONAMA 382/2006, a critério do órgão ambiental licenciador CETESB, para processos de combustão externa de derivados de madeira com potência de até 10 MW, o nível máximo de material particulado a ser emitido é de 730 mg/Nm³, dessa forma, como a instalação é de apenas 1,2 MW, a instalação de um filtro de particulados comercial garante níveis em torno de 300 mg/Nm³, atendendo sem grandes dificuldades o limite estabelecido pela norma vigente.

5. ESTUDO DE CASO: IMPACTOS ECONÔMICOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO TRABALHO.

Pelo fato de visar o setor industrial, esta etapa ganha grande representatividade, visto que para a alta direção, a redução de custos e consequente aumento da receita da companhia é o principal indicador a ser analisado na tomada de decisão. A análise financeira deve apresentar além da receita obtida anualmente, o tempo estimado para o retorno do investimento inicial, pay back. Dessa forma, foram levantadas cotações, sempre com dois fornecedores, de caldeiras, construção civil, trocadores de calor, tubulações, engenharia e montagem, visando a obtenção de uma estimativa real. Além dos investimentos com instalação, por meio de um levantamento realizado em parceria com os fornecedores de caldeiras e seus clientes, foram estimados também os custos de operação e manutenção.

Outro fator que motivou esse estudo foi a disponibilidade e potencial dos resíduos de paletes, utilizados do processo de embalagem do produto acabado da companhia, para serem utilizados como combustível para a caldeira a ser instalada. Após a embalagem e envio do produto final ao cliente, uma sensível porcentagem dos paletes enviados retorna com avarias que os torna inutilizáveis, sendo então armazenados e posteriormente descartados. A inclusão desta variável no trabalho impacta diretamente nos custos, sendo necessária apenas parte da biomassa requerida para o fornecimento da energia requerida no processo de combustão. A análise financeira relacionando todos os fatores levantados foi desenvolvida utilizando-se as relações matemáticas apresentadas na Tabela 14 que se segue, enquanto os resultados obtidos são apresentados na Tabela 15.

Tabela 14: Equações utilizadas nos cálculos da análise financeira.

VARIÁVEL A SER DETERMINADA	RELAÇÃO MATEMÁTICA
Horas úteis no mês	(Total de horas no mês) x (Disponibilidade)
Consumo energético	(Potência teórica) x (Horas úteis no mês)
Energia fornecida ao trocador de calor	(Consumo energético do mês) ÷ (Eficiência do trocador de calor)
Energia fornecida à caldeira	(Energia fornecida ao trocador de calor) ÷ (Eficiência da caldeira)
Oferta de Energia por Resíduos de Paletes	(PCI dos paletes) x (Massa Disponível de Resíduos de Paletes)
Demanda de Biomassa Complementar	[(Energia fornecida à caldeira) – (Oferta de Energia por Resíduos de Paletes)] ÷ (PCI da biomassa comercial)
Custo com Biomassa Complementar	(Demanda de de Biomassa Complementar) x (Custo do Cavaco de Eucáipto)
Saving com energia elétrica	(Tarifa da energia elétrica para o setor industrial) x (Consumo energético das resistências elétricas)
Receita	(Saving com energia elétrica) – (Custo com Biomassa Complementar) – (Estimativa de operação e manutenção)

Tabela 15: Análise financeira global e cálculo da receita anual.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
P_{el} Instalada [MW]	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	-
P_{el} Real [MW]	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	-
h/mês [h]	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8760
Disponibilidade [%]	85%	85%	85%	85%	85%	85%	70%	85%	85%	85%	85%	85%	-
Horas Úteis/mês¹ [h]	632,4	571,2	632,4	612,0	632,4	612,0	520,8	632,4	612,0	632,4	612,0	632,4	7334,4
Consumo Energético [MWh]	758,880	685,440	758,880	734,400	758,880	734,400	624,960	758,880	734,400	758,880	734,400	758,880	8801,280
Eficiência do Trocador de Calor [%]	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	-
Energia Fornecida ao Trocador² [MWh]	798,821	721,516	798,821	773,053	798,821	773,053	657,853	798,821	773,053	798,821	773,053	798,821	9264,505263
Eficiência da Caldeira [%]	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	-
Energia Fornecida à Caldeira³ [MWh]	998,526	901,895	998,526	966,316	998,526	966,316	822,316	998,526	966,316	998,526	966,316	998,526	11580,632
PCI dos Paletes⁴ [kcal/kg]	2.100	2.100	2.100	2.100	2.100	2.100	2.100	2.100	2.100	2.100	2.100	2.100	-
Massa Disponível de Resíduos de Paletes [ton]	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	-
Oferta de Energia por Resíduos de Paletes⁵ [MWh]	170,930	170,930	170,930	170,930	170,930	170,930	170,930	170,930	170,930	170,930	170,930	170,930	-
PCI da Biomassa Comercial⁶ [kcal/kg]	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	-
Demanda de Biomassa Complementar⁷ [ton]	197,70	174,62	197,70	190,01	197,70	190,01	155,61	197,70	190,01	197,70	190,01	197,70	-
Custo do Cavaco de Eucalipto [R\$/ton]	168,20	168,20	168,20	168,20	168,20	168,20	168,20	168,20	168,20	168,20	168,20	168,20	-
Custo com Biomassa Complementar [R\$]	33.253,730	29.370,966	33.253,730	31.959,475	33.253,730	31.959,475	26.173,395	33.253,730	31.959,475	33.253,730	31.959,475	33.253,730	382.904,64
Tarifa da Energia Elétrica para o Setor Industrial⁸ [R\$/MWh]	248,07	248,07	248,07	248,07	248,07	248,07	248,07	248,07	248,07	248,07	248,07	248,07	-
Saving com Energia Elétrica [R\$]	188.255,36	170.037,10	188.255,36	182.182,61	188.255,36	182.182,61	155.033,83	188.255,36	182.182,61	188.255,36	182.182,61	188.255,36	2.183.333,53
Estimativa de O&M [R\$]	40.000,00	40.000,00	40.000,00	40.000,00	40.000,00	40.000,00	80.000,00	40.000,00	40.000,00	40.000,00	40.000,00	40.000,00	520.000,00
Receita [R\$]	115.001,63	100.666,13	115.001,63	110.223,13	115.001,63	110.223,13	48.860,43	115.001,63	110.223,13	115.001,63	110.223,13	115.001,63	1.280.428,89

¹ Número de horas contidas no mês x Disponibilidade.

² Consumo energético ÷ Eficiência do trocador de calor.

³ Energia fornecida ao trocador de calor ÷ Eficiência da caldeira.

⁴ PCI da Lenha de Eucalipto com 45% de Umidade.

⁵ Energia obtida por meio da queima dos paletes residuais do processo de embalagem do produto acabado título de comparação teórica.

⁶ PCI do cavaco de eucalipto com 40% de umidade.

⁷ Quantidade de biomassa necessária para complementar a queima dos resíduos de paletes.

⁸ Fonte: ANEEL.

Tabela 16: Custos com implementação e cálculo do Payback.

IMPLEMENTAÇÃO	QUANTIDADE	CUSTO
Caldeira ¹	1 Unid.	R\$ 580.000,00
Tubulações	550 m	R\$ 360.000,00
Trocador calor	1 Unid.	R\$ 120.000,00
Civil	-	R\$ 430.000,00
Engenharia	-	R\$ 90.000,00
Montagem	-	R\$ 200.000,00
INVESTIMENTO TOTAL		R\$ 1.780.000,00
Pay back² [Anos]		1,39

¹ Caldeira de até 2MW de potência com sistema de autoalimentação.

² Investimento total ÷ receita anual.

Fonte: Cotações realizadas com representantes comerciais.

Um dos principais fatores que contribuíram para a alta receita, e consequente baixo tempo de retorno financeiro alcançados com a simulação da implementação do projeto, é o preço da biomassa praticado atualmente no Brasil. O fato de ser um mercado ainda pouco explorado como alternativa às formas convencionais de energia reflete em uma demanda ainda muito pequena frente ao potencial do país. Além disso, os custos com a aquisição de terras para cultivo, mão de obra, estoque, a falta de fiscalização e falta de rigor na legislação do país, nos quais impactam diretamente no preço de mercado do insumo, ainda são muito inferiores aos praticados em países europeus, por exemplo. Seguindo essa linha de raciocínio, é esperada a obtenção de sensível variação na receita, e consequentemente no pay back, de forma a impactar negativamente na aplicabilidade do projeto caso o custo com o combustível seja muito elevado. O estudo dessa hipótese foi realizado por meio da simulação dos preços do cavaco de eucalipto para valores até três vezes maiores do que o praticado segundo a cotação do fornecedor tomado como base. Os resultados da simulação podem ser analisados por meio da Figura 12.

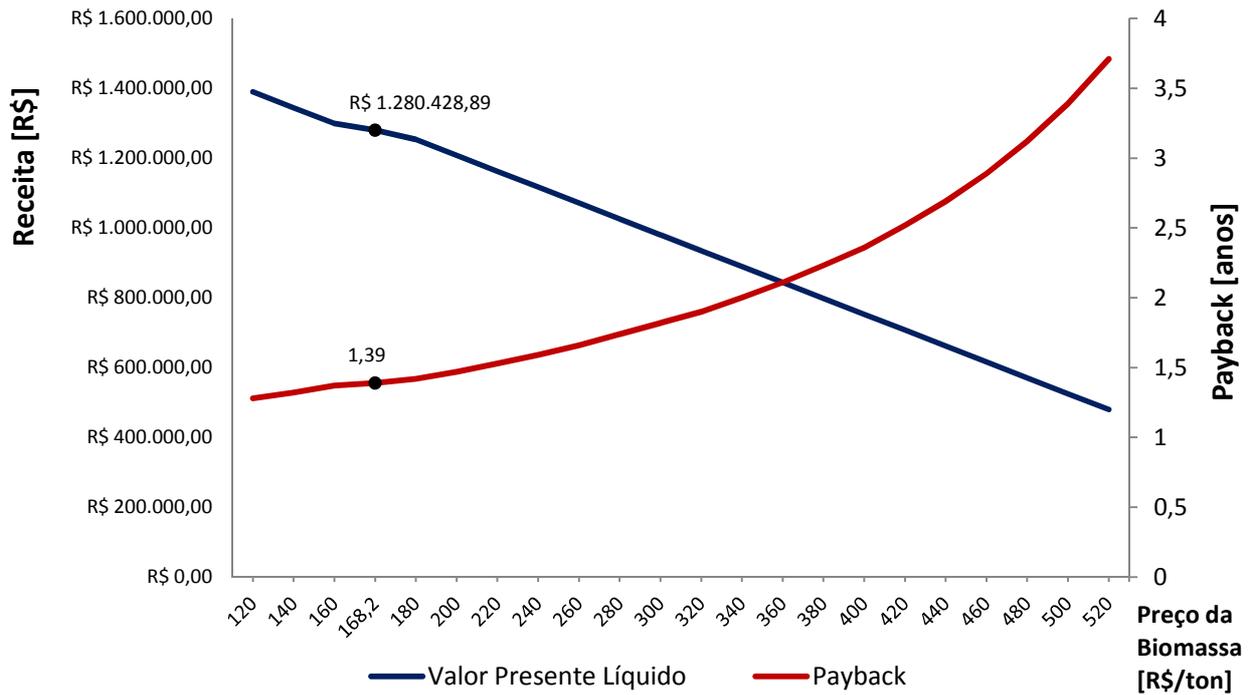


Figura 12: Influência do preço da biomassa na Receita e Pay back.

Visto que, de acordo com critérios internos à companhia tomada como base para esse estudo, um pay back de até cinco anos é aceitável e justifica a implementação de um projeto desse porte, de acordo com o Gráfico 4 o trabalho se mostra altamente rentável e sem grande dependência em relação ao preço da biomassa praticado no mercado.

6. MODELO DO TRABALHO IMPLEMENTADO

Afim de ilustrar o projeto implementado, e dessa forma, visualizar interferências e possíveis oportunidades, foi desenvolvido um modelo das instalações do trabalho já em sua fase de operação. A seguir são apresentadas as vistas de elevação e planta:

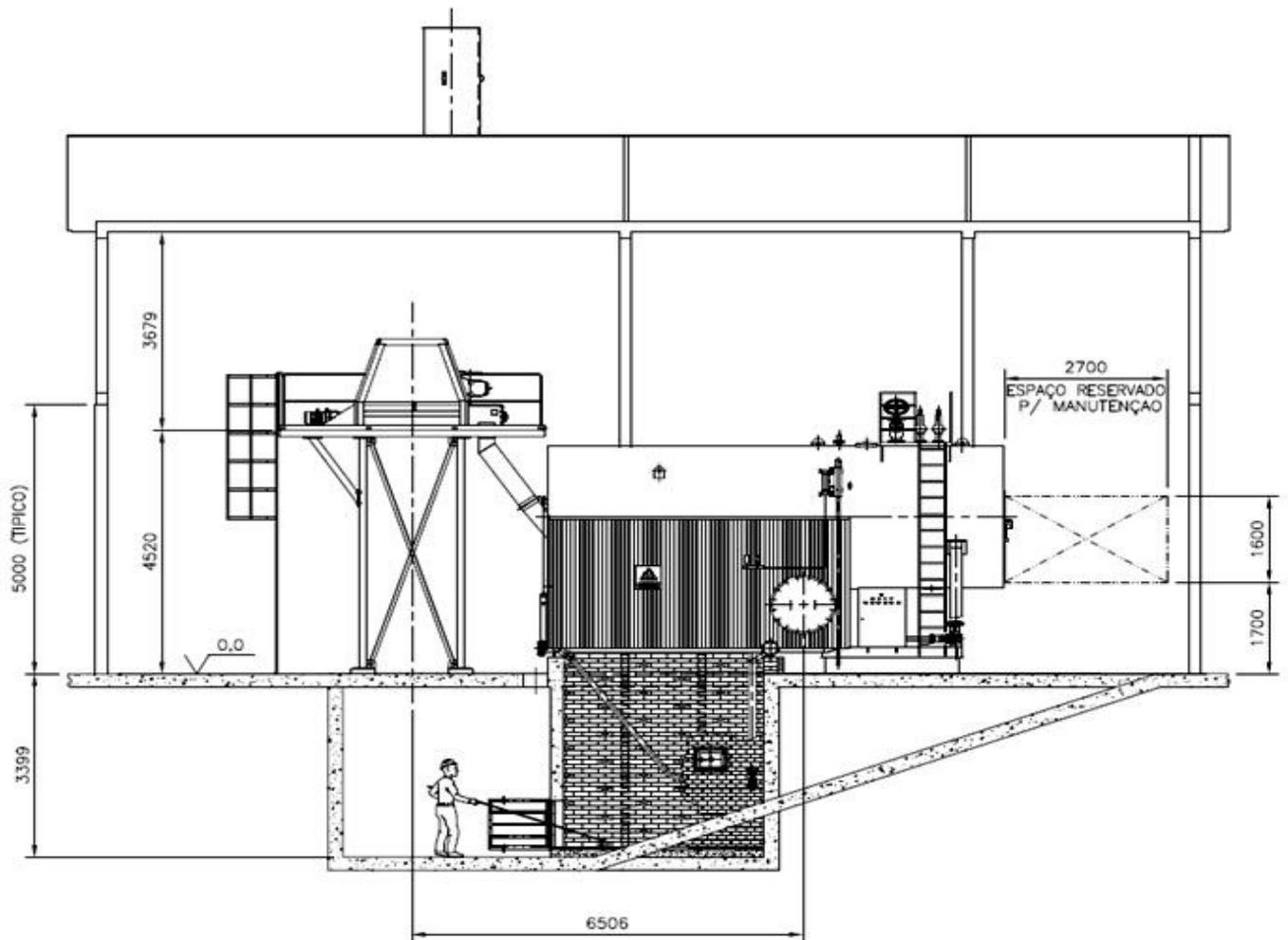


Figura 13: Vista de elevação da instalação do projeto.

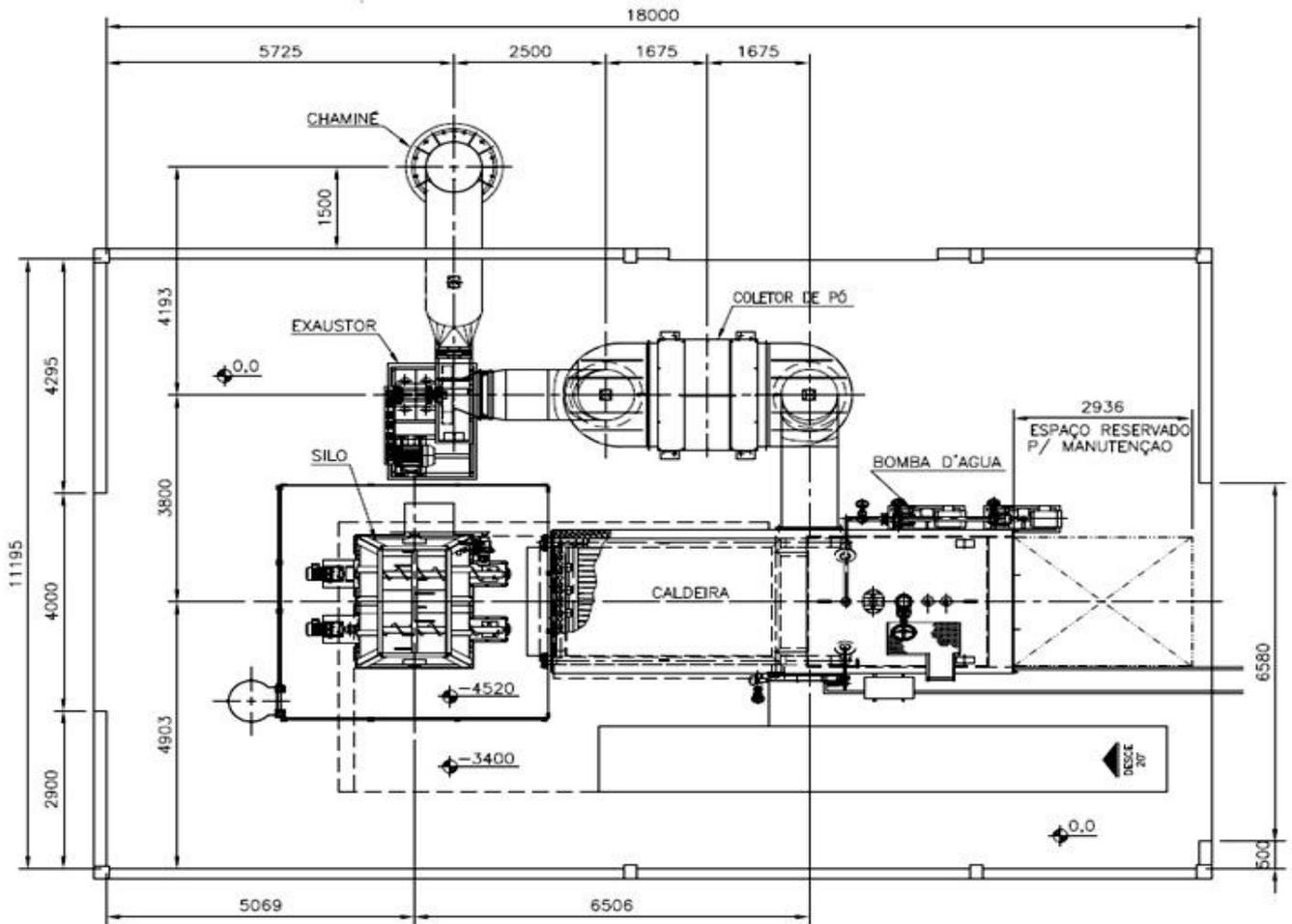


Figura 14: Vista da planta da instalação do projeto

7. COMENTÁRIOS E CONCLUSÃO

Neste trabalho são apresentados dados que apontam a atual dependência mundial em relação à utilização do petróleo. Em resposta, alternativas são desenvolvidas em todos os países e metas são estabelecidas para a redução das emissões de gases de efeito estufa. O estudo foi direcionado a identificar o responsável pelos maiores índices de emissão de CO₂ em uma indústria de laminação, e a partir dele, sugerir a substituição da matriz por uma alternativa sustentável, apontando o impacto ambiental e econômico por meio de análises técnicas.

Nesse contexto, após um inventário de emissões realizado na empresa estudada, foi identificada a oportunidade de substituição de um banco de resistências elétricas, responsável pelo aquecimento da emulsão utilizada em um de seus processos, por um trocador de calor alimentado com vapor produzido em uma caldeira.

Após estabelecer a alternativa adequada, foi observada também a disponibilidade de resíduos de paletes, provenientes do desgaste natural das embalagens utilizadas nas bobinas acabadas de alumínio, nos quais podem ser utilizados como combustível para a caldeira a vapor. Posteriormente foi constatado também que apesar do grande volume de biomassa proveniente dos paletes, faz-se necessária a aquisição de biomassa complementar para atender a demanda energética do processo.

Os resultados encontrados com o estudo de caso voltado aos impactos ambientais apontam uma redução de apenas 0,0032% de emissões do gás com a aplicação do trabalho. Esse baixo impacto se deve principalmente a dois fatores: a substituição de apenas 1,2 MW de potência, ou seja, apenas 0,0032% de toda energia elétrica consumida na companhia, e ao baixo índice de emissão de CO₂ da energia elétrica brasileira, onde esse pequeno fator de emissão se deve ao fato de o Brasil utilizar predominantemente a hidroeletricidade em seu sistema de geração. Ou seja, caso a energia elétrica substituída fosse gerada por meio da combustão de petróleo, conforme objetivo principal do trabalho, a redução em emissões de CO₂ seria significativamente maior.

Em contrapartida, os resultados obtidos com a análise financeira apontam para ganhos significativos, de forma que anualmente a receita seria de R\$ 1.280.428,89 e assim em apenas 1,39 anos o investimento para a implementação do trabalho seria pago. Ganhos nessa ordem por si só já garantem a aplicabilidade do projeto, e nos olhos da alta administração a redução das emissões seria também positiva, mas os números mais discretos a colocariam em segundo plano.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, T. **Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. India: Elsevier, v. 14, p. 919-937, 2010.
- AES Alternative Energy Resources. **Advantages of biomass**.
<http://www.alternate-energy-sources.com/advantage-of-biomass-energy.html>; 2010
- AIE. Australian institute of energy. Fact sheet 8: **biomass**.
<http://aie.org.au/Content/NavigationMenu/Resources/SchoolProjects/FS8 BIOMASS.pdf>;
2010.
- ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3.ed. Brasília: ANEEL, 2008. 233p.
- BAZZO, E. **Geração de vapor**. Editora da Universidade Federal de São Carlos. 1995.
- BARJA, G. J. A. **A cogeração e sua inserção ao sistema elétrico**. 2006. 157 f.
Dissertação (Mestrado – Faculdade de Tecnologia) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- BOYLE, G. Renewable energy. **Power for a sustainable future**. Oxford University Press: UK; 2004.
- BRASIL. Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. **Plano Nacional sobre Mudança do Clima**. Brasília, 2008. 129p.
- BRP. Biomass Research Project. Biomass (incineration): **advantages and disadvantages**.
<http://science134.tripod.com/id9.html>; 2010
- DEMIRBAS, A. **Combustion characteristics of different biomass fuels**. Prog Energy Combust Sci 2004;30:219–230.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. n.40, jan. 2011. 2p.

ESPARTA, A. R. J. **Redução de emissões de gases de efeito estufa no setor elétrico brasileiro: a experiência do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto e uma visão futura**. 2008. 111 f. Tese (Doutorado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

HALL, D.O; HOUSE, J. I.; SCRASE, I. **Overview of biomass energy**. 2000.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Hayama: IGES, 2006.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 31 out. 2010.

JOHNSON, F. Biomassa tropical e o mercado global de biocombustíveis. **Pontes entre o comércio e o desenvolvimento sustentável**. v.4, n.2, p.15-17, abr. 2008.

KASSAB, Gilberto. Petróleo e o Futuro da Energia. - Ethanol Summit, 2007, São Paulo.

LIMA, L. M. et al. Avaliação da viabilidade técnica e econômica da utilização de biomassas como fonte energética alternativa em fornos industriais. **Revista de Economia e Agronegócio**. v.4, n.1, p.99-120, 2006.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no século XX e cenário de mudanças de clima para o Brasil no século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, Campinas, n.8, p.5-28, maio 2007.

MCT. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Protocolo de Quioto**. Brasília, 1997. 29p.

MCT, 2011a. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Fatores de Emissão de CO2 para utilizações que necessitam do fator médio de emissão do Sistema Interligado Nacional do Brasil, como, por exemplo, inventários corporativos**. Brasília, 2011.

PENNA, C. G. **O estado do planeta - Sociedade de consumo e degradação ambiental**. Rio de Janeiro: Record, 1999.

SCHAEFFER, R. et al. **Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil**. Rio de Janeiro: COPPE, 2008.

SILVA, R. E. **Análise do Impacto da Política Estadual de Mudanças Climáticas no Estado de São Paulo: Estudo de Caso no Setor Industrial e perspectivas futuras**. 2012. 202 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

TRADENER – Comercialização de Energia. **Compra e Venda de Energia**.

UNDP. United Nations Development Programme. **World Energy Assessment: Energy and the challenge of sustainability**. New York, 2000.

ZHANG L, XuC, Champagne P. **Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass**. Energy Convers Manage 2010;51:969–982.