

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ENERGIAS RENOVÁVEIS, GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

FERNANDO COSTA DE MEDEIROS

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA-FINANCEIRA DE SUBSTITUIÇÃO DE GÁS
NATURAL POR BIOMASSA COMO COMBUSTÍVEL PARA CALDEIRA DE VAPOR**

**São Paulo
2014**

FERNANDO COSTA DE MEDEIROS

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA-FINANCEIRA DE SUBSTITUIÇÃO DE GÁS
NATURAL POR BIOMASSA COMO COMBUSTÍVEL PARA CALDEIRA DE VAPOR**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Especialista
em Energias Renováveis, Geração
Distribuída e Eficiência Energética por
meio do PECE.

Área de Concentração:
Energias Renováveis, Geração
Distribuída e Eficiência Energética.

Orientador: Professor Doutor Marcos de
Mattos Pimenta

**São Paulo
2014**

FERNANDO COSTA DE MEDEIROS

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA-FINANCEIRA DE SUBSTITUIÇÃO DE GÁS
NATURAL POR BIOMASSA COMO COMBUSTÍVEL PARA CALDEIRA DE VAPOR**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Especialista
em Energias Renováveis, Geração
Distribuída e Eficiência Energética.

**São Paulo
2014**

Medeiros, Fernando Medeiros

Análise de viabilidade técnica-financeira de substituição de gás natural por biomassa como combustível para caldeira de vapor / F.M. Medeiros. – São Paulo, 2014.

69 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Biomassa (Aproveitamento energético) 2.Geração de Vapor. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica I.t. Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Doutor Marcos de Mattos Pimenta, quero agradecer pela disponibilidade e atenção na elaboração deste trabalho.

À minha companheira e esposa, Mary Ellen, por todo o carinho e compreensão durante os momentos de elaboração deste trabalho.

Aos responsáveis da Indústria Tipo que disponibilizou os dados para serem utilizados na elaboração do presente trabalho.

Agradeço também a toda equipe da EnergyBras pelo apoio e motivação dado ao longo do desenvolvimento do trabalho.

RESUMO

O presente trabalho analisa a viabilidade da utilização de biomassa como combustível em caldeiras para geração de vapor industrial em substituição ao gás natural, considerando os dados operacionais de uma indústria tipo do ramo de produtos domésticos e alimentícios. Inicialmente são apresentados os tipos de biomassa comumente disponíveis no mercado nacional e os fornecedores de caldeiras que operam com biomassa, assim como as características gerais operacionais de um sistema de geração de vapor a partir de biomassa. A seleção dos tipos de biomassa considerados na elaboração do trabalho em questão baseou-se na disponibilidade comercial destes insumos no mercado nacional, bem como a existência de tecnologia nacional consolidada de geração de vapor industrial por meio de caldeiras movidas a biomassa. Em seguida é descrito o perfil energético da indústria tipo com ênfase na geração e consumo de vapor industrial, bem como o regime de operação da mesma. Por fim, é apresentado o estudo de caso analisando a viabilidade técnica e financeira da geração de vapor com caldeira movida à biomassa, a partir dos diferentes tipos de biomassa identificados no presente estudo, considerando os aspectos de custos de instalação, manutenção, do combustível biomassa versus os custos atuais de consumo de gás natural. Para tanto, foram realizados cálculos de simulações dos novos cenários de consumo de combustível na geração de vapor para a indústria tipo, considerando a biomassa como principal combustível, onde os índices de retorno de investimento são enfim apresentados e discutidos.

Palavras-chave: Biomassa. Gás Natural. Caldeira de Vapor Movida a Biomassa. Retorno de Investimento.

ABSTRACT

This study analyzes the viability of the use of biomass as fuel in boilers for industrial steam generation in replacement of natural gas, based on data collected at an operating industry. Initially it is presented the types of biomass commonly available in the domestic market and the suppliers of boilers that operate with biomass, as well as the general characteristics of a steam generation system using biomass. The selection of the types of biomass considered in this study was based on commercial availability of these products in the domestic market, as well as boilers supplier with strong knowledge locally. It is then described the energetic profile of the industry with emphasis on the generation and consumption of steam, as well as its regime of operation. Finally, it is presented the case study analyzing the technical and financial feasibility of steam generation with boiler moved by biomass, from different types of biomass identified in this study, considering the aspects of installation costs, maintenance and biomass fuel versus the current costs of natural gas consumption. In the final part, some simulations were made based on the new scenarios of fuel consumption for steam generation, and the return of this investment is finally presented and discussed.

Keywords: Biomass. Natural Gas. Steam Generation System with Biomass. Return of Investment.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1:	Evolução do Preço de Gás Natural no Brasil e EUA
Figura 2.1:	Perfil das Principais Fontes Alternativas de Biomassa No Brasil
Figura 2.2:	Dimensões de Pellet
Figura 2.3:	Mapa de Pellets no Brasil 2013
Figura 2.4:	Briquetes
Figura 2.5:	Cavaco de Madeira
Figura 2.6:	Identificação dos diferentes tipos de biomassa disponível
Figura 3.1:	Esquema tipo de um sistema de alimentação de combustível
Figura 3.2:	Picador de cavaco
Figura 3.3:	Moega Receptora Subterrânea
Figura 3.4:	Moega Receptora Exterior
Figura 3.5 e 3.6:	Peneiras de disco
Figura 3.6 e 3.7:	Esteira Transportadora
Figura 3.8:	Esteira Transportadora
Figura 3.9:	Sistema Forno-Caldeira Tipo
Figura 3.10:	Sistema Forno-Caldeira Tipo
Figura 3.11:	Esquema de dosagem do silo
Figura 3.12:	Ventiladores Tipo de Ar Forçado
Figura 4.1:	Consumo mensal de vapor (%) por linha de vapor de Janeiro a Abril 2013
Figura 4.2:	Produção mensal de vapor útil + Interno (kg)
Figura 4.3:	Produção de vapor das caldeiras 3 e 4 (segunda feira 14/01/2013)
Figura 4.4:	Pressão do vapor (kfg/cm ²) (segunda feira 14/01/2013)
Figura 4.5:	Produção de Vapor (T/h) do dia 12/01/2013 a 26/01/2013
Figura 4.6:	Consumos diários de produção de vapor em T/h (máximo e médio)
Figura 4.7:	Índices de vapor útil e vapor útil + interno em kg/m ³ gás (dados fornecidos por indústria tipo)
Figura 4.8:	Esquema de consumo gás natural na instalação existente
Figura 4.9:	Consumos de gás existentes na instalação e % do consumo de gás destinado à produção de vapor
Figura 4.10:	Consumo anual de gás (total e para geração de vapor)
Figura 4.11:	Funcionamento com Caldeira de 10 T/h
Figura 4.12:	Funcionamento com Caldeira de 12 T/h
Figura 4.13:	Funcionamento com Caldeira de 15 T/h
Figura 4.14:	Funcionamento com Caldeira de 20 T/h
Figura 5.1:	Custo mensal do gás natural em R\$
Figura 5.2:	Custo gás natural no Brasil segundo ARSESP 2013

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1:	Parâmetros cavaco Madeira acordo com os regulamentos ÖNORM M 7133
Tabela 2.2:	Características de umidade e PCI cavaco
Tabela 2.3:	Dimensões Cavaco segundo os regulamentos ÖNORM M-7133
Tabela 3.1:	Aplicação de biomassa por Fornecedor
Tabela 4.1:	Caldeiras de Gás Existentes
Tabela 4.2:	Principais linhas de vapor existentes na planta
Tabela 4.3:	Resumo dos consumos mensais de vapor
Tabela 4.4:	Consumo diários de produção de vapor em T/h (máximo e médios)
Tabela 4.5:	Dados Mensais de Consumo e Produção de Vapor
Tabela 4.6:	Consumo de gás, vapor e estimativa de perdas %.
Tabela 4.7:	Produção necessária de vapor últimos 12 meses
Tabela 4.8:	Consumos mensais de gás total e destinado à produção de vapor
Tabela 4.9:	Cálculo do consumo de gás anual e os últimos 12 meses (m ³)
Tabela 4.10:	Produção de Vapor mínimas e máximas utilizadas nas análises de viabilidade
Tabela 4.11:	Aporte Anual de vapor com biomassa em função da potência da caldeira, supondo a possibilidade de trabalhar a 60% de sua potência nominal
Tabela 4.12:	Combustíveis de biomassa analisadas para a instalação da Caldeira
Tabela 4.13:	Biomassa consumo esperado na instalação (T/ano)
Tabela 5.1:	Custos da instalação R\$ - Base Julho 2013
Tabela 5.2:	Custos de Manutenção da instalação de biomassa (R\$/ano) - Base Julho 2013
Tabela 5.3:	Consumo e Tarifa do Gás Natural segundo fatura mensal
Tabela 5.4:	Custo gás natural segundo deliberação Nº421 28/05/2013
Tabela 5.5:	Custo R\$ gás natural em função do cenário analisado – Base Julho/2013
Tabela 5.6:	Custo anual em função do tipo de biomassa (R\$/ano) – Base Julho/2013
Tabela 5.7:	Custos anuais previstos de consumo de energia eléctrica (R\$) – Base Julho/2013
Tabela 5.8:	Análise completa do custo de combustível para a operação das caldeiras 25 t/h – Base Julho/2013
Tabela 5.9:	Análise completa do custo de combustível para a operação das caldeiras 10+15 t/h – Base Julho/2013
Tabela 5.10:	Análise viabilidade da implementação da instalação de geração de vapor a biomassa 25 t/h – Base Julho/2013
Tabela 5.11:	Análise viabilidade da implementação da instalação de geração de vapor a biomassa 10+15 t/h – Base Julho/2013

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVO	13
1.2 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA.....	14
2. Biomassa	15
2.1 SITUAÇÃO ATUAL DE BIOMASSA NO BRASIL	15
2.2 Tipos de biomassa.....	16
2.2.1 Pellets.....	17
2.2.2 Briquete	18
2.2.2 Cavaco	19
2.2.3 Cana de Açúcar	22
2.3 Fornecedor de biomassa.....	23
3. DESCRIÇÃO GERAL DE UMA INSTALAÇÃO DE CALDEIRA A BIOMASSA.....	26
3.1 FORNECIMENTO E DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA DE BIOMASSA	26
3.2 SISTEMA FORNO-CALDEIRA.....	33
3.3 FORNECEDOR DE CALDEIRA DE BIOMASSA	35
4. ESTUDO DE CASO DA PLANTA INDUSTRIAL TIPO.....	37
4.1 ANÁLISE DO CONSUMO DE VAPOR da INDÚSTRIA TIPO NAS LINHAS DE PRODUÇÃO.....	39
4.2 HISTÓRIO DA GERAÇÃO DE VAPOR NA INDÚSTRIA TIPO	40
4.2.1 Funcionamento das caldeiras.....	41
4.2.2 Períodos de produção de vapor	42
4.2.3 Consumo de gás nas caldeiras	45
4.3 Produção de vapor necessária para a instalação de biomassa	47
4.4 ANÁLISES DE CONSUMO DE GÁS NATURAL.....	49
4.4.1 Estrutura consumo gas natural.....	49
4.5 Gás natural para geração de vapor	49
4.6 Avaliação da instalação de caldeiras de vapor a biomassa	54
4.7 Definição Da BIOMASSA E CUSTO.....	60
4.7.1 REQUISITOS DO FORNECEDOR A BIOMASSA	62
5. ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA INDÚSTRIA TIPO.....	63
5.1 CUSTOS DA INSTALAÇÃO	63
5.2 CUSTOS DE MANUTENÇÃO	64
5.3 CUSTOS DO GÁS NATURAL	65
5.4 CUSTO DA BIOMASSA	68

5.5	<i>CUSTO POR CONSUMOS DE ENERGIA</i>	68
5.6	<i>CUSTOS DE FINANCIAMENTO</i>	72
5.7	<i>CONCLUSÕES DA VIABILIDADE</i>	72
6.	CONCLUSÕES	76
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

1. INTRODUÇÃO

Um dos tópicos mais discutidos atualmente é a necessidade das grandes corporações industriais se tornarem cada vez mais eficientes a fim de sobreviver frente aos desafios corporativos mundiais. Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética (Ministério Minas Energia, 2011) o peso da energia no custo final do produto produzido é significativo e pode atingir, em alguns segmentos, até 60% do custo total de produção.

Este mesmo plano do MME indica ainda para um potencial técnico de redução de 25,7% ($14,6 \times 10^6 \text{tep}$) do consumo total de energia (eletricidade e combustíveis) da indústria. Deste potencial técnico levantado, constatou-se ainda que 82% correspondem às medidas relacionadas aos combustíveis, em especial nos usos de fornos e caldeiras. Dessa forma, qualquer ação que vise à redução de custos operacionais industriais relativos ao consumo de combustíveis, como o proposto neste estudo, será de fundamental importância para a competitividade do setor industrial nacional em longo prazo.

A Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE) realizou em 2012 um estudo dos impactos de alterações do preço do gás natural sobre a economia brasileira. Neste estudo foi apresentado dado da agência internacional de energia (IEA, 2012) sobre a evolução do preço de gás natural no Brasil, período compreendido entre 1995 e 2010, o qual demonstra um substancial aumento no preço deste insumo a partir de 2003 chegando a uma variação de aproximadamente 32% entre 2005 e meados de 2007, conforme gráfico 1.1.

Nesse sentido, a procura por alternativas à dependência industrial por gás natural para geração de vapor é estratégico, haja vista que este combustível é considerado ideal em termos ambientais frente aos combustíveis convencionais óleo BPF e carvão. Sendo assim, o único fator desfavorável a sua utilização recai sobre a elevação de seu preço ao longo dos últimos anos, fato que impacta diretamente na competitividade industrial.

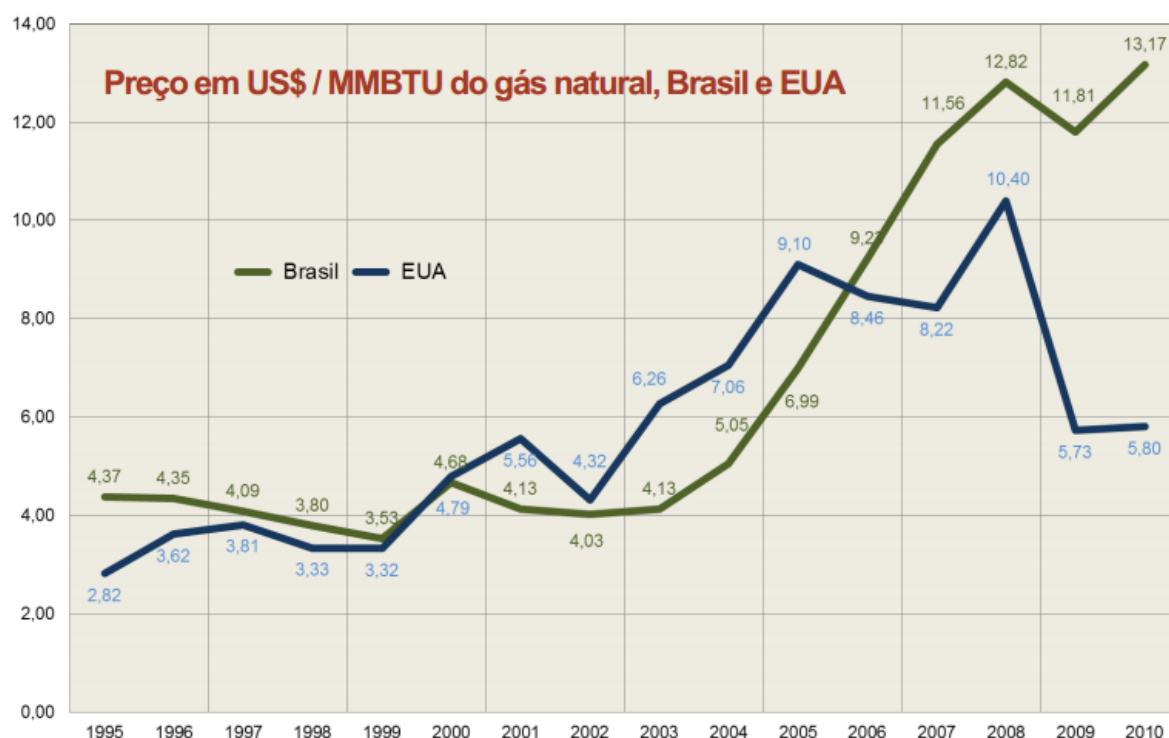


Figura 1.1 – Evolução do Preço de Gás Natural no Brasil e EUA
Fonte: Projeto Estratégico do Gás Natural, 2012 apud IEA, 2010.

A utilização de biomassa, como por exemplo, cavaco de madeira, bagaço de cana de açúcar, briquetes em geral, pode ser considerada atualmente com uma potencial alternativa ao uso de gás natural em caldeiras para geração de vapor industrial, dados as características de poder calorífico destes tipos de biomassa e os seus respectivos custos primários junto a fornecedores locais.

Além dos ganhos financeiros, o setor industrial brasileiro pode se beneficiar dos aspectos ambientais pelo uso biomassa em detrimento ao gás natural, considerando que é possível obter um equilíbrio neutro de emissões de CO₂ para a atmosfera, considerando que o CO₂ produzido pela instalação será neutralizado no cultivo de biomassa.

1.1 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a possibilidade da utilização de biomassa como combustível em caldeiras de geração de vapor industrial em substituição ao gás natural.

1.2 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

O presente trabalho será composto por sete capítulos. O primeiro será a INTRODUÇÃO, que apresentará a área a ser abordada pelo trabalho e informações a respeito do aproveitamento energético de biomassa, assim como os objetivos, a justificativa e a estrutura utilizada para elaboração mesmo.

No segundo capítulo, denominado BIOMASSA, será apresentado o conceito de biomassa e suas características de combustível, bem como um panorama nacional sobre a disponibilidade destes produtos para uso industrial avaliando preço, forma apresentada e disposição geográfica.

O terceiro capítulo intitulado DESCRIÇÃO GERAL DE UMA INSTALAÇÃO DE CALDEIRA A BIOMASSA discutirá sobre os elementos principais de uma caldeira a biomassa, desde sistema de recebimento da biomassa, transporte até o queimador, forno, purificação dos gases de queima até identificação de fornecedores nacionais deste tipo de equipamento.

O quarto capítulo, ESTUDO DE CASO DA INDÚSTRIA TIPO apresentará os dados operacionais atuais em termos de consumo de vapor de vapor, consumo de gás natural para produção de vapor, assim como, configuração do sistema de caldeira a biomassa proposta para a indústria tipo e definição do tipo de biomassa a ser utilizada.

O quinto capítulo ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA INDÚSTRIA TIPO, terá como objetivo apresentar análise econômica desta proposta considerando os custos de instalação, manutenção, gás natural, biomassa, por consumo de energia e custo de financiamento.

O sexto capítulo, CONCLUSÕES, irá expor as conclusões obtidas ao longo do desenvolvimento do trabalho.

2. BIOMASSA

A biomassa pode ser considerada como todo recurso renovável que provêm de matéria orgânica - de origem vegetal ou animal - tendo por objetivo principal a produção de energia. A biomassa é uma forma indireta de aproveitamento da luz solar: ocorre a conversão da radiação solar em energia química por meio da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos (MMA, 2014)

Tal definição claramente exclui os tradicionais combustíveis fósseis que, mesmo tendo sido derivados de matéria orgânica vegetal e animal, necessitaram de milhões de anos para sua conversão na forma que são encontrados atualmente.

2.1 SITUAÇÃO ATUAL DE BIOMASSA NO BRASIL

Nos últimos anos, o cenário global de energia mudou significativamente. O alto custo dos combustíveis fósseis e avanços técnicos permitiram o surgimento de sistemas de biomassa, o consumo de energia cada vez mais eficiente, confiável e limpo. Assim a biomassa começa a ser considerada pelas indústrias como uma alternativa total ou parcial para combustíveis fósseis.

O Brasil é um dos países do mundo com mais vantagens para liderar a agricultura de energia. Uma delas é a incorporação de novas áreas de exploração de energia, pois há grande disponibilidade de terra onde pode ser cultivado cana-de-açúcar ou outros produtos rotativos, como soja e amendoim.

São Paulo é líder na produção de bioenergia no país e na formação de profissionais nas áreas de agricultura, biologia e alimentícia. Segundo a Associação Paulista de Agricultura, o estado possui cadeia completa e diversificada e há um forte dinamismo agrícola, tendo a maior estrutura de pesquisa e aplicação da produção de bioenergia no Brasil.

2.2 Tipos de biomassa

Considera-se que os cultivos energéticos são aqueles realizados para produzir biomassa transformável em combustível. Este tipo de cultivo consiste numa nova faceta da agricultura que visa a produção de biomassa por culturas específicas e transformar isso em produtos de energia de fácil utilização em sistemas convencionais, para substituir os combustíveis tradicionais. No caso do Brasil, uma destas culturas é o eucalipto.



Figura 2.1: Perfil das Principais Fontes Alternativas de Biomassa No Brasil
Fonte: Tractbel Energia - Desafios para o desenvolvimento do setor de Energias Renováveis no Brasil 2009

No estudo em questão foi realizado uma análise da disponibilidade de biomassa na região de São Paulo e arredores, sendo então considerados os seguintes tipos de biomassa:

- Pellets
- Briquetes
- Cavaco
- Cana de açúcar

Nos itens abaixo é apresentado uma breve descrição de cada um destes tipos de biomassa e das suas principais características:

2.2.1 Pellets

A produção de pellets de madeira ou resíduos no Brasil é incipiente havendo produção isolada, mas crescente em empresas localizadas principalmente nos estados do Paraná, Santa Catarina, Espírito Santo e São Paulo.



Figura 2.2: Dimensões de Pellet

Fonte: Associação Brasileira das Indústrias de Pellets - ABIPEL

Segundo a ABIPEL Os preços dos *pellets* de madeira produzidos no Brasil tem mostrado pouca competitividade se comparado com os preços praticados na Europa, porém com o desenvolvimento desta atividade é esperado que o preço se torne competitivo em alguns anos. Abaixo é apresentado um mapa com a localização das instalações de pellets no Brasil.

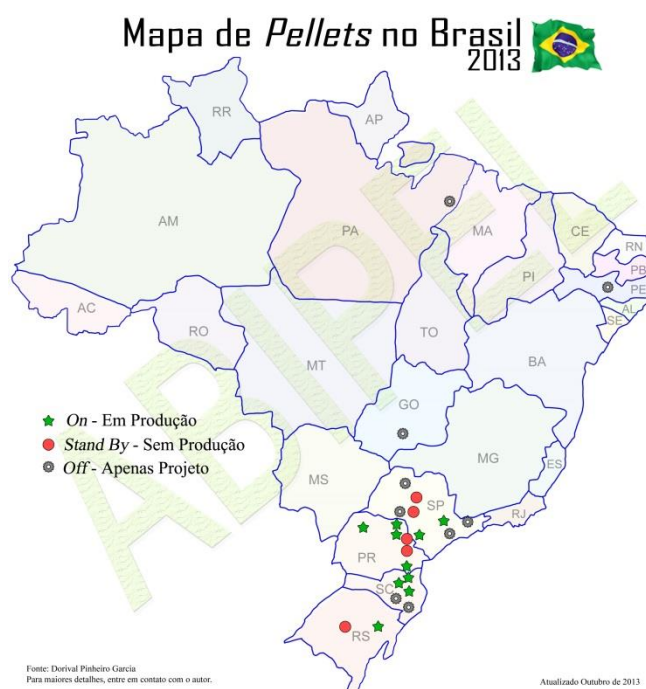


Figura 2.3: Mapa de Pellets no Brasil 2013

Fonte: Associação Brasileira das Indústrias de Pellets - Abipel

Geralmente pellets vêm de serrarias ou outras indústrias florestais ou agroflorestais e não deve incluir nenhum aditivo ou pastas, sem verniz ou resíduos de cola. O material utilizado é geralmente, madeira pinus, eucalipto ou bagaço de cana, segundo (ABIPEL, 2014).

Segundo a BR Biomassa, o diâmetro dos pellets é de 6 ou 8 mm e comprimento de 10 mm a 300 mm. O teor máximo de umidade é de 10%, garantindo um armazenamento ilimitado silo seco e garantido. Seu valor calórico é de aproximadamente 4.800kcal/kg e densidade de 650kg/m³ e seu conteúdo de cinzas é geralmente inferior a 0,5%.

Os fornecedores de pellets indicam que podem ser produzidos e oferecidos ao mercado nacional os seguintes produtos:

- Pellets de Madeira
- Pellets de bagaço de cana
- Pellets de casca
- Pellets de campim Elefante
- Pellets de Licor Negro
- Pellets de fino de carvão + Resíduos

2.2.2 Brique

O Brasil atualmente apresenta produção estimada de briquetes de madeira da ordem de 160 mil t/ano (Wiecheteck, 2006). Os briquetes são obtidos a partir da aplicação de uma elevada pressão (prensas) sem a utilização de substâncias aglutinantes e por este motivo o resultado é um produto natural.



Figura 2.4: Briquetes
Fonte: Biomax Indústrias e Máquinas

O briquete é um bloco cilíndrico compacto, de alta densidade, composto por resíduos de madeiras em geral, como pó de serra, maravalhas/fitinhas, cavacos ou pedaços de madeiras picadas sem o uso de aglutinantes. O briquete possui alta densidade, ocupando pouco espaço. A densidade média dos resíduos em geral secos, é de 200kg/m^3 , e a densidade de um briquete é 1200kg/m^3 . Apresenta umidade entre 6% e 16%, poder calorífico de 4800kcal/kg , massa específica de 750kg/m^3 e teor de enxofre com valor ínfimo (menor que 0,08%) (Biomax, 2014).

Conforme figura 2.4, os elementos são geralmente de forma cilíndrica, com diâmetros geralmente entre 5 e 10 centímetros e densamente formada por materiais prensados que são usados como combustíveis.

Estes elementos de elevada densidade têm uma série de vantagens sobre os demais materiais, pois possibilita a redução de custo de transporte e armazenamento, bem como sendo um produto mais homogêneo em suas características e propriedades, torna o processo de utilização mais fácil e limpo.

2.1.2 Cavaco

O cavaco é um recurso renovável, composto por lascas cisalhadas obtidas a partir de toras de madeira que na sua maioria destina-se a produção de energia em fornos e caldeiras. Apresenta boas características energéticas e

melhor desempenho no que diz a respeito ao seu escoamento em silos (Opção Verde Resíduos Florestais, 2014).



Figura 2.5: Cavaco de Madeira
Fonte: Opção Verde Resíduos Florestais

O cavaco de madeira pode ser produzido a partir de pinho ou eucalipto. Apresenta um valor de poder calorífico que depende da umidade podendo estar entorno a 2.600kcal/kg, massa específica de 330kg/m³ e teor de enxofre em valor mínimo.

Em geral o cavaco de madeira e serragem tem entre suas características principais (Ekoplus, 2014):

- baixo custo de aquisição;
- recurso renovável;
- suas emissões não contribuem para o efeito estufa.
- as cinzas são menos agressivas ao meio ambiente do que as provenientes de combustíveis fósseis.

Por estas razões é considerado, atualmente, o combustível mais adequado para a produção de energia na indústria, quando a alimentação é feita através de sistemas mecânicos usando-se rosca sem-fim e silo para o suprimento do material.

Entretanto, deve ser verificado a questão do conteúdo natural de cloro no eucalipto, na forma de cloreto, como aponta o Eucalyptus Online Book. Segundo esta fonte é possível encontrar entre 250 - 600ppm de cloreto no eucalipto, sendo que esta informação deve ser considerada para o design do sistema de tratamento dos gases de exaustão do processo de combustão em caldeiras.

Este material provém de sobras das serrarias, reflorestamentos, indústrias moveleiras e da madeira de descarte (reciclagem).

A norma austríaca ÖNORM M 7133 (Energíadelsur, 2014) define os parâmetros a considerar nas lascas de madeira. Estes parâmetros devem satisfazer a fim de evitar problemas no funcionamento da instalação.

Tabela 2.1: Parâmetros cavaco Madeira acordo com os regulamentos ÖNORM M 7133
Fonte: Energíadelsur, 2014

Classes em Função do Tamanho						
Tipo de Cavaco	Porções de Tamanhos Admissíveis				Valores Extremos Admissíveis	
	Max. 4%	Max. 20%	60-100%	Max. 20%		
	Tamanho do Cavaco (mm)				Área	Comprimento
G30	< 1,0	1,0 - 2,8	2,8 - 16,0	>16	3	8,5
G50	< 1,1	1,0 - 5,6	5,6 - 31,5	>31,5	5	12
G100	< 1,2	1,0 - 11,2	11,2 - 63,0	>63,0	10	25

O teor de umidade do cavaco afeta muito significativamente o seu poder calorífico, sendo que é recomendado para um efetivo projeto de geração de vapor com cavaco de madeira que o teor de umidade seja de no máximo 30%.

Tabela 2.2: Características de umidade e PCI cavaco
Fonte: Opção Verde Resíduos Florestais, 2013

Condição da Madeira	Umidade	PCI (H_u)
Recém Cortada	50-60%	2,0 kWh/kg
Armazenamento por um Ano	25-35%	3,4 kWh/kg
Vários Anos de Armazenamento	15-25%	4,0 kWh/kg

Para utilização em caldeiras a biomassa deve-se procurar o fornecimento do cavaco mais homogênea possível, sendo que o tamanho ideal é o G30 ou G50. Por questões técnicas de operação o cavaco utilizado não deve conter objetos como pregos, arames e parafusos ou outro objeto de metal (Bremer, 2013).

Abaixo é apresentada uma tabela com dimensões do cavaco:

Tabela 2.3: Dimensões Cavaco segundo os regulamentos ÖNORM M-7133
Fonte: Energíadelsur, 2014

Classes de Dimensões (mm)	Composição do Tamanho da Partícula (%)		
	Quantidade Principal >80% do peso	Partícula Fina <5%	Partícula Grossa <1%
P16	$3.15 \leq P \leq 16$	< 1 mm	> 45 mm, todas <85 mm
P45	$3.15 \leq P \leq 45$	< 1 mm	> 63 mm
P63	$3.15 \leq P \leq 63$	< 1 mm	> 100 mm
P100	$3.15 \leq P \leq 100$	< 1 mm	> 200 mm

Tabela 2.3: Dimensões Cavaco segundo os regulamentos ÖNORM M-7133
Fonte: Energíadelsur, 2014

O cavaco fornecido não deve conter objetos como pregos, arames e parafusos ou outro objeto de metal.

2.1.3 Cana de Açúcar

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar. Em 2010, representam 33,8% da produção mundial, produzindo 48 milhões de toneladas (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2012).

As mais importantes áreas de produção de cana no Brasil são o centro-sul e norte-nordeste.

São Paulo é uma das principais regiões de produção de cana de açúcar e ao redor de 24,3% desta produção foi utilizada como bagaço de combustível. Em 2009-2010, São Paulo possuía 60,2% da produção de cana-de-açúcar. Então, em 2009, as sucroalcooleiras, de acordo com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) gerou 1,6% da geração de eletricidade

nacional total. Então 4123MWh gerados no Brasil que foram derramadas rede 1515MWh e o restante é usado como consumo.

A geração de eletricidade pela queima de bagaço não é novo no setor sucroalcooleiro e estes utilizam para produzir energia, porque eles estão disponíveis em grandes volumes no mesmo lugar onde estão as caldeiras. No final dos anos 80 também surgiram nessas empresas a comercialização da energia elétrica produzida, face as mudanças do setor elétrico nacional.

O bagaço é um resíduo sólido obtido no processo de moagem nas usinas e destilarias de açúcar e álcool etílico Brasil. Com isto é possível contar com uma energia limpa, renovável e de baixo custo, sendo esta uma grande vantagem na produção de açúcar e etanol.

Para cada tonelada cana processada obtida entre 270-290 kg de bagaço com 50% de umidade, alguns destes (cerca de 10%) é utilizada para diversos usos, como a alimentação animal e o restante é queimado em caldeiras como cogeração.

As principais características de este tipo de biomassa são:

- Baixo custo
- Energia de alta qualidade

Em contrapartida, a principal desvantagem deste tipo de biomassa em termos de comercialização, é que praticamente 100% das plantas alcooleiras têm unidades de produção de energia elétrica ou térmica a partir de biomassa, de modo que, o bagaço de cana gerado é quase que em sua totalidade consumida internamente por estas indústrias, impossibilitando dessa forma, o fornecimento deste material a consumidores industriais de outros segmentos.

Portanto, este tipo de biomassa foi descartado, por hora, para análise de viabilidade de utilização na indústria tipo.

2.3 FORNECEDOR DE BIOMASSA

Segundo o levantamento realizado junto com os fabricantes de caldeiras de biomassa há aproximadamente 7 tipos diferentes de biomassa disponíveis

comercialmente no mercado Brasileiro, que podem ser utilizadas no abastecimento da caldeira da biomassa, a saber:

- ✓ Pellets de Cana
- ✓ Cavaco de Madeira
- ✓ Pellets Madeira
- ✓ Serragem de Madeira
- ✓ Casca de Arroz
- ✓ Briquetes
- ✓ Madeira de Reciclagem

A partir da identificação destes diferentes tipos de biomassa foi realizado o uma análise de cada tipo de biomassa considerando os seguintes fatores: custo por tonelada; garantia de fornecimento; poder calorífico; distância entre o ponto de geração da biomassa e ponto de consumo (Região Metropolitana de Campinas).

Adicionalmente foi avaliada a questão de característica química dos diferentes tipos de biomassa, sendo que o único tipo que apresentou condição insatisfatória foi a madeira de reciclagem, pois não há garantia que a mesma estará isenta de contaminantes, como sílica e cola.

A presença destes contaminantes pode causar dois importantes empecilhos para o sucesso do projeto, a saber:

Etapas de Implantação:

- 1) Dificuldade para obtenção de licença de instalação e operação junto ao órgão ambiental devido ao potencial elevado de provocar emissões de poluentes atmosféricos durante a queima da biomassa;
- 2) Elevado índice de manutenção da caldeira devido a problemas de ataque químico dos contaminantes no refratário e impregnação na grelha de abastecimento.

Dentre os tipos de biomassa disponíveis para utilizarmos o único que apresentou problema de falta de garantia no fornecimento é o pellet de cana de açúcar.

Segundo levantamento junto com potenciais fornecedores é um risco elevado em contar com este tipo de material, haja vista que aproximadamente 85% do montante de produto gerado é consumido pelas próprias usinas de álcool em seu processo industrial. Sendo assim, no estudo realizado identificou-se que não há garantia de fornecimento de pellets de cana, e dessa forma entende-se que o mesmo não deva ser considerado como um potencial combustível.

Em termos de distância de fornecimento foi verificado a possibilidade de obter cavaco de madeira de fornecedores localizados no entorno de 100 a 200 km de distância da unidade da região metropolitana de Campinas, onde está inserida a Indústria Tipo, sendo os outros tipos de biomassa estão disponíveis na região sul do Brasil entre 400 e 500 km de distância do ponto de consumo.

Em geral, dentre os combustíveis que possuem oferta segura de fornecimento a longo prazo, a produção mensal disponível para comercialização está entre 3.000 a 5.000 toneladas. Os custos apresentados abaixo são CIF entregues na região metropolitana de Campinas e considera que o cliente final irá recuperar os impostos ICMS, PIS e COFINS.

Pellets de Cana	Cavaco de Madeira Serraria e Eucalipto	Pellets Madeira	Serragem de Madeira	Pellets de Casca de Arroz	Briquetes em Geral
PODER CALORÍFICO INFERIOR					
4500 kcal/kg	2600 - 2800 kcal/kg	4000 - 4600 kcal/kg	2400 - 2600 kcal/kg	3000 - 3300 kcal/kg	4200 - 4800 kcal/kg
UMIDADE % (Base Seca)					
10%	33- 45%	8 - 10%	40- 45%	12 - 15%	6 - 16%
CUSTO DA MATÉRIA PRIMA – Base Junho/2013					
Médio (R\$ 250 a 300 P/TON)	Médio (R\$ 105 a 130 P/TON)	Elevado (R\$ 450 a 500 P/TON)	Baixo (R\$ 90 a 105 P/TON)	Elevado (R\$ 300 a 350 P/TON)	Elevado (R\$ 450 a 500 P/TON)
DISPONIBILIDADE COMERCIAL NO MERCADO					
Falta de Oferta	Oferta Segura	Oferta Segura	Oferta Segura	Oferta Instável	Oferta Segura
DISTÂNCIA DO PONTO DE CONSUMO (UNILEVER)					
100 - 200 KM	100 - 200 KM	> 400 KM	100 - 200 KM	> 500 KM	> 400 KM

Figura 2.6: Identificação dos diferentes tipos de biomassa disponível
Fonte: Elaboração própria

3. DESCRIÇÃO GERAL DE UMA INSTALAÇÃO DE CALDEIRA A BIOMASSA

Segundo os principais fornecedores de caldeira de biomassa, a área aproximada ocupada por uma instalação que atenderia a indústria tipo, considerando as caldeiras, sistema de alimentação, armazenamento (silo), vias de acesso dos caminhões ao silo é de 2.100m².

Os principais equipamentos da instalação identificados junto a fornecedores são:

- ❖ Sistema de Fornecimento e Distribuição de Biomassa
- ❖ Armazenamento da biomassa (Silo)
- ❖ Caldeiras
- ❖ Sistemas de limpeza de efluentes gasosos
- ❖ Sistema de instrumentação e controle

Dado a complexidade de um processo industrial, onde qualquer parada de produção por problemas em equipamento é substancialmente prejudicial financeiramente, o objetivo é selecionar/identificar no mercado de caldeiras a biomassa um sistema de geração de vapor que possua as seguintes características:

- Flexibilidade de Combustível: capacidade de usar uma grande variedade de tipos de biomassa, dimensões e com diferentes umidades;
- Elevado rendimento do sistema: desenho adequado do forno e do sistema de alimentação da caldeira;
- Alta disponibilidade: através de ajuste adequado do sistema e plano de manutenção preventiva adequada;
- Controle modular da potência;

3.1 FORNECIMENTO E DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA DE BIOMASSA

Existem várias possibilidades para o fornecimento de biomassa, segundo os fornecedores, no entanto, considerando cavaco de madeira a melhor opção identificada para o recebimento da biomassa consiste em:

a) Descarregar diretamente a biomassa no silo de armazenamento e transportá-la para a caldeira através de ponte grua.

b) Descarregar diretamente a biomassa num funil e transportá-la para o silo por meio de esteiras e, do silo para a caldeira, também por meio de esteiras.

c) Outra opção viável seria a associação das duas opções anteriores.

A seguir é apresentada uma breve descrição de ambos os sistemas:

a) Ponte grua e silo subterrâneo

O sistema de manuseio da biomassa será projetado para que um guindaste automático alcance o silo subterrâneo de armazenamento de biomassa. O guindaste automático está equipado com uma concha hidráulica que irá coletar a biomassa e a transportará até os alimentadores automáticos da fornalha da caldeira.

Este sistema de grua deve ser totalmente automatizado, para que se tenha um sistema de escaneamento para indicar os pontos dentro do silo onde a grua deverá coletar a biomassa armazenada.

b) Descarga da biomassa em funil e transportá-la para o silo e caldeiras por meio de esteiras.

Nesta opção a instalação de biomassa possuirá um sistema de armazenamento, transporte e dosagem do combustível, que inclui os seguintes elementos mostrados na imagem a seguir:

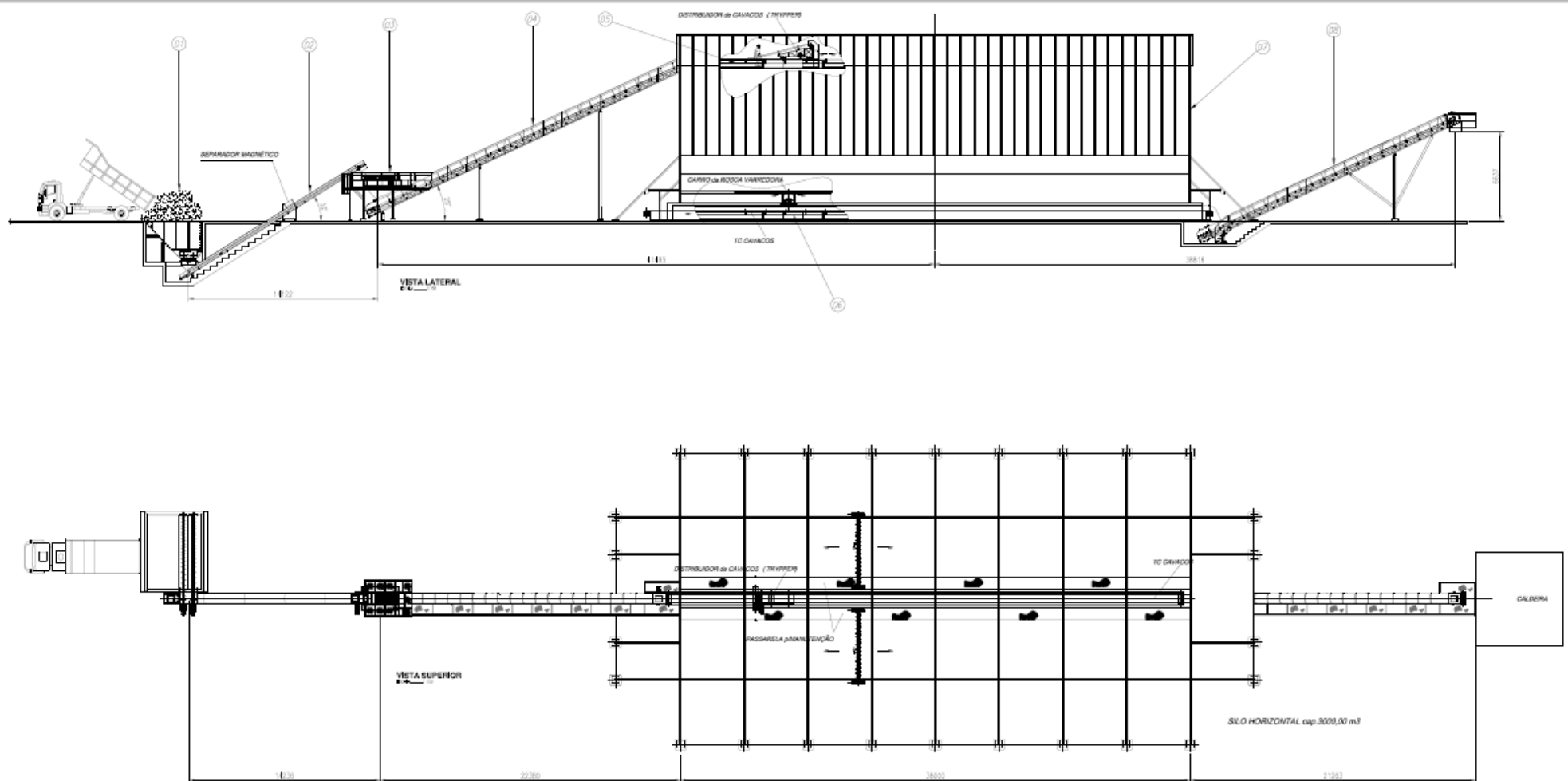


Figura 3.1: Esquema tipo de um sistema de alimentação de combustível
 Fonte: RCR Máquinas e Equipamentos Industriais, 2013

A biomassa chegará à planta industrial tipo via caminhões que descarregarão a mesma numa **moega receptora**, cuja instalação será de preferência enterrada.

De moega, a biomassa será conduzida através de esteira até uma **peneira de discos** para homogeneizar a cavaco (este é usado quando cavaco), se a biomassa utilizada ser de pellets ou briquetes não é necessário instalar o disco de peneira. Da peneira a biomassa será conduzida até o **silo** por meio de esteiras.

As esteiras transportadoras são equipamentos que transportam a biomassa.

Quanto ao tipo de silo, estes podem ser:

- Silo Horizontal enterrado (reservatório subterrâneo)
- Silo Horizontal semienterrados ou de superfície
- Silo vertical

O dimensionamento do sistema de armazenamento (Silo) depende:

- Aporte de vapor solicitado para a instalação
- Densidade aparente do combustível
- Poder Calorífico do Combustível

Para transportar a biomassa (cavaco) a partir do silo para a caldeira, deverá ser utilizado rosca sem-fim com correias transportadoras. Para o caso de fornecimento de cavaco de forma heterogênea (dimensões irregular), considerou a instalação de um picador. Ressalta-se que esta opção deve ser evitada ao máximo considerando a utilização de um excelente fornecedor de cavaco.

Com base na discussão acima foi determinado os seguintes equipamentos básicos:

- **Picador (opcional):** É necessário no caso do fornecimento de biomassa não seja homogêneo em termos de dimensões e que não cumpra os requisitos estipulados pelo fabricante da caldeira. No entanto, dado o mercado existente no Brasil em termos de produção e fornecimento de

biomassa para as quantidades exigidas pela planta é recomendado sua instalação.

- **Moega de recepção**
- **Esteira transportadora**
- **Peneira de disco classificatória:** instalação não é necessária para o funcionamento da planta, mas, a fim de reduzir o potencial de entupimento recomenda-se sua instalação.
- **Pátio de Armazenamento (Silo).**
- **Esteira transportadora:** A quantidade de esteiras irá depender do projeto final da instalação.
- **Centro de comando e motores.**

Abaixo é apresentada uma breve descrição dos equipamentos tipos acerca de um sistema de alimentação de biomassa:

a) Picador de Toras

O picador ser utilizado para homogeneizar as dimensões da biomassa.



Figura 3.2: Picador de cavaco
Fonte: RCR Máquinas e Equipamentos Industriais, 2013

b) Moega Receptora

Consiste num sistema simples e eficaz de recebimento de combustível. A forma construtiva da moega conta com uma das paredes a 90° que diminui a possibilidade de aderência do combustível nas paredes laterais do silo auxiliando a circulação contínua do combustível evitando a formação de ocos. O mesmo deverá ser instalado abaixo do nível do solo para facilitar a descarga de biomassa.



Figura 3.3: Moega Receptora Subterrânea
Fonte: RCR Máquinas e Equipamentos Industriais, 2013

Sua capacidade de armazenamento e relativa à capacidade de transporte de um caminhão.



Figura 3.4: Moega Receptora Exterior
Fonte: RCR Máquinas e Equipamentos Industriais, 2013

c) Peneira de discos

Tem como função excluir do sistema de transporte e armazenamento possíveis materiais indesejáveis que possam danificar o sistema de transportes subsequentes. A peneira com correias enfileiradas de pás em forma de hexágono, com espaçamentos entre si que somente possibilitem a passagem para o sistema de transporte de materiais com granulometria definida. Os materiais com granulometria superior a permitida são encaminhados automaticamente a uma caixa de rejeitos.



Figura 3.5 e 3.6: Peneiras de disco
 Fonte: RCR Máquinas e Equipamentos Industriais, 2013

d) Esteira transportadora

Equipamento destinado ao transporte de biomassa, resíduos de madeiras, cascas de arroz entre outros materiais. Este tipo de esteira é dimensionado de modo a permitir o transporte laminar do material.



Figura 3.6 e 3.7: Esteira Transportadora
 Fonte: RCR Máquinas e Equipamentos Industriais, 2013

e) Pátio de Armazenagem (Silo)

Desenvolvidos para armazenar com eficiência e segurança a biomassa. Os silos são fabricados em formato horizontal ou vertical. Neste caso, por causa das dimensões de armazenamento é considerado

melhor armazenamento horizontal, que pode estar no nível do piso ou parcialmente enterrado.



Figura 3.8: Esteira Transportadora

Fonte: RCR Máquinas e Equipamentos Industriais, 2013

É recomendável para o projeto tipo que a caldeira possua um pequeno silo a fim de facilitar o abastecimento da mesma, no caso de diferentes aglomerados de alimentação biomassa.

3.2 SISTEMA FORNO-CALDEIRA

O sistema forno-caldeira de grelha é composto pelos seguintes dispositivos:

- | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------|
| 1. Silo Pulmão | 2. Caldeira | 3. Preaquecedor de ar | 4. Multiciclone |
| 5. Dutos de gases | 6. Ventilador de tiragem induzida | 7. Chaminé | |
| 8. Ventilador de ar forçado | 9. Desaerador | | |

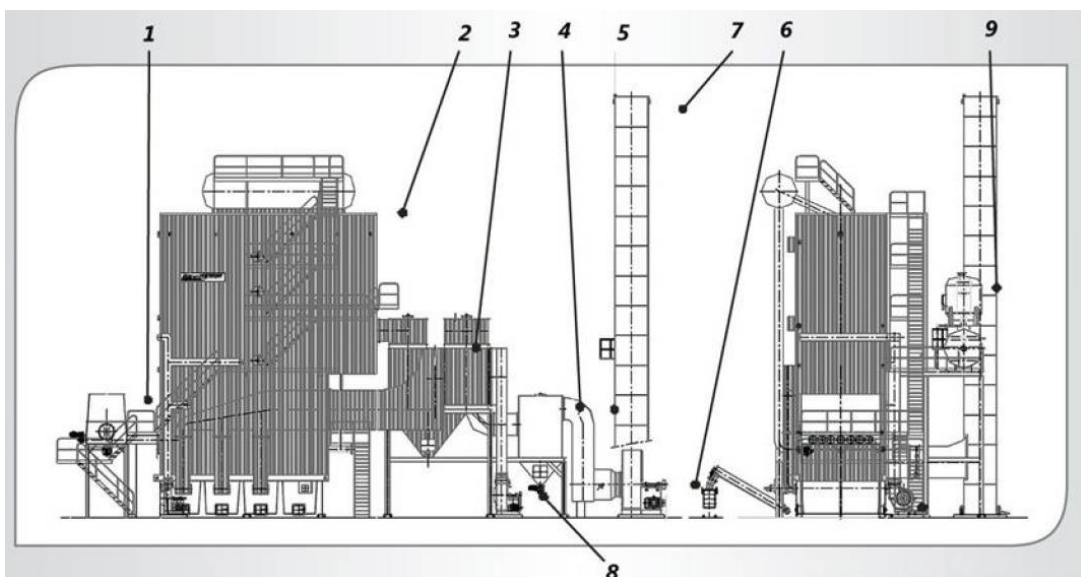


Figura 3.9: Sistema Forno-Caldeira Tipo

Fonte: H. Bremer, 2013

- a) Bandejas de alimentação de combustível, para atingir um fluxo mais uniforme de combustível e prevenir bloqueios na entrada da caldeira, assim como uma possível chama inversa.
- b) Forno com grades, que inclui:

- ❖ Suporte para combustão
- ❖ Dispositivos para o transporte de resíduos
- ❖ Dispositivos para descarte dos resíduos da queima



Figura 3.10: Sistema Forno-Caldeira Tipo
Fonte: H. Bremer, 2013

A câmara de combustão é formada por paredes revestidas interiormente com um material refratário acima da grelha. Deverá conter um sistema de remoção de cinzas e escórias, assim como um sistema de ar de combustão, incluindo os ventiladores. A mistura de ar necessário para a combustão é feito por um ventilador de ar primário e secundário. O sistema de pré-aquecimento de ar de entrada é um trocador de calor em contracorrente com o vapor produzido no retorno.

f) Dosagem Silo

O Silo dosador é um equipamento instalado junto a caldeira. Dispõe de um sistema de alimentação da caldeira por cilindros hidráulicos.

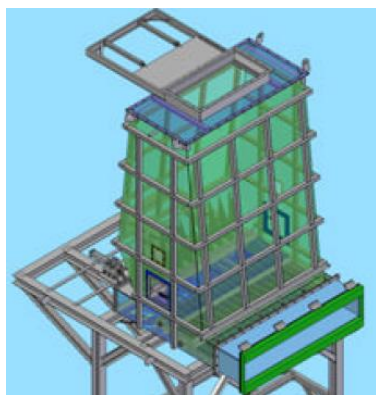


Figura 3.11: Esquema de dosagem do silo
Fonte: Biochamm, 2013

g) Pre-aquecimento do ar

É responsável por aumentar a temperatura do ar antes de entrar na câmara de combustão, através da troca de calor com os gases residuais quentes.

Melhora a eficiência da instalação da caldeira.

h) Coletores

Sua função é receber e distribuir água para todos os tubos da caldeira, assegurando que haja uma perfeita circulação de água.

i) Ventilador de ar forçado primário e secundário

Sopradores de ar forçado são utilizados para injetar ar na caldeira seguindo condições de pressão e vazão adequada. Os ventiladores secundários são semelhantes aos utilizados para o primário e são responsáveis por alimentar ar secundário para a combustão.



Figura 3.12: Ventiladores Tipo de Ar Forçado
Fonte: Biochamm, 2013

3.3 FORNECEDOR DE CALDEIRA DE BIOMASSA

A pesquisa acerca de potenciais fornecedores de caldeira a biomassa para o projeto da Indústria Tipo apontou para 6 principais fornecedores, a saber:

- ✓ BIOCHAM/BIOCAL
- ✓ BREMER
- ✓ MITRE
- ✓ ALLBORG

✓ SERMATEC

A empresa BIOCHAM possui caldeiras que trabalham com até 55% de umidade e com vantagem de trabalhar com mistura de combustível Cavaco e Serragem de madeira na proporção de 50% cada.

A BREMER é a empresa que possui o maior número de projetos implementados no mercado nacional e segundo informação obtida com o fabricante o equipamento opera com umidade máxima de 45% e até 55% utilizando refratários.

A Mitre possui muito anos de atuação no Brasil, porém a atuação na área de caldeira de biomassa é recente, haja vista que sua especialidade é caldeira a gás natural e óleo.

A empresa ALLBORG fornece ao mercado caldeiras que trabalham com umidade máxima de 30%, fato que pode dificultar a identificação de biomassa em alguns períodos do devido ao período de chuva onde a umidade dos combustíveis tendem a se elevar até 45%, dessa forma a mesma foi removida da presente análise.

Estes fornecedores analisados possuem equipamentos que atendem a demanda de 25 T_{vapor} e outras configurações como aquela apontada por este estudo de caldeira de 15 + 10 T_{vapor}/h.

A seguir é apresentado um quadro resumo da tipo de biomassa que pode ser utilizado em função dos 3 principais fabricantes identificados.

Tabela 1: Aplicação de biomassa por Fornecedor

Fabricantes	Cavaco de Madeira Eucalipto	Cavaco de Madeira Serraria	Serragem de Madeira	Briquete de Madeira	Pellets de Madeira	Briquetes de Casca de Arroz
BIOCAL	Sim	Sim	Até 50%	Sim	Sim	Sim
BREMER	Sim	Sim	Até 30%	Sim	Sim	Sim
MITRE	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não

Tabela 3.1: Aplicação de biomassa por Fornecedor
Fonte: Elaboração própria

4. ESTUDO DE CASO DA PLANTA INDUSTRIAL TIPO

A planta industrial considerada para a elaboração deste estudo é dedicada à produção de alimentos. Dada a natureza dos mesmos, muitas linhas de produção necessitam de vapor durante a preparação, processamento e embalagem de alimentos e outras matérias, tais como a separação de processos secundários.

A planta industrial possui três caldeiras para gerar o vapor necessário (17 bar).

Abaixo encontra-se a capacidade de geração de cada uma:

Caldeira	Capacidade de Geração (T/h)	Marca	Ano de Fabricação	Perfil de Operação
Caldeira 3	12	Babcock e Wilcox Company	1961	Sábados e Domingos (consumo menor 10t/h)
Caldeira 4	27	Cobrasma	1974	Segunda a Sexta (consumo entre 10 e 20 t/h)
Caldeira 5	40	Zanini	1980	Não é utilizada atualmente

Tabela 4.1: Caldeiras de Gás Existentes
Fonte: Elaboração própria

Na tabela acima, verifica-se que a produção da caldeira 5 é praticamente a soma de 3 e 4.

Neste caso, os dados analisados foram aqueles fornecidos pela Industria Tipo para as caldeira 3 e 4, no entanto, baseado nas informações obtidas durante a visita técnica, a caldeira 3 e 4 são as únicas caldeiras que estão normalmente em operação na instalação, já que, em princípio, a caldeira 5 é utilizado como backup de segurança.

As caldeiras de gás existentes são alimentadas com água a 134 ° C, o que implica a existência de um pré-aquecimento com produtos químicos quentes, e linhas de condensados de vapor, tal como pode ser visto a partir das seguintes imagens do sistema SCADA:

As três caldeiras produzem vapor saturado a 17 bar e o direciona para um colector comum a partir do qual a distribuição de vapor é realizada para diferentes linhas de processo. Existe um sistema de recuperação de purga de condensados de caldeiras e de alguns processos que não puderam ser analisados corretamente por falta de dados.

Uma vez que existe um grande potencial para a recuperação de calor para a presente instalação de caldeira de biomassa, recomenda-se que as fases mais avançadas de trabalho seja realizado um estudo de recuperação destes condensados, a fim de otimizar a instalação tornando-a mais eficiente possível.

Abaixo está um resumo das diversas linhas de vapor a partir do coletor geral com algumas de suas características e como estas se relacionam com os processos de produção resumidos anteriormente.

Linha de Tubulação	Diâmetro (polegadas)	Distância do Processo (m)	Alimentação ao Processo
Sabonete 1º piso	8	130	SECADORES - 31780210
Sabonete 4º piso	6	150	
Saboaria/APV	8	140	SABOARIA - 31780200
	8	165	APV - 31780230
DOVE/VEST HPC	8	160	DOVE - 31780220
	8	140	VESTIARIO CENTRAL
ICE/LAFIC	8	230 (950 Lafic)	ICE
Refinaria/ETEQ	8	150	ETEQ – 31780310
	8	125	REFINAÇÃO – 31780100
GDC/Restaurante	4	100	GDC – 30494934
	4	320	RESTAURANTE – 31781140
Oleo/Gordura	8	410	O & G – 31780811

Tabela 4.2: Principais linhas de vapor existentes na planta
Fonte: Elaboração própria

4.1 ANÁLISE DO CONSUMO DE VAPOR DA INDÚSTRIA TIPO NAS LINHAS DE PRODUÇÃO

De acordo com os dados de consumo de vapor mensal fornecidos pela indústria tipo, temos a seguinte distribuição:

Descrição	Un.	Jan-13	fev-13	mar-13	abr-13
ICE	Kg	867643	757380	788080	680240
HPC	Kg	3829602	4661287	4023481	5105183,1
SABOARIA - 31780200	Kg	304649	424427	405051	502576
SECADORES - 31780210	Kg	1266462	1595066	1390703	2170533
O & G - 31780811	Kg	186280	207730	214541	282798
ETEQ - 31780310	Kg	754310	937136	810745	748018
APV - 31780230	Kg	400753	490726	446313	383065
REFINAÇÃO - 31780100	Kg	382699	477531	334098	409506
DOVE - 31780220	Kg	521500	511700	408700	590590
RESTAURANTE - 31781140	Kg	3391	6291	5000	5000
VESTIARIO CENTRAL	Kg	3390	5211	2930	3004,1
GDC - 30494934	Kg	6168	5469	5400	10093
Consumo de Vapor Interno - 31780822	Kg	1400000	1490038	1395000	1615000
Perdas de Vapor Fábrica	Kg	2213375	1890704	2190379	2269726,9
Total Consumo Vapor Útil	Kg	4697245	5418667	4811561	5785423,1
Total Consumo Vapor (útil + interno)	Kg	6097245	6908705	6206561	7400423,1
Total Produzido Vapor (útil + interno + perdas)	Kg	8310620	8799409	8396940	9670150
PERDAS	%	26,63%	21,49%	26,09%	23,47%

Tabela 4.3: Resumo dos consumos mensais de vapor
Fonte: Elaboração própria

Deve notar-se que, no quadro e gráfico é apresentado o consumo de vapor nas principais linhas do processo de produção da planata, assim como o consumo total de vapor produzido na instalação que corresponde com o total de vapor produzido (útil + interno + Perdas).

Como é possível perceber no gráfico, o processo de SECADORES na área de produção de SABONETES é o maior consumidor, seguido pelo ICE e ETEQ.

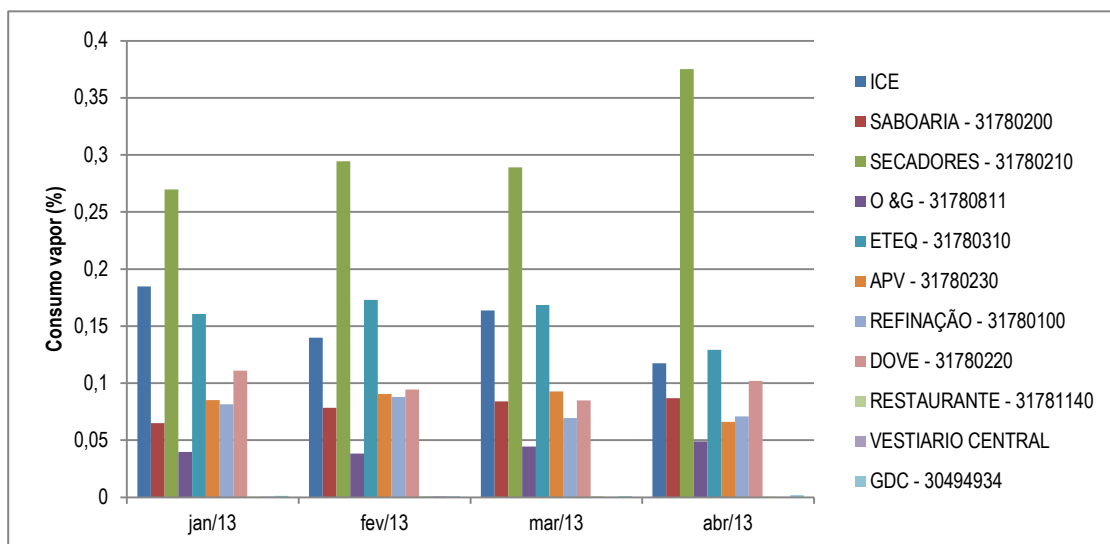


Figura 4.1: Consumo mensal de vapor (%) por linha de vapor de Janeiro a Abril 2013
Fonte: Elaboração própria

4.2 HISTÓRIO DA GERAÇÃO DE VAPOR NA INDÚSTRIA TIPO

Após analisar o histórico de geração de vapor foi possível concluir que os requisitos de vapor foram reduzidos, a partir de 2011, mais de 50% em relação a 2008, conforme mostrado no gráfico a seguir.

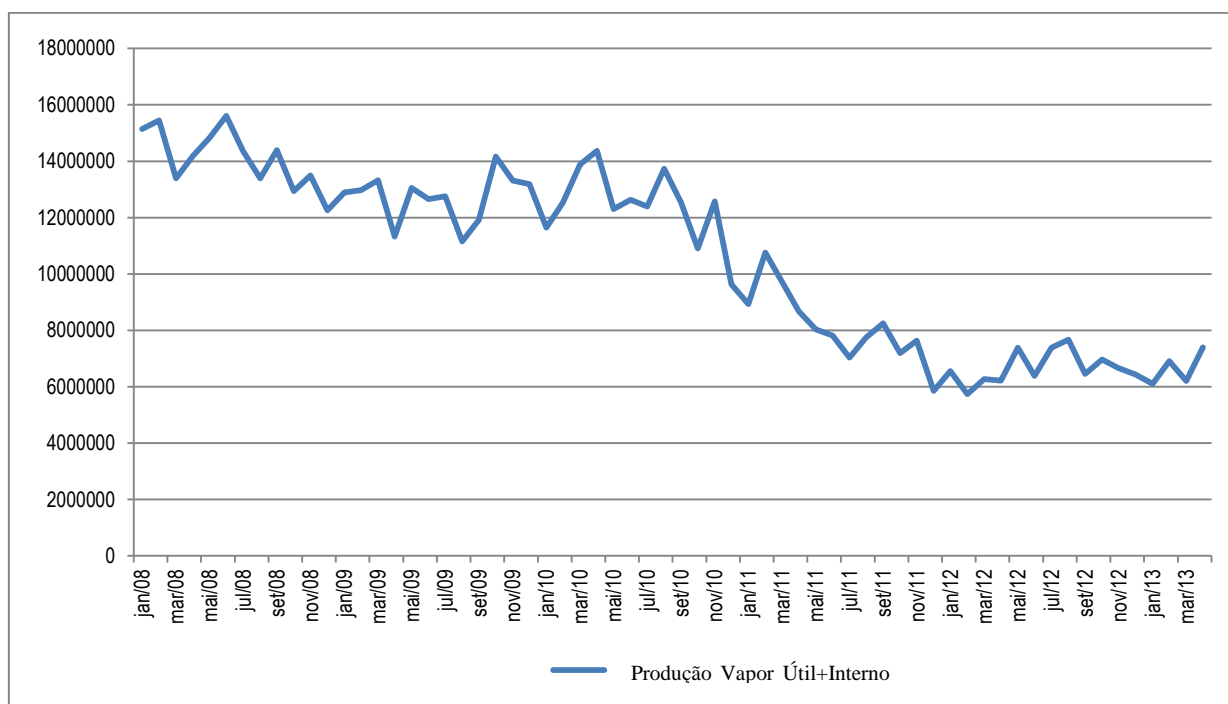


Figura 4.2: Produção mensal de vapor útil + Interno (kg)
Fonte: Elaboração própria

4.2.1 FUNCIONAMENTO DAS CALDEIRAS

Segundo dados obtidos junto à indústria em questão, tendo as várias capacidades da caldeira e os dados de consumo previstos foi considerado que o total de geração de vapor da planta corresponde a geração das caldeiras 3 e 4.

A caldeira 4 opera em dias produtivos normais, enquanto 3 opera somente nos momentos em que as exigências de vapor são mais baixas, como por exemplo aos fins de semana.

Sendo assim, a caldeira 5, portanto, é utilizada em situações de manutenção da caldeira 3 e 4.

A partir dos dados disponibilizados foi elaborado a figura abaixo onde é possível perceber as caldeiras trabalhando em paralelo e fornecendo vapor ao processo industrial.

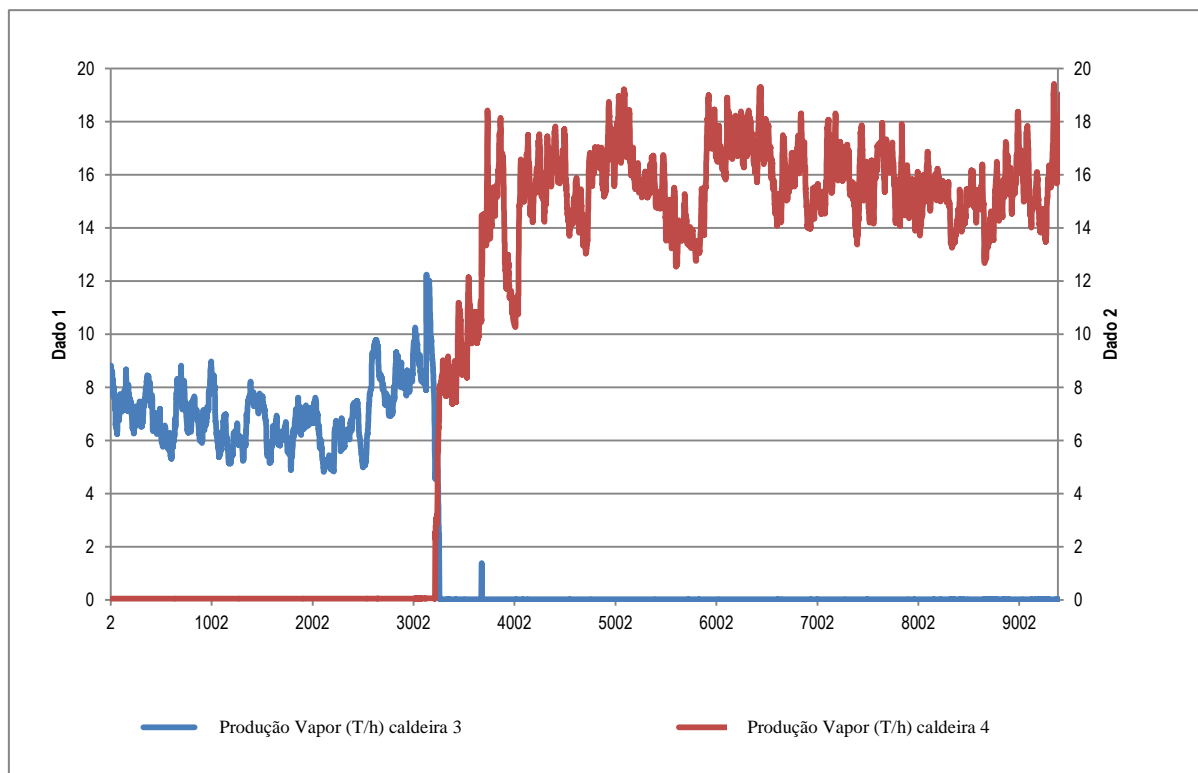


Figura 4.3: Produção de vapor das caldeiras 3 e 4 (segunda feira 14/01/2013)
Fonte: Elaboração própria

Segundo informação da área de engenharia da indústria, o processo de regulação da operação das caldeiras é realizado mediante ao controle da pressão do vapor, conforme apresentado na figura abaixo:

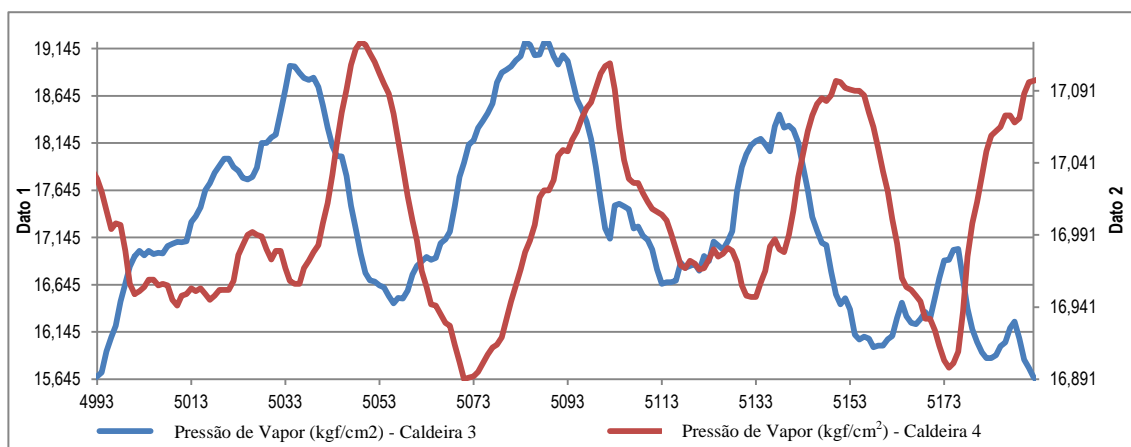


Figura 4.4: Pressão do vapor (kgf/cm²) (segunda-feira 14/01/2013)

Fonte: Elaboração própria

É possível observar claramente como a redução da pressão de vapor faz com que a caldeira para produzir mais quantidade de vapor e vice-versa.

4.2.2 PERÍODOS DE PRODUÇÃO DE VAPOR

Como mencionado em secções anteriores, a operação das caldeiras 3 e 4 são alternadas para satisfazer as necessidades de vapor da planta industrial.

A caldeira 3, de capacidade menor, funciona em períodos de baixa produção, como finais de semana e feriados, enquanto a caldeira 4 opera nos dias de consumo normais, com isto se diferem claramente dois períodos de produção de vapor da instalação.

O gráfico a seguir apresenta a produção toneladas de vapor/h registrada aproximadamente a cada 10 segundos, durante 15 dias, correspondendo aos dias 12-01-2013 a 26/01/2013.

Neste gráfico é possível ver duas importantes baixa na produção que correspondem aos dois fins de semana, cujos dados foram analisados.

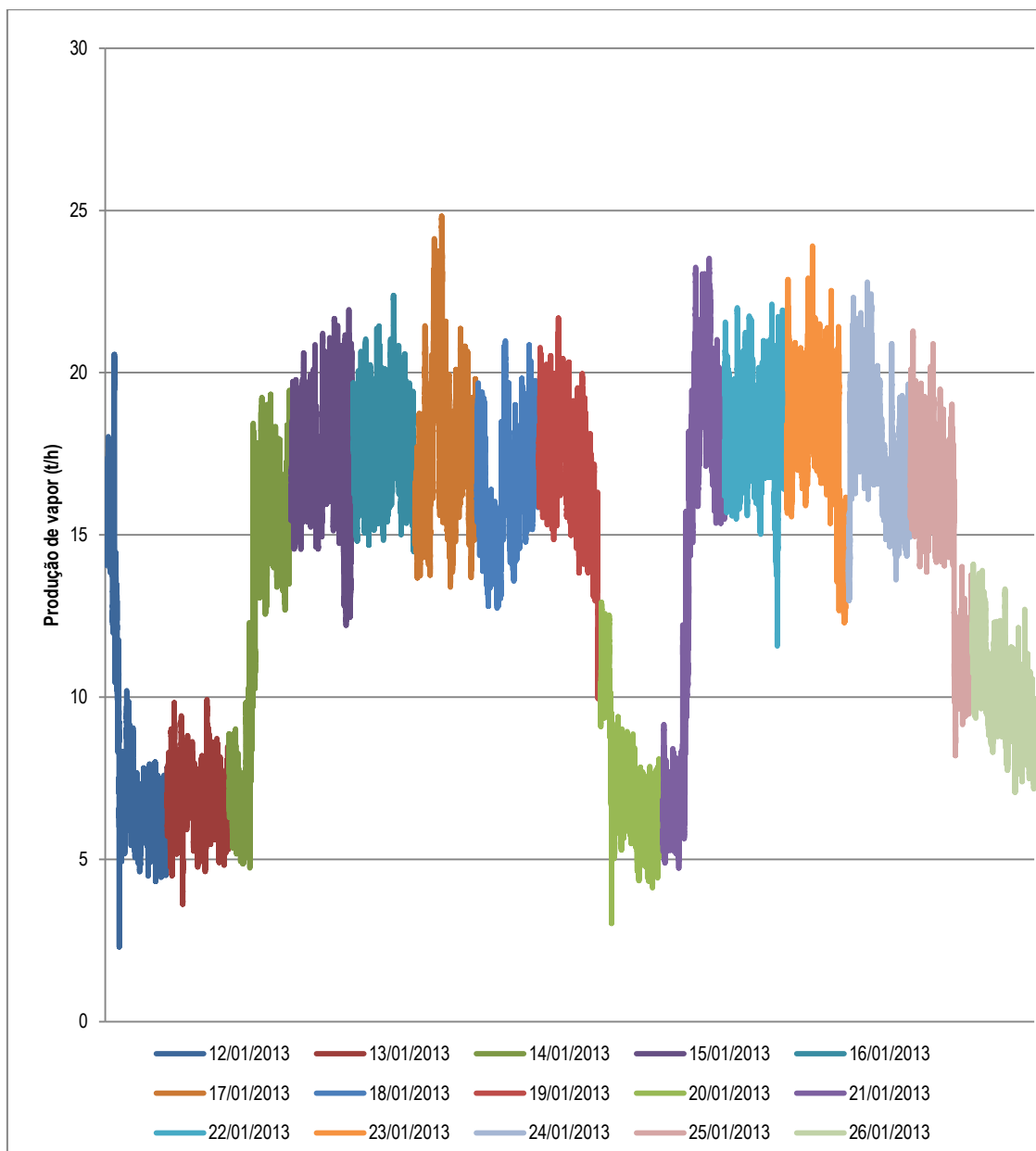


Figura 4.5: Produção de Vapor (T/h) do dia 12/01/2013 a 26/01/2013

Fonte: Elaboração própria

A seguir é apresentado um gráfico que demonstra o consumo máximo diário de produção de vapor registrado e o consumo médio diário.

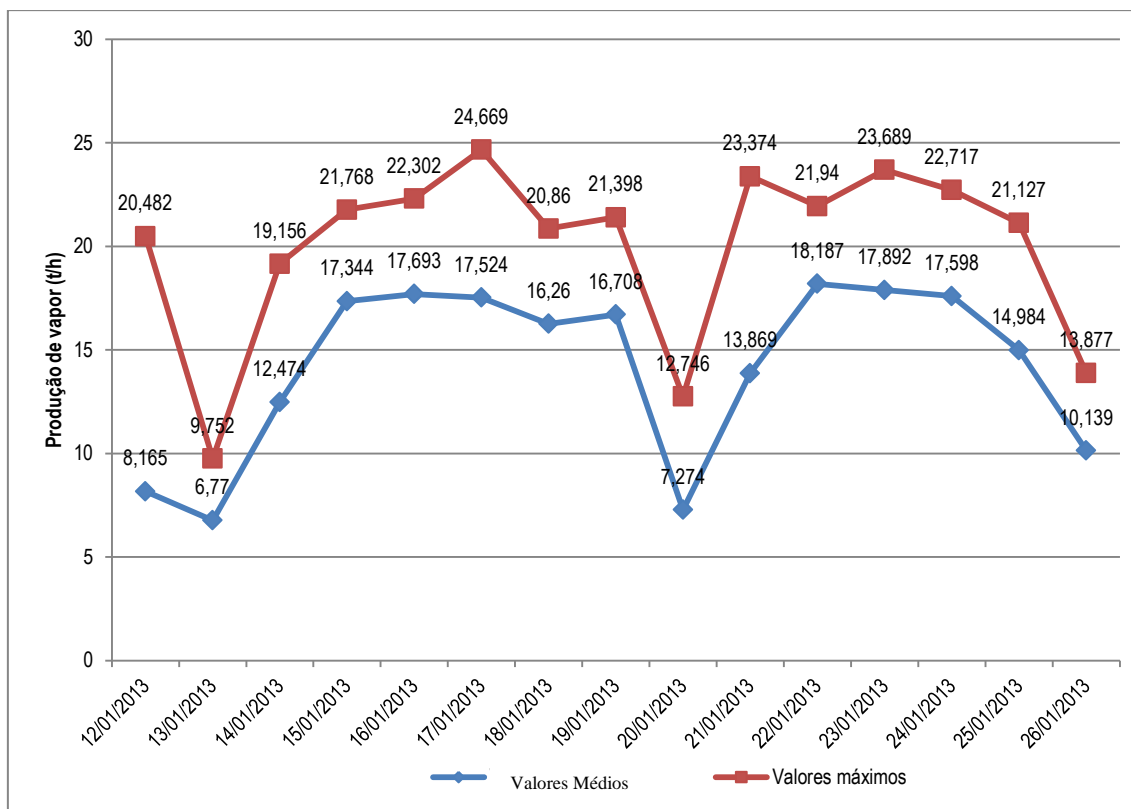


Figura 4.6: Consumos diários de produção de vapor em T/h (máximo e médio)
Fonte: Elaboração própria

Tabela 4.4: Consumo diários de produção de vapor em T/h (máximo e médios)
Fonte: Elaboração própria

Dia	Produção vapor máxima diária, caldeiras 3 + 4 (T/h)	Produção vapor média diária caldeiras 3 + 4 (T/h)
12/01/2013	20,482	8,165
13/01/2013	9,752	6,77
14/01/2013	19,156	12,474
15/01/2013	21,768	17,344
16/01/2013	22,302	17,693
17/01/2013	24,669	17,524
18/01/2013	20,86	16,26
19/01/2013	21,398	16,708
20/01/2013	12,746	7,274
21/01/2013	23,374	13,869
22/01/2013	21,94	18,187
23/01/2013	23,689	17,892
24/01/2013	22,717	17,598
25/01/2013	21,127	14,984
26/01/2013	13,877	10,139
Médio	19,990	14,192

Com base nos dados apresentados acima, é possível perceber que entre os dias 12/01/2013 a 26/01/2013, considerando as caldeiras de produção de vapor 3 e 4, obtém-se:

- O valor máximo registrado de vapor de 24,7 T/h
- Média diária mínima de 6,77 T/h
- Valor médio máximo de 18.187 T/h
- O valor médio dos 15 dias de 14,19 T/h

Estes dados operacionais aqui discutidos são utilizados como referência base para a identificação da caldeira a biomassa apropriada para a indústria em questão.

4.2.3 CONSUMO DE GÁS NAS CALDEIRAS

A análise dos dados de índices de vapor úteis e internos da geração de vapor demonstra o seguinte:

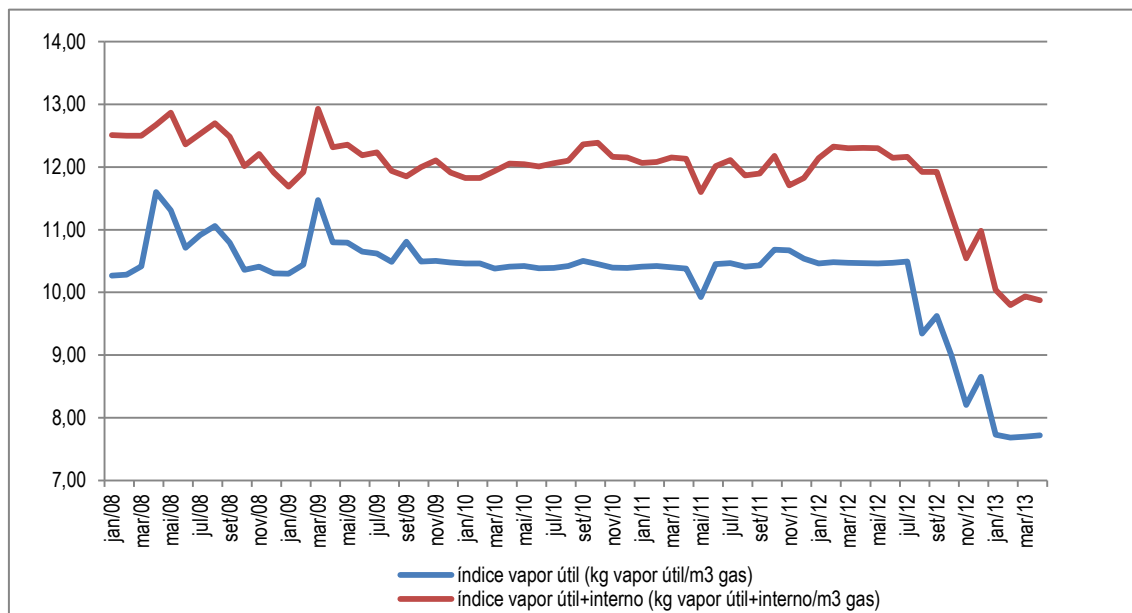


Figura 4.7: Índices de vapor útil e vapor útil + interno em kg/m³ gás (dados fornecidos por indústria tipo)
Fonte: Elaboração própria

Tabela 4.5: Dados Mensais de Consumo e Produção de Vapor
Fonte: Elaboração própria

Mês	Consumo gás geração vapor (m3)	Produção de vapor útil (kg)	Produção de vapor útil+interno (kg)	índice de vapor útil (kg vapor útil/m ³ gás)	índice vapor útil+interno (kg vapor útil+interno/m ³ gás)
jul-08	1145249	12499265	14349970	10,91	12,53
ago-08	1054141	11657247	13387601	11,06	12,70
set-08	1153091	12445815	14394888	10,79	12,48
out-08	1076884	11157225	12937569	10,36	12,01
jan-09	1102666	11357460	12888339	10,30	11,69
fev-09	1088948	11368617	12976018	10,44	11,92
mar-09	1031031	11826666	13328696	11,47	12,93
abr-09	919931	9935255	11327414	10,80	12,31
maio-09	1055792	11396720	13046792	10,79	12,36
jun-09	1038123	11057010	12654297	10,65	12,19
jul-09	1042607	11074520	12755714	10,62	12,23
ago-09	934269	9797133	11152052	10,49	11,94
set-09	1005587	10870351	11915430	10,81	11,85
out-09	1180240	12380748	14162880	10,49	12,00
nov-09	1099680	11546642	13310576	10,50	12,10
dez-09	1107529	11604661	13192201	10,48	11,91
jan-10	984971	10304626	11647277	10,46	11,82
fev-10	1060899	11097006	12542901	10,46	11,82
mar-10	1163400	12076090	13884892	10,38	11,93
abr-10	1192137	12410146	14369880	10,41	12,05
mai-10	1021695	10646066	12306526	10,42	12,05
jun-10	1052565	10928374	12637319	10,38	12,01
jul-10	1027397	10674660	12391794	10,39	12,06
ago-10	1134813	11824752	13728987	10,42	12,10
set-10	1013914	10646097	12534282	10,50	12,36
out-10	880218	9198278	10902054	10,45	12,39
nov-10	1033753	10743616	12572096	10,39	12,16
dez-10	792981	8239080	9634719	10,39	12,15
jan-11	739941	7702782	8925564	10,41	12,06
fev-11	890624	9280302	10758386	10,42	12,08
mar-11	800441	8324238	9727352	10,40	12,15
abr-11	714522	7416739	8666834	10,38	12,13
mai-11	692920	6877560	8036803	9,93	11,60
jun-11	650296	6795593	7813622	10,45	12,02
jul-11	580577	6076225	7029826	10,47	12,11
ago-11	653239	6800218	7752249	10,41	11,87
set-11	692965	7226653	8245326	10,43	11,90
out-11	590755	6308853	7194668	10,68	12,18
nov-11	651759	6954269	7631908	10,67	11,71
dez-11	494696	5214096	5849328	10,54	11,82
jan-12	539946	5647836	6555376	10,46	12,14
fev-12	465882	4883715	5741049	10,48	12,32
mar-12	510229	5342097	6275817	10,47	12,30
abr-12	505233	5286779	6217994	10,46	12,31
mai-12	600052	6276544	7380639	10,46	12,30
jun-12	526032	5507555	6389809	10,47	12,15
jul-12	607018	6367619	7381339	10,49	12,16
ago-12	643805	6014891	7675260	9,34	11,92
set-12	541624	5212340	6457340	9,62	11,92
out-12	620704	5580921	6968445	8,99	11,23
nov-12	631382	5180191	6657191	8,20	10,54
dez-12	585671	5069340	6431729	8,66	10,98
jan-13	607560	4697245	6097245	7,73	10,04
fev-13	705099	5418667	6908705	7,68	9,80
mar-13	624764	4811561	6206561	7,70	9,93
abr-13	749327	5785423	7400423	7,72	9,88

Os dados acima não representam o consumo real de gás natural na caldeira, pois não leva em conta o valor do vapor perdido, apenas vapor útil e interno.

Os dados de perdas de vapor são disponíveis desde agosto de 2012, portanto, para os meses restantes foram estimadas as perdas de vapor de 20,53%, com os seguintes resultados:

Tabela 4.6: Consumo de gás, vapor e estimativa de perdas %.
Fonte: Elaboração própria

Mês	Consumo gás para geração de vapor (m ³)	Total vapor (kg)	Índice vapor geral (kg vapor/ Nm ³ gas)	% Perdas
mai-12	600052	9225798	15,37	20,53%
jun-12	526032	7987261	15,18	20,53%
jul-12	607018	9226673	15,20	20,53%
ago-12	643805	9382196	14,57	18,19%
set-12	541624	7348929	13,57	12,13%
out-12	620704	8093157	13,04	13,90%
nov-12	631382	8679690	13,75	23,30%
dez-12	585671	7993836	13,65	19,54%
jan-13	607560	8310620	13,68	26,63%
fev-13	705099	8799409	12,48	21,49%
mar-13	624764	8396940	13,44	26,09%
abr-13	749327	9670150	12,91	23,47%

4.3 PRODUÇÃO DE VAPOR NECESSÁRIA PARA A INSTALAÇÃO DE BIOMASSA

Para dimensionar a caldeira de produção de vapor com biomassa foram utilizados os valores de consumo de vapor registrados nos últimos 12 meses. Esta estratégia foi adotada, pois entende-se que estes 12 últimos meses representam valores que estão mais próximos de consumo real na planta.

Neste cálculo foi considerado as perdas nas instalações descritos na seção anterior Tabela 8.

Dessa forma, a estimativa do consumo de vapor, nos últimos 12 meses, é mostrada na tabela seguinte:

Tabela 4.7: Produção necessária de vapor últimos 12 meses
 Fonte: Elaboração própria

Meses	Produção de vapor útil (kg)	Produção vapor útil + interno (kg)	Perdas	Total consumo vapor (inclui perdas) (kg)
mai-12	6.276.544	7.380.639	20,53%	9.286.967
jun-12	5.507.555	6.389.809	20,53%	8.040.218
jul-12	6.367.619	7.381.339	20,53%	9.287.848
ago-12	6.014.891	7.675.260	18,19%	9.382.196
set-12	5.212.340	6.457.340	12,13%	7.348.929
out-12	5.580.921	6.968.445	13,90%	8.093.157
nov-12	5.180.191	6.657.191	23,30%	8.679.690
dez-12	5.069.340	6.431.729	19,54%	7.993.836
jan-13	4.697.245	6.097.245	26,63%	8.310.620
fev-13	5.418.667	6.908.705	21,49%	8.799.409
mar-13	4.811.561	6.206.561	26,09%	8.396.940
abr-13	5.785.423	7.400.423	23,47%	9.670.150
ANO	65.922.297	81.954.686		103.289.961

Nota: Os valores em vermelho foram calculados em função dos demais valores reais médios fornecidos pela Indústria Tipo.

Com base no anterior, determinou-se que a produção de vapor necessária na fábrica de Maio 2012 até abril 2013 foi de **103.289.961 kg**. Desta forma, foi considerado este montante de geração de vapor a ser produzido pela futura instalação de biomassa.

4.4 ANÁLISES DE CONSUMO DE GÁS NATURAL

4.4.1 ESTRUTURA CONSUMO GAS NATURAL

O consumo de gás natural da planta industrial tem a estrutura geral apresentada a seguir:

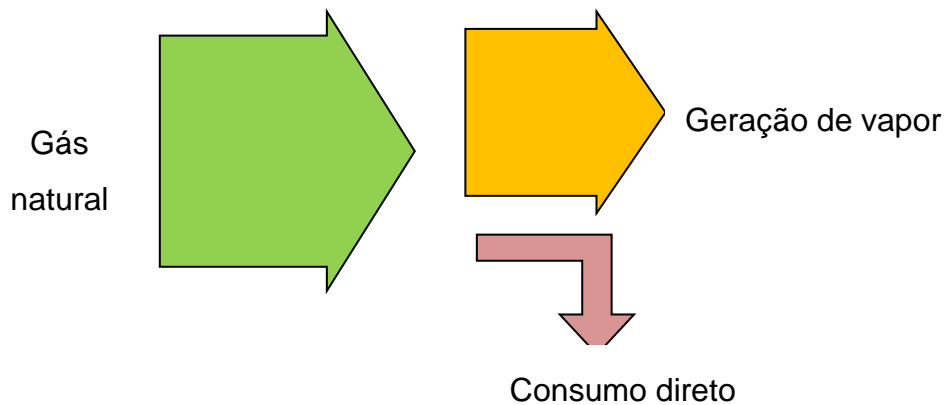


Figura 4.8: Esquema de consumo gás natural na instalação existente
Fonte: Elaboração própria

A maior parte do consumo de gás corresponde a geração de vapor utilizado nas distintas linhas de processo do sistema de produção e outros consumos como vestuários ou restaurante.

4.5 GÁS NATURAL PARA GERAÇÃO DE VAPOR

O gráfico a seguir mostra o consumo total de gás na planta para a geração de vapor e o percentual de gás natural utilizado para geração de vapor no período compreendido entre Março de 2012 e Abril de 2013.

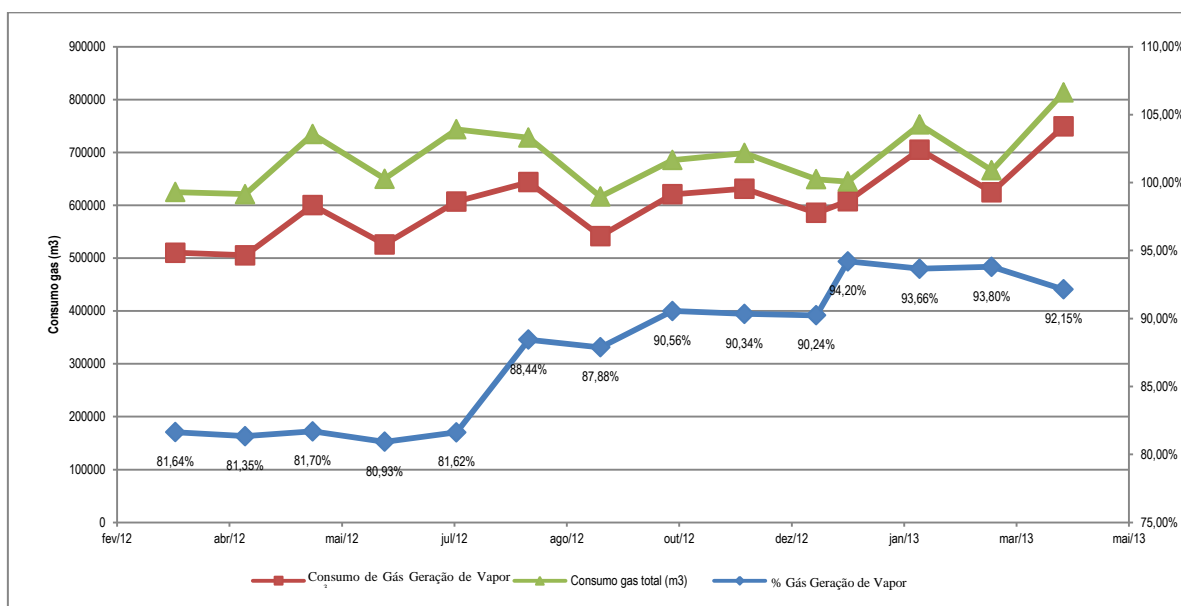


Figura 4.9: Consumos de gás existentes na instalação e % do consumo de gás destinado à produção de vapor
Fonte: Elaboração própria

Estes dados de consumo de gás foram obtidos a partir do consumo e contas de gás, fornecida pela indústria tipo.

A tabela seguinte mostra um resumo com todos os dados existentes, desde janeiro de 2008 até abril de 2013.

Nesta tabela, observa-se um aumento no consumo de gás para geração de vapor desde Agosto de 2012, alcançando índices de 90%. Com isto, a percentagem média de gás usado para gerar quantidades de vapor atinge 85%, considerando todos os dados fornecidos.

Abaixo é apresentado um gráfico de consumo anual de gás registrado nos últimos cinco anos, bem como o consumo existente nos últimos 12 meses.

Tabela 4.8: Consumos mensais de gás total e destinado à produção de vapor
Fonte: Elaboração própria

Mês	Consumo gás total sem correção (m3)	Consumo gás geração vapor sem correção (m3)	Consumo gás geração vapor (%)
jan-08	1361512	1210161	88,88%
fev-08	1390312	1235841	88,89%
mar-08	1223911	1071000	87,51%
abr-08	1282869	1118868	87,22%
maio-08	1284310	1153140	89,79%
jun-08	1416992	1262150	89,07%
jul-08	1281420	1145249	89,37%
ago-08	1202264	1054141	87,68%
set-08	1324359	1153091	87,07%
out-08	1248885	1076884	86,23%
nov-08	1279011	1105210	86,41%
dez-08	1181486	1029080	87,10%
jan-09	1270397	1102666	86,80%
fev-09	1269749	1088948	85,76%
mar-09	1215032	1031031	84,86%
abr-09	1080920	919931	85,11%
maio-09	1243511	1055792	84,90%
jun-09	1241946	1038123	83,59%
jul-09	1273645	1042607	81,86%
ago-09	1179809	934269	79,19%
set-09	1186646	1005587	84,74%
out-09	1419310	1180240	83,16%
nov-09	1279887	1099680	85,92%
dez-09	1344591	1107529	82,37%
jan-10	1196059	984971	82,35%
fev-10	1305235	1060899	81,28%
mar-10	1439053	1163400	80,84%
abr-10	1473592	1192137	80,90%
mai-10	1247698	1021695	81,89%
jun-10	1285165	1052565	81,90%
jul-10	1250474	1027397	82,16%
ago-10	1360604	1134813	83,41%
set-10	1241443	1013914	81,67%
out-10	1094197	880218	80,44%
nov-10	1252754	1033753	82,52%
dez-10	1021361	792981	77,64%
jan-11	931470	739941	79,44%
fev-11	1107064	890624	80,45%
mar-11	1004862	800441	79,66%
abr-11	927593	714522	77,03%
mai-11	803325	692920	86,26%
jun-11	761287	650296	85,42%
jul-11	669277	580577	86,75%
ago-11	769890	653239	84,85%
set-11	812950	692965	85,24%
out-11	704714	590755	83,83%
nov-11	767036	651759	84,97%
dez-11	606771	494696	81,53%
jan-12	597158	539946	90,42%
fev-12	537177	465882	86,73%
mar-12	625006	510229	81,64%
abr-12	621090	505233	81,35%
mai-12	734447	600052	81,70%
jun-12	649952	526032	80,93%
jul-12	743680	607018	81,62%
ago-12	727928	643805	88,44%
set-12	616334	541624	87,88%
out-12	685416	620704	90,56%
nov-12	698890	631382	90,34%
dez-12	649025	585671	90,24%
jan-13	644969	607560	94,20%
fev-13	752810	705099	93,66%
mar-13	666053	624764	93,80%
abr-13	813196	749327	92,15%

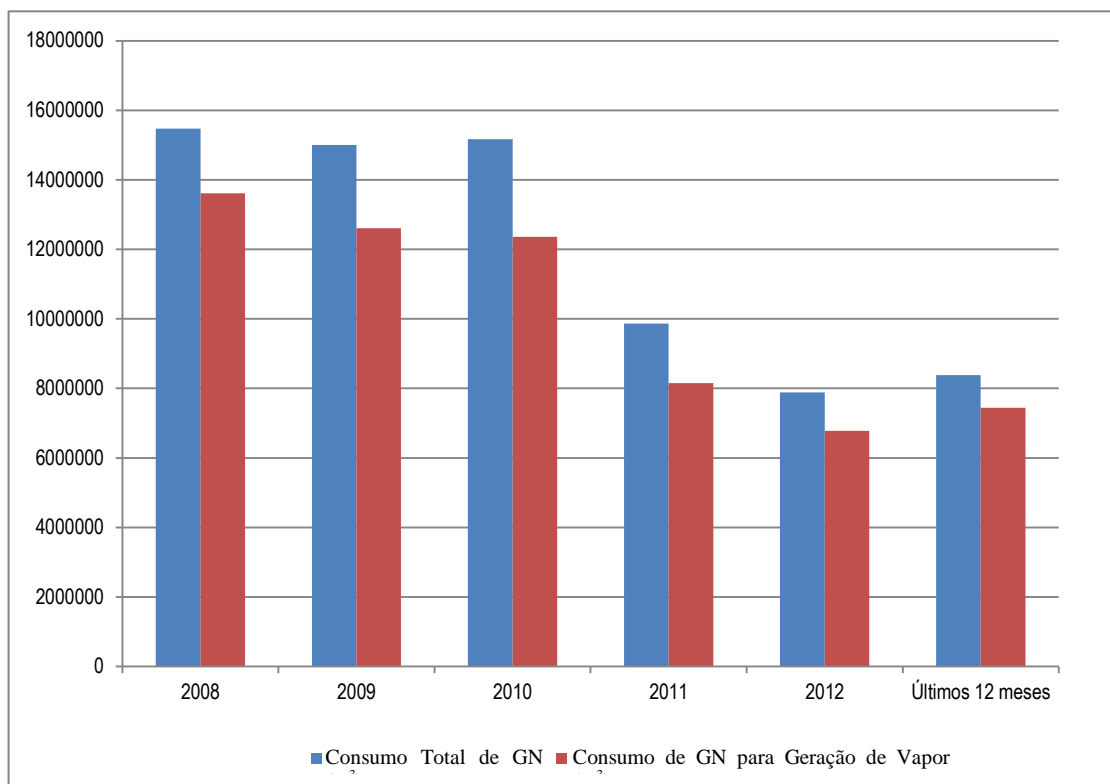


Figura 4.10: Consumo anual de gás (total e para geração de vapor)
Fonte: Elaboração própria

A partir do gráfico anterior é possível verificar a diferença de consumo entre alguns anos e outros, sobretudo a queda entre 2010 e 2011.

Esta diferença no consumo entende-se por possíveis alterações operacionais ocorridas na fábrica, como por exemplo mudança/extinção de linhas de produção.

Para o estudo de viabilidade foi determinada como consumo anual de gás aquele registrado pela Indústria Tipo nos últimos 12 meses, compreendendo no montante de **7.538.034,97 m³ (ver tabela abaixo)**.

Tabela 4.9: Cálculo do consumo de gás anual e os últimos 12 meses (m³)
 Fonte: Elaboração própria

Mês	consumo gás gerado por vapor (m³)	Fator correção	Consumo gás corrigido (m³)
mai-12	600.052,00	1,0122	607.372,63
jun-12	526.032,00	1,0144	533.610,97
jul-12	607.018,00	1,0123	614.484,32
ago-12	643.805,02	1,0144	653.075,81
set-12	541.624,42	1,0139	549.153,00
out-12	620.703,66	1,0147	629.828,01
nov-12	631.382,00	1,0125	639.274,28
dez-12	585.671,09	1,0116	592.464,88
jan-13	607.559,50	1,0127	615.275,51
fev-13	705.098,71	1,0119	713.489,38
mar-13	624.764,35	1,0118	632.136,57
abr-13	749.327,29	1,0114	757.869,62
TOTAL ANO	7.443.038,05	1,0128	7.538.034,97

4.6 AVALIAÇÃO DA INSTALAÇÃO DE CALDEIRAS DE VAPOR A BIOMASSA

A fim de identificar o melhor dimensionamento da caldeira de biomassa para geração de vapor necessária na Indústria Tipo, considerando os resultados obtidos nas seções anteriores em relação à produção máxima de vapor e a produção média diária (a cada 10 segundo) foi analisado as capacidades de produção das caldeiras de biomassa, que, em princípio, podem ser viáveis para o projeto em questão.

De acordo com os valores analisados no prazo de 15 dias, temos:

- A produção máxima na instalação de 24,7 T/h
- O valor mínimo da produção na unidade de 2,34 T/h
- Valor médio diário (média) 14,19 T/h
- Média mínima diária 6,77 T/h
- Média máxima diária de 18.187 T/h

Além dos dados apresentados acima, para determinar os possíveis valores nominais das caldeiras a serem instaladas foi levado em consideração que estes equipamentos podem operar com praticamente o mesmo nível de rendimento até uma determinada potência nominal, e logo, existe outra faixa de operação em que a caldeira continuará operando, porém com perdas de rendimento.

Em função do fabricante da caldeira estas faixas de operação podem variar, sendo necessário, portanto a definição adequada da faixa ideal de funcionamento com e sem perda de rendimento num futuro estudo detalhado desta instalação a biomassa.

Neste caso, a fim de fazer uma avaliação da viabilidade da instalação proposta foi considerado o cenário do regime de operação de carga até 60%, sem ter em conta as produções de vapor obtidas com perdas de rendimento, as quais devem ser analisadas em um estudo mais detalhado que será função da caldeira considerada. Alguns fornecedores de caldeira indicam que a

caldeira também pode trabalhar no regime de operação de carga até 40%, porém isto tem que ser confirmado com os fornecedores.

Tabela 4.10: Produção de Vapor mínimas e máximas utilizadas nas análises de viabilidade
Fonte: Elaboração própria

PRODUÇÃO DE VAPOR CALDEIRA NOMINAL (T/h)	PRODUÇÃO VAPOR CALDEIRA a 60% da potência nominal (T/h) (Fornecimento Padrão)
5	3
7,5	4,5
10	6
12	7,2
15	9
20	12
25	15

Por outro lado, tendo em conta o consumo de vapor na instalação (ver secções anteriores), pode-se concluir que a produção de vapor não é geralmente inferior a 3 T/h ou, tampouco, superior a 24,5 tn / h, de modo que a potência da caldeira para ser instalado deve situar-se entre estes valores, a fim de otimizar o máximo rendimento possível. Portanto a potência da caldeira ou caldeiras a serem instaladas deve ficar entre 7,5 t / h e 25 t / h.

A fim de analisar melhor o desempenho de diferentes caldeiras foi feita uma comparação da curva instantânea de produção de vapor fornecida pelo cliente com a produção de vapor que uma hipotética caldeira aportaria ao sistema.

Os gráficos apresentados a seguir demonstram uma parte dos resultados obtidos para cada uma das caldeiras avaliadas, considerando o intervalo dos dias 12/01/2013 02:50 - 03:30 horas. Nestes gráficos foram representado os valores instantâneos de produção vapor.

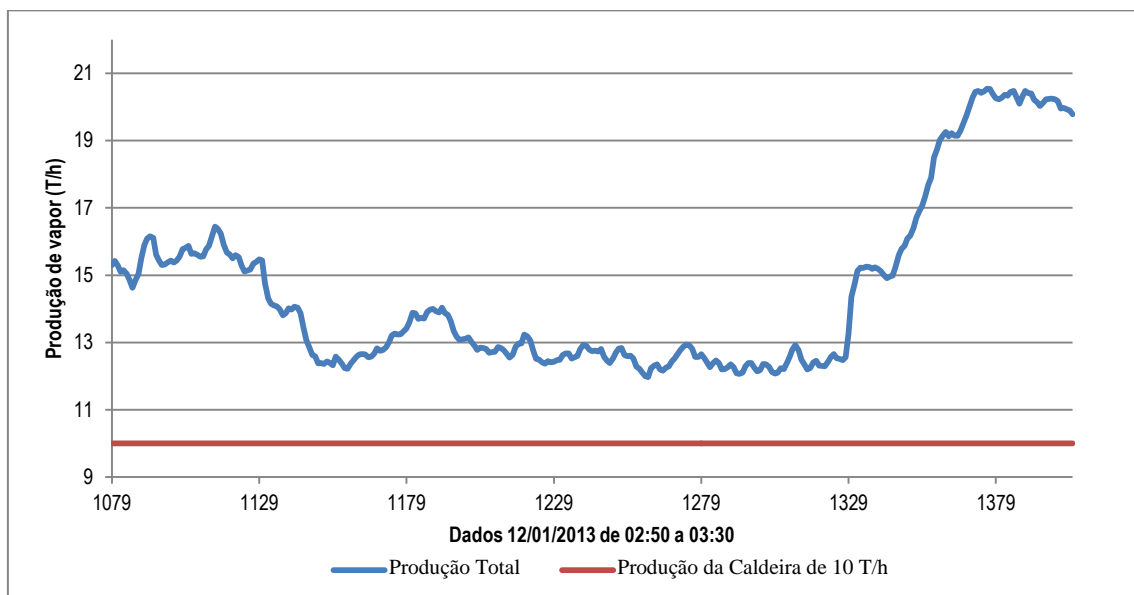


Figura 4.11: Funcionamento com Caldeira de 10 T/h
Fonte: Elaboração própria

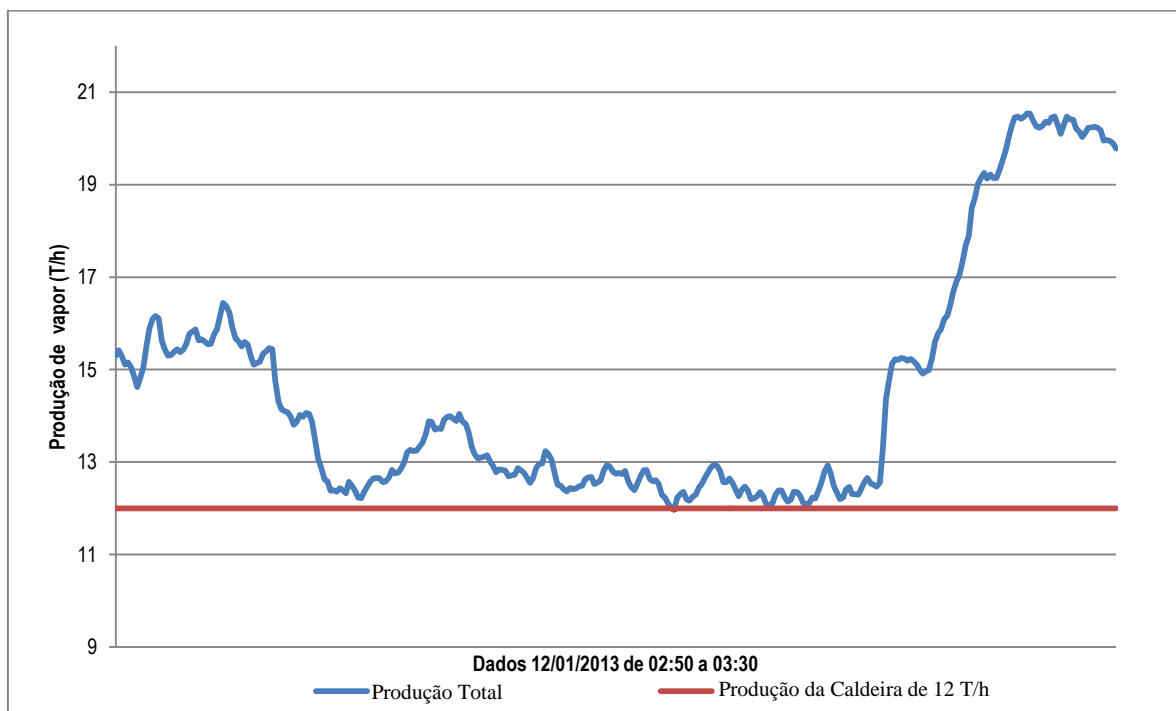


Figura 4.12: Funcionamento com Caldeira de 12 T/h
Fonte: Elaboração própria

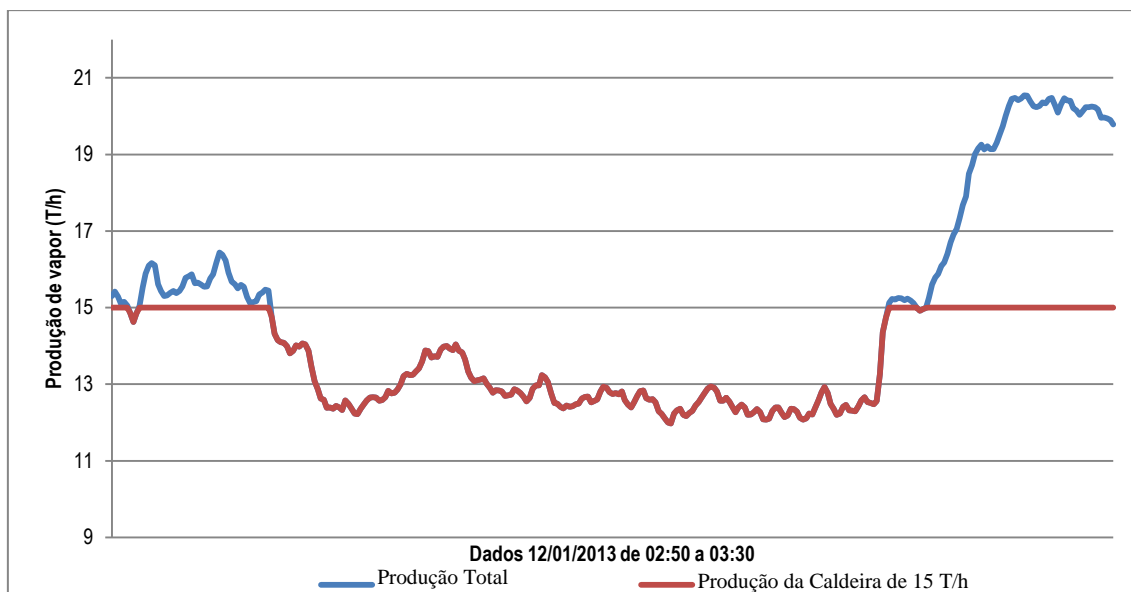


Figura 4.13: Funcionamento com Caldeira de 15 T/h
Fonte: Elaboração própria

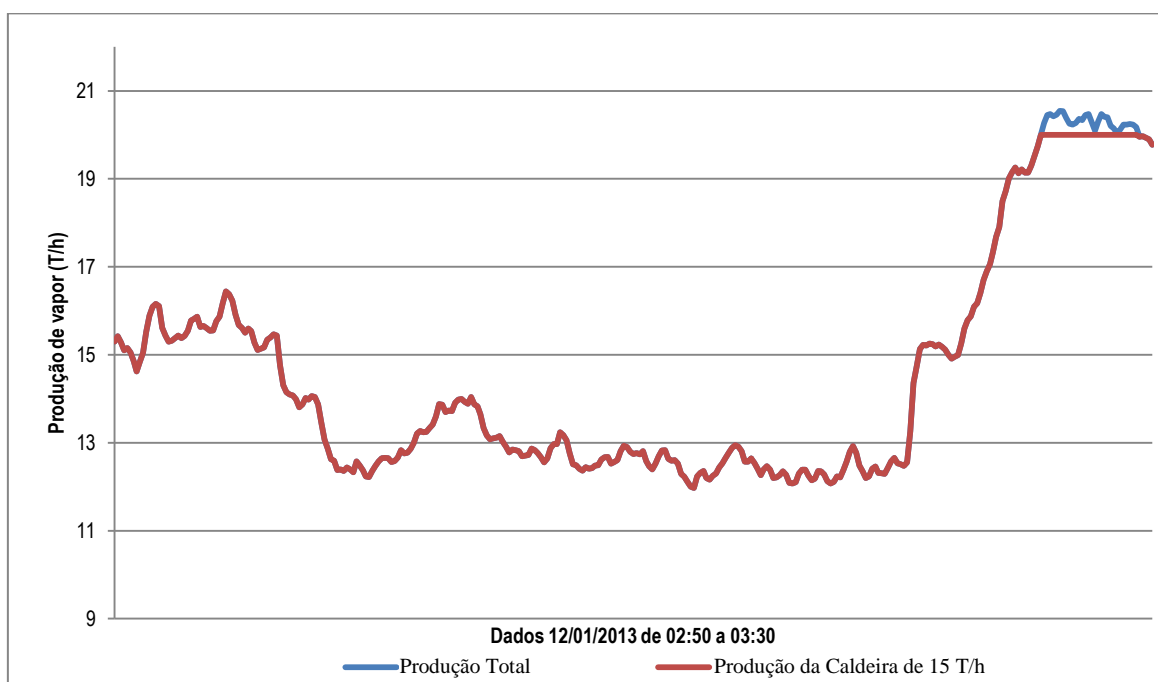


Figura 4.14: Funcionamento com Caldeira de 20 T/h
Fonte: Elaboração própria

Nos gráficos anteriores é possível verificar o vapor demandado que a caldeira não pode fornecer quando a demanda está acima de sua potência nominal.

Os valores de geração de vapor que estão acima da produção da caldeira (linha vermelha), será a produção de vapor que a caldeira avaliada não

poderá oferecer e, portanto, deve ser fornecido por uma das caldeiras de gás existentes atualmente na instalação.

Por outro lado, nesta análise foi considerado outro limite de produção de vapor da caldeira, o que se aplica para o caso de baixa produção de vapor em função de pequena necessidade de consumo de vapor na instalação industrial. Nestes casos a eficiência da caldeira é significativamente reduzida, sendo, portanto, para estes períodos a melhor hipótese consiste na utilização da caldeira a gás em detrimento a caldeira de biomassa.

Considerando, que a situação mais desfavorável para a análise de viabilidade para a utilização de biomassa é aquela onde utiliza-se gás para baixas demanda de vapor, foi definido que no caso da de operação estiver abaixo de 60% da potência nominal será utilizado a caldeira a gás em paralelo.

Em um estudo mais detalhado deverá ser definido as faixas de operação e os respectivos rendimentos esperados.

Considerando o acima exposto, a seguir é apresentado uma tabela que mostra a percentagem (%) de vapor consumido na Indústria Tipo que será atendido pela caldeira de biomassa, de acordo com a sua potência nominal e o regime de operação de 60%.

Ao avaliar esse perfil fornecimento de vapor pela caldeira de biomassa levou-se em consideração a interrupção do funcionamento desta nos seguintes momentos:

- Manutenção da caldeira (28 dias anuais)
- Demanda de vapor inferior a 60% da potência nominal da caldeira, a fim de possibilitar maior confiabilidade operacional deste sistema de geração de vapor.

Nestes momentos, o sistema de geração de vapor seria auxiliado pela caldeira a gás existente na indústria tipo.

Tabela 4.11: Aporte Anual de vapor com biomassa em função da potência da caldeira, supondo a possibilidade de trabalhar a 60% de sua potência nominal
 Fonte: Elaboração própria

Caldeira	Regime mínimo	Produção max (T/h)	Produção min (T/h)	Aporte anual vapor em função do regime mínimo (%)	Aporte anual vapor em função do regime mínimo considerando paradas de manutenção (%)
10	60%	10	6	62,84%	55,17%
12	60%	12	7,2	67,99%	60,32%
15	60%	15	9	77,85%	70,18%
20	60%	20	12	81,96%	74,29%
25	60%	25	15	74,41%	66,74%
15+10	60%	25	6	97,79%	90,12%

Considerando que foram disponibilizados apenas 15 dias de dados, assumiu-se no presente estudo que estas percentagens poderiam ser extrapoladas para todo o ano.

Com a análise dos dados acima (figura e tabelas), pode-se concluir que entre as caldeiras analisadas a opção que possibilitará um melhor rendimento para a instalação, no caso de fornecer toda a necessidade de vapor da Indústria Tipo a partir de biomassa, seria a utilização em paralelo de duas caldeiras de 10 de 15 T/h de capacidade nominal.

No caso da instalação de apenas uma caldeira deve-se definir por uma de 20 T/h.

Por outro lado, se analisarmos os dados disponíveis separando os dias de produção normal (úteis) dos dias de finais de semana, é possível observar que nos fins de semana o consumo de vapor não excede 10 T/h, sendo que durante os dias úteis este consumo atinge valores próximos a 20 T/h e em momentos pontuais alcança 25 T/h. Dessa forma, considera-se a melhor opção técnica a instalação de uma caldeira de 10 T/h e outra de 15 T/h de modo que a operação em paralelo de ambas pode fornecer 100% consumo de vapor da planta industrial, exceto nos períodos de manutenção.

O inconveniente de considerar a instalação de uma única caldeira de 20 T/h é que durante todos os dias de operação a caldeira a gás irá executar

frequentemente o ciclo de liga e desliga, enquanto que, se considerar uma única caldeira instalada de 25 T/h esta vai operar de segunda a sexta-feira e nos fins de semana irá sofrer parada devido a baixa demanda de produção de vapor. A vantagem é que, em princípio, seria necessário operar a caldeira a gás entre a semana e o final de semana, somente no caso da produção cair significativamente.

Portanto, avaliando os gráficos apresentados no presente capítulo, bem como o regime de operação semanal da planta industrial conclui-se que as melhores opções são:

- ✓ Instalar uma caldeira de 10 T/h + 15 T/h (capacidade de fornecer toda a demanda de vapor da planta, exceto nos períodos manutenção)
- ✓ Instalar uma única caldeira de 20 T/h (requer apoio da caldeira a gás todos os dias)
- ✓ Instalar uma única caldeira de 25 T/h (pode fornecer todo o vapor se a demanda baixa de vapor não superar o limite inferior de potência definido pelo fabricante);

4.7 DEFINIÇÃO DA BIOMASSA E CUSTO

Para escolher o tipo de instalação a biomassa, o primeiro item considerado foi que o fabricante tenha aprovado a utilização desta determinada biomassa em sua caldeira e as características de fornecimento da biomassa atenda todos os parâmetros exigidos pelo fabricante da caldeira.

Numa eventual implantação do projeto recomenda-se a obtenção de biomassa de consumo junto a distribuidores que consideram em seus processos produtivos alguns requisitos de normas internacionais (O-NORM Standards, DIN PLUS), já que um dos principais problemas identificados no fornecimento de biomassa no país é a falta de homogeneidade deste produto.

Deve-se ter especial atenção a parâmetros como tamanho, teor de umidade e densidade do solo.

Abaixo está uma tabela de tipos de biomassa considerados viáveis para a instalação analisada.

Tabela 4.12: Combustíveis de biomassa analisadas para a instalação da Caldeira
Fonte: Elaboração própria

TIPO DE BIOMASSA	Unidade	Cavaco de Madeira Eucalipto	Cavaco de Madeira Serraria	Serragem de Madeira	Briquete de Madeira	Briquetes de Casca de Arroz	Pellets de Madeira
Poder Calorífico Inferior	kcal/kg	2.600 - 2.800	2.200 - 2.400	2.200 - 2.400	4.800	3.300 - 3.600	4.800
Umidade Base Úmida	%	33 - 38	40 - 45	40 - 45	6	13 - 19	8
Densidade	Kg/m ³	330	380	350	1.300	600	650
Dimensões (mm)	mm	40 c x 30 l x 20 e	30 c x 20 l x 20 e	N A	95 - 200 φ x 300 - 500 c	150 - 250 φ x 250-300 c	60 - 80 φ x 200-250 c
Custo (Junho/2013)	R\$/TON	120 - 130	105 - 110	90 - 95	355 - 370	400 - 450	450 - 500
Distância do ponto de consumo (região de campinas)	km	150 - 200	150 - 200	150 - 200	500 - 600	500 - 600	500 - 600
Disponibilidade/ Fornecimento	T/mês	10.000	10.000	3.000	5.000	2.000	5.000
Forma de transporte		Basculante 65m3 ou Carretas Fundo Móvel (110m3)	Basculante 65m3 ou Carretas Fundo Móvel (110m3)	Basculante 65m3 ou Carretas Fundo Móvel (110m3)	carreta 32 toneladas	carreta 32 toneladas	carreta 32 toneladas

É importante ressaltar que no caso de serragem de madeira, nem todos os fornecedores autorizam sua utilização, e aqueles que permitem, definem uma limite máximo em termos de percentagem mássica. Sendo assim, no estudo de viabilidade aqui apresentado, não foi considerado a utilização de serragem de madeira.

Os combustíveis remanescentes na tabela foram considerados na análise de custo e consumo de combustível para aquelas potências de caldeiras entendidas como ideal para o projeto. Dependendo do tipo de caldeira a instalar, o consumo anual estimado da biomassa para cada tipo de combustível é mostrado na tabela seguinte:

Tabela 4.13: Biomassa consumo esperado na instalação (T/ano)

Fonte: Elaboração própria

T/ano biomassa para o funcionamento até 60% Potência da Caldeira					
Caldeira t vapor /h	Cavaco Eucalipto	Cavaco Madeira Serraria	Briquete de Madeira	Briquete de casca de arroz	Pellets de Madeira
10	17.411	20.576	9.431	13.314	9.431
15	23.926	28.277	12.960	18.297	12.960
20	25.125	29.693	13.610	19.213	13.610
25	24.109	28.492	13.059	18.436	13.059
10 + 15	28.021	33.115	15.178	21.427	15.178

4.7.1 REQUISITOS DO FORNECEDOR A BIOMASSA

É muito importante ter uma matéria-prima adequada (biomassa) na instalação, a fim de obter o rendimento esperado na operação da instalação.

Portanto, é recomendável que na contratação dos fornecedores deve ser considerado alguns aspectos jurídicos que assegurem os requisitos de qualidade, tais como poder calorífico, a umidade da matéria-prima etc, devem ser considerados

Recomenda-se ter pessoal especializado para controlar o fornecimento de biomassa para a planta de modo que esta vem com a qualidade contratada.

5. ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA INDÚSTRIA TIPO

O estudo foi realizado demonstrando o ganho econômico obtido por esta indústria tipo, numa eventual utilização de caldeira movida a biomassa em substituição ao atual sistema de operação com combustível gás natural.

Para realizar este estudo de viabilidade foi considerado os seguintes itens:

- ✓ Custo da Instalação
- ✓ Custo de Manutenção
- ✓ Custo do gás natural
- ✓ Custo de combustível

5.1 CUSTOS DA INSTALAÇÃO

Baseado nas propostas obtidas junto aos fornecedores de caldeiras, bem como, em custos de engenharia associado a este tipo de projeto, foi determinado os custos geral da instalação, conforme apresentado no quadro a seguir:

Tabela 5.1: Custos da instalação R\$ - Base Julho 2013
Fonte: Elaboração própria

Caldeira t vapor /h	25	10 + 15
Equipamentos da Caldeira	R\$ 5.188.949	R\$ 6.290.630
Sistema Alimentação	R\$ 3.913.099	R\$ 4.126.780
Obra Civil e outras Instalações	R\$ 2.626.720	R\$ 2.801.875
Silo considerando Cavaco - Incluída O.C.	R\$ 2.159.669	R\$ 2.227.878
Engenharia de Projeto Executivo	R\$ 800.000	R\$ 800.000
CUSTO TOTAL DA INSTALAÇÃO	R\$ 14.688.437	R\$ 16.247.163

No presente estudo não foram considerados custos associados a limpeza dos gases por meio da instalação de lavadores de gases, pois isto depende das legislações ambientais específicas dos locais de instalação.

5.2 CUSTOS DE MANUTENÇÃO

A seguir é apresentado um quadro com os custos estimados de manutenção considerando os custos de pessoal e de manutenção preventiva da instalação de biomassa.

Cabe ressaltar que é previsto a necessidade de dois operadores da caldeira por turno de operação.

Tabela 5.2: Custos de Manutenção da instalação de biomassa (R\$/ano) - Base Julho 2013

Fonte: Elaboração própria

Caldeira t vapor /h	25	10 + 15
Pessoal de Operação	R\$ 960.000	R\$ 960.000
Manutenção de Equipamentos	R\$ 30.000	R\$ 30.000
CUSTO TOTAL MANUTENÇÃO ANUAL	R\$ 990.000	R\$ 990.000

O custo de manutenção da planta a biomassa é inferior aos custos atuais de manutenção do sistema de geração a gás natural, em termos de manutenção preventiva.

O custo atual de manutenção das instalações de gás natural estão em torno de R\$ 288.800, considerando troca de equipamentos e atividades preventiva, de acordo com dados fornecidos pela indústria tipo e os custos anuais de manutenção de uma usina de biomassa, com produção de vapor de 10 t/h e 25t/h são estimados pelos fabricantes em torno de R\$ 30.000. Associando este custo às despesas com pessoal de operação o custo total anual será de R\$ 990.000,00.

Na análise de viabilidade, não foi considerado qualquer redução nos custos de manutenção do sistema a gás, no entanto, estes custos serão reduzidos, dado a menor utilização do sistema de gás, fato que será outro fator de ganho do projeto de biomassa.

Em termos de aumento dos custos anuais foi considerado no estudo a taxa de 6,50%.

5.3 CUSTOS DO GÁS NATURAL

Para determinar o custo do gás natural foi solicitado junto a indústria tipo as faturas de gás, as quais foram disponibilizadas do período de ago-12 e abr-13, conforme apresentado na tabela abaixo:

Tabela 5.3: Consumo e Tarifa do Gás Natural segundo fatura mensal

Fonte: Elaboração própria

Mês	Consumo medido (m3/mês)	Consumo corrigido (m3/mês)	Poder calorífico kcal/Kg Seco	Tarifa c/ICMS (R\$/m3)	Tarifa s/ICMS (R\$/m3)	Data Leitura Anterior	Data leitura Atual	Dias consumo
ago-12	727928	738410	1,0144	1,1288	0,9933	25/07/2012	27/08/2012	33
set-12	616334	624901	1,0139	1,1288	0,9933	27/08/2012	24/09/2012	28
out-12	685416	695492	1,0147	1,1288	0,9933	24/09/2012	25/10/2012	31
nov-12	698890	707626	1,0125	1,1288	0,9933	25/10/2012	26/11/2012	32
dez-12	649025	656554	1,0116	1,2052	1,0606	26/11/2012	22/12/2012	26
jan-13	644969	653160	1,0127	1,2115	1,0662	22/12/2012	24/01/2013	33
fev-13	752810	761768	1,0119	1,2115	1,0662	24/01/2013	22/02/2013	29
mar-13	666053	673912	1,0118	1,2115	1,0662	22/02/2013	21/03/2013	27
abr-13	813196	822466	1,0114	1,2115	1,0662	21/03/2013	24/04/2013	34

A seguir é apresentados valores das faturas sem ICMS do gás corrigido correspondente a geração de vapor.

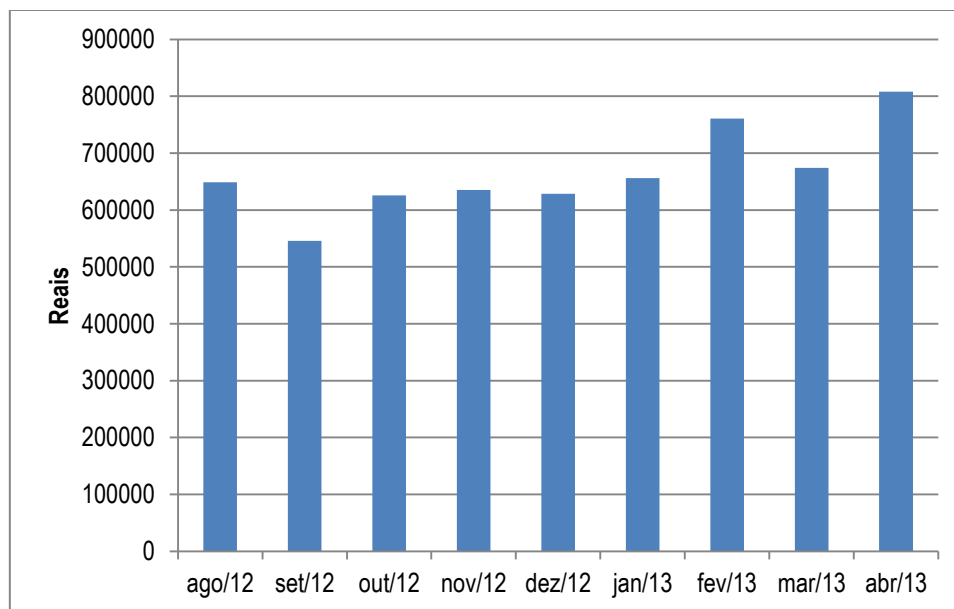


Figura 5.1: Custo mensal do gás natural em R\$

Fonte: Elaboração própria

O custo do gás natural pela indústria tipo no ano 2013, pelo menos até abril 2013 conforme faturas disponibilizadas, é de R\$ 1,0662/m3 sem ICMS. Segundo levantamento realizado junto a ARSESP (Agência Reguladora de

Saneamento e Energia de São Paulo) este custo será alterado para R\$ 1,201581/m³ sem ICMS a partir de Junho/2013, segundo deliberação nº 421 de 28/05/2013, já que o valor médio mensal é superior a 500.000m³ e inferior a 1.000.000m³.

Tabela 5.4: Custo gás natural segundo deliberação Nº421 28/05/2013

Fonte: ARSESP

Tarifas - Industrial

Volume (m ³ /mês)	Fixo (R\$/mês)	Variável (R\$/m ³)
Até 50.000,00	159,23	1,762273
50.000,00 a 300.000,00	24.912,88	1,267180
300.000,01 a 500.000,00	41.521,48	1,211769
500.000,01 a 1.000.000,00	46.616,06	1,201581
1.000.000,01 a 2.000.000,00	67.439,54	1,180757
> 2.000.000,00	104.186,86	1,162383

1 - Cada classe é independente. Aplica-se a cada uma delas um encargo variável e um encargo fixo.

Abaixo segue um paronama da elevação do custo de gás natural no Brasil, segundo a ARSESP (Agência Reguladora de Saneamento e Energia de São Paulo).

Ano	Preço (R\$/m ³) C/ Impostos	Variação anual	Variação acumulada
2004	0,619102	0,0%	0,0%
2005	0,656743	6,1%	6,1%
2006	0,721747	9,9%	16,6%
2007	0,697690	-3,3%	12,7%
2008	0,795256	14,0%	28,5%
2009	0,816651	2,7%	31,9%
2010	0,865889	6,0%	39,9%
2011	0,886034	2,3%	43,1%
2012	1,162782	31,2%	87,8%
2013*	1,268922	9,1%	105,0%

(*) Aumento efetivo em 29/11/12
Volume médio 225.000 m³/mês

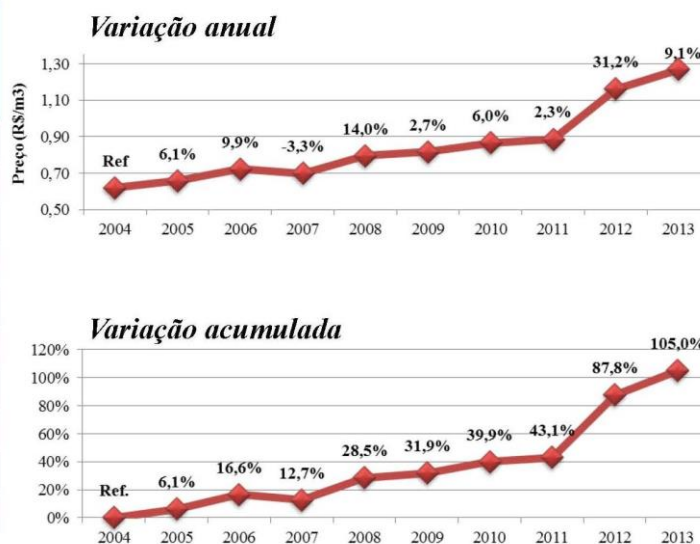


Figura 5.2: Custo gás natural no Brasil segundo ARSESP 2013

Fonte: ARSESP

Com base no exposto anteriormente é possível verificar que tarifa do gás natural teve um aumento em janeiro de 2013 passando de 0.9333 R\$/m³ para 1,0662 R\$/m³ (14,24%) e, atualmente, sofreu novo aumento a 1,201581 R\$/m³ (28,74% em relação à taxa anterior e 12,7% até agora este ano).

Analizado o preço atual do gás considerando a evolução dos preços do gás nos últimos anos, pode-se dizer que não há previsão de curto prazo que estes preços sejam reduzidos, mas sim o oposto. Pois os dados apontam que especialmente nos últimos anos o preço do gás tem sofrido elevados aumentos.

Na análise dos custos de combustível (Tabelas 5.8 e 5.9), o preço do gás combustível considerado foi de 1,201581 R\$/m³, que corresponde ao preço atual. Para o caso de funcionamento com a instalação de caldeira de combustível sólido, o custo do gás utilizado foi 1.267180 R\$/m³, haja vista que o consumo de gás será substancialmente reduzido, e o mesmo será enquadrado na tabela ARSESP entre 50.000 m³ e 300.000 m³.

No estudo de viabilidade apresentado neste documento (Tabelas 5.10 e 5.11), assumiu-se um aumento anual de gás natural de 8,67%, o qual é bem inferior aos índices das elevações aplicadas nos últimos dois anos, porém este número se aproxima da realidade dos aumentos registrados nos anos anteriores a 2011.

A seguir é apresentada uma tabela com os custos de gás considerando os cenários avaliados.

Tabela 5.5: Custo R\$ gás natural em função do cenário analisado – Base Julho/2013

Fonte: Elaboração própria

Caldeira t vapor /h	25	10 + 15
Gás Natural (sem biomassa) (situação atual)	R\$ 9.056.949,05	R\$ 9.056.949,05
Gás Natural (com biomassa) e caldeira até 60%	R\$ 3.500.782,14	R\$ 1.040.010,87

5.4 CUSTO DA BIOMASSA

CUSTO COM COMBUSTÍVEL R\$/ANO Com Capacidade Nominal até 60%		
Caldeira t vapor /h	25	10 + 15
Cavaco Eucalipto	2.633.056,76	3.555.472,17
Cavaco Madeira Serraria	2.633.056,76	3.555.472,17
Briquete de Madeira	4.059.295,84	5.481.352,93
Briquete de casca de arroz	6.969.856,13	9.411.543,97
Pellets de Madeira	5.485.534,92	7.407.233,68

Tabela 5.6: Custo anual em função do tipo de biomassa (R\$/ano) – Base Julho/2013

Fonte: Elaboração própria

No estudo de viabilidade foi considerado o aumento anual do custo de biomassa de 3%.

Este valor foi estimado considerando que nos próximos anos deverá aumentar fornecedores de biomassa, por isso não se espera que o preço deste material sofra considerável aumento e sim, o oposto, dado a competitividade esperada entre os potenciais fornecedores.

5.5 CUSTO POR CONSUMOS DE ENERGIA

Tabela 5.7: Custos anuais previstos de consumo de energia elétrica (R\$) – Base Julho/2013

Fonte: Elaboração própria

Caldeira T vapor /h	25	10 + 15
Consumo elétrico kWh	260.820,00	260.820,00
Preço kWh (R\$/kWh)	0,2645	0,2645
Custo de energia R\$	68.990,54	68.990,54

Na análise de viabilidade foram considerados 8% de aumento anual do preço de energia elétrica, embora seja difícil prever esse aumento devido à alta volatilidade atual dos preços, resultando numa difícil tarefa de prever o custo da energia em longo prazo.

As tabelas apresentadas abaixo demonstram a análise completa do custo de combustível para a operação das caldeiras de acordo com os cenários aqui propostos, a saber:

-
- ✓ Caldeira 25 T/h – Regime de Operação de até 60% da Capacidade Nominal
 - ✓ Caldeiras 10+15 T/h – Regime de Operação de até 60% da Capacidade Nominal

Tabela 5.8: Análise completa do custo de combustível para a operação das caldeiras 25 t/h – Base Julho/2013

Fonte: Elaboração própria

Características	Unidades	Situação Atual	CALDEIRA 25 t/h – Regime de Operação até 60% da Capacidade Nominal				
Combustíveis da Caldeira		GAS NATURAL	Cavaco Eucalipto	Cavaco Madeira Serraria	Briquete de Madeira	Briquete de casca de arroz	Pellets de Madeira
DADOS ENTRADA							
Capacidade Produção da Caldeira	kg/h	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
Potência da Caldeira	Kw	13.274	13.274,0	13.274,0	13.274,0	13.274,0	13.274,0
Pressão de vapor	kgf/cm2	17	17	17	17	17	17
Temperatura de Vapor	°C	207,17	207,17	207,17	207,17	207,17	207,17
Temperatura da Água de Alimentação	°C	134	80	80	80	80	80
Temperatura Ambiente	°C	25	25	25	25	25	25
Temperatura dos Gases na Saída	°C	150	180	180	180	180	180
Entalpia do vapor	kcal/kg	668,1	668,1	668,1	668,1	668,1	668,1
Rendimento da caldeira 100% da carga	%	80	85,24	85,24	85,24	85,24	85,24
Rendimento Estacional instalação	%	76,30%	76,30%	76,30%	76,30%	76,30%	76,30%
CONSUMOS ENERGIA							
Produção Vapor anual	Kg	103.114.660	103.114.660	103.114.660	103.114.660	103.114.660	103.114.660
Energia necessária para produzir o vapor na instalação	kcal/ano	71.611.332.500	78.906.365.051	78.906.365.051	78.906.365.051	78.906.365.051	78.906.365.051
Energia necessária para produzir o vapor na instalação	kW/ano	83.268.991	91.751.587	91.751.587	91.751.587	91.751.587	91.751.587
DADOS GÁS NATURAL							
% Vapor produzido por Gás em relação ao total	%	100,00	33,26%	33,26%	33,26%	33,26%	33,26%
Produção Vapor anual Gás	Kg	103.114.660	34.297.207	34.297.207	34.297.207	34.297.207	34.297.207
Produção média de vapor Gás	kg/h	11.771	3.915	3.915	3.915	3.915	3.915
Energia necessária aportar ao vapor ao dia gerado com gás	kcal/ano	71.611.332.500	26.245.229.834	26.245.229.834	26.245.229.834	26.245.229.834	26.245.229.834
Energia necessária para produzir o vapor na instalação	kWh/ano	83.268.991	30.517.709	30.517.709	30.517.709	30.517.709	30.517.709
Consumo Gás Natural corrigido de produção vapor	m3	7.538.035	2.762.655,8	2.762.655,8	2.762.655,8	2.762.655,8	2.762.655,8
PCI Inferior do combustível Gás	kcal/m3	9.500	9.500	9.500	9.500	9.500	9.500
Densidade Gás	kg/m3	0,878	0,878	0,878	0,878	0,878	0,878
Consumo de combustível ano (Gás)	m3/ano	7.538.035	2.762.656	2.762.656	2.762.656	2.762.656	2.762.656
Consumo de combustível (Gás)	kg/ano	6.618.395	2.425.612	2.425.612	2.425.612	2.425.612	2.425.612
DADOS BIOMASSA							
% Vapor produzido por Biomassa em relação ao total	%		66,74%	66,74%	66,74%	66,74%	66,74%
Produção Vapor anual Biomassa	Kg		68.817.453	68.817.453	68.817.453	68.817.453	68.817.453
Produção média de vapor Biomassa	kg/h		8.311	8.311	8.311	8.311	8.311
Energia necessária aportar ao vapor gerado com biomassa	kcal/ano	0	52.661.135.217	52.661.135.217	52.661.135.217	52.661.135.217	52.661.135.217
Energia necessária para produzir o vapor na instalação	kWh/ano	0	61.233.878	61.233.878	61.233.878	61.233.878	61.233.878
PCI Inferior do combustível biomassa	kcal/kg		2.600	2.200	4.800	3.400	4.800
Densidade Combustível	kg/m3		330	380	1.300	600	650
Umidade Combustível (Base Úmida)	%		33 a 38	40 a 45	6	13 a 19	8
Consumo de combustível (BIOMASSA)	kg/ano		20.254.283	23.936.880	10.971.070	15.488.569	10.971.070
Consumo de combustível ano (BIOMASSA)	m3/ano		61.377	62.992	8.439	25.814	16.879
CUSTO ANUAL COMBUSTÍVEL							
CUSTO ANUAL COM CONSUMOS DE GÁS NATURAL – BASE JULHO/2013							
Preço combustível gás (Junho 2013)	R\$/m3	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Custo anual de combustível gás anual	R\$	9.056.949,05	3.319.330,91	3.319.330,91	3.319.330,91	3.319.330,91	3.319.330,91
Custo kWh Gerado Com Gás Natural	R\$/kWh	0,1088	0,1088	0,1088	0,1088	0,1088	0,1088
CUSTO ANUAL COM CONSUMOS DE BIOMASSA – BASE JULHO/2013							
Preço do combustível Biomassa	R\$/T		130	110	370	450	500
Custo ano da produção com Biomassa	R\$		2.633.056,76	2.633.056,76	4.059.295,84	6.969.856,13	5.485.534,92
Custo kWh Gerado com Biomassa	R\$/kWh		0,043	0,043	0,066	0,114	0,090
CUSTO ANUAL POR CONSUMO DE COMBUSTIBLES (GAS + BIOMASA) – BASE JULHO/2013							
CUSTO TOTAL	R\$	9.056.949,05	5.952.387,67	5.952.387,67	7.378.626,75	10.289.187,04	8.804.865,83
Custo kWh Gerado Total	R\$/kWh	0,11	0,06	0,06	0,08	0,11	0,10
GANHO	R\$		3.104.561,38	3.104.561,38	1.678.322,30	-1.232.237,99	252.083,22

Tabela 5.9: Análise completa do custo de combustível para a operação das caldeiras 10+15 t/h – Base Julho/2013

Fonte: Elaboração própria

Características		Situação Atual	CALDEIRA 10+ 15 t/h – Regime de Operação até 60% da Capacidade Nominal				
Combustíveis da Caldeira	Unidades	GAS NATURAL	Cavaco Eucalipto	Cavaco Madeira Serraria	Briquete de Madeira	Briquete de casca de arroz	Pellets de Madeira
DADOS ENTRADA							
Capacidade Produção da Caldeira	kg/h	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
Potência da Caldeira	kW	13.274	13.274,0	13.274,0	13.274,0	13.274,0	13.274,0
Pressão de vapor	kgf/cm2	17	17	17	17	17	17
Temperatura de Vapor	°C	207,17	207,17	207,17	207,17	207,17	207,17
Temperatura da Água de Alimentação	°C	134	80	80	80	80	80
Temperatura Ambiente	°C	25	25	25	25	25	25
Temperatura dos Gases na Saída	°C	150	180	180	180	180	180
Entalpia do vapor	kcal/kg	668,1	668,1	668,1	668,1	668,1	668,1
Rendimento da caldeira 100% da carga	%	80	85,24	85,24	85,24	85,24	85,24
Rendimento Estacional instalação	%	76,30%	76,30%	76,30%	76,30%	76,30%	76,30%
CONSUMOS ENERGIA							
Produção Vapor anual	kg	103.114.660	103.114.660	103.114.660	103.114.660	103.114.660	103.114.660
Energia necessária para produzir o vapor na instalação	kcal/ano	71.611.332.500	78.906.365.051	78.906.365.051	78.906.365.051	78.906.365.051	78.906.365.051
Energia necessária para produzir o vapor na instalação	kW/ano	83.268.991	91.751.587	91.751.587	91.751.587	91.751.587	91.751.587
DADOS GÁS NATURAL							
% Vapor produzido por Gás em relação ao total	%	100,00	9,88%	9,88%	9,88%	9,88%	9,88%
Produção Vapor anual Gás	kg	103.114.660	10.189.000	10.189.000	10.189.000	10.189.000	10.189.000
Produção média de vapor Gás	kg/h	11.771	1.163	1.163	1.163	1.163	1.163
Energia necessária aportar ao vapor ao dia gerado com gás	kcal/ano	71.611.332.500	7.796.921.685	7.796.921.685	7.796.921.685	7.796.921.685	7.796.921.685
Energia necessária para produzir o vapor na instalação	kWh/ano	83.268.991	9.066.188	9.066.188	9.066.188	9.066.188	9.066.188
Consumo Gás Natural corrigido de produção vapor	m3	7.538.035	820.728,6	820.728,6	820.728,6	820.728,6	820.728,6
PCI Inferior do combustível Gás	kcal/m3	9.500	9.500	9.500	9.500	9.500	9.500
Densidade Gás	kg/m3	0,878	0,878	0,878	0,878	0,878	0,878
Consumo de combustível ano (Gás)	m3/ano	7.538.035	820.729	820.729	820.729	820.729	820.729
Consumo de combustível (Gás)	kg/ano	6.618.395	720.600	720.600	720.600	720.600	720.600
DADOS BIOMASSA							
% Vapor produzido por Biomassa em relação ao total	%		90,12%	90,12%	90,12%	90,12%	90,12%
Produção Vapor anual Biomassa	kg		92.925.660	92.925.660	92.925.660	92.925.660	92.925.660
Produção média de vapor Biomassa	kg/h		11.223	11.223	11.223	11.223	11.223
Energia necessária aportar ao vapor gerado com biomassa	kcal/ano	0	71.109.443.366	71.109.443.366	71.109.443.366	71.109.443.366	71.109.443.366
Energia necessária para produzir o vapor na instalação	kWh/ano	0	82.685.399	82.685.399	82.685.399	82.685.399	82.685.399
PCI Inferior do combustível biomassa	kcal/kg		2.600	2.200	4.800	3.400	4.800
Densidade Combustível	kg/m3		330	380	1.300	600	650
Umidade Combustível (Base Úmida)	%		33 a 38	40 a 45	6	13 a 19	8
Consumo de combustível (BIOMASSA)	kg/ano		27.349.786	32.322.474	14.814.467	20.914.542	14.814.467
Consumo de combustível ano (BIOMASSA)	m3/ano		82.878	85.059	11.396	34.858	22.791
CUSTO ANUAL COMBUSTÍVEL							
CUSTO ANUAL COM CONSUMOS DE GÁS NATURAL – BASE JULHO/2013							
Preço combustível gás (Junho 2013)	R\$/m3	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Custo anual de combustível gás anual	R\$	9.056.949,05	986.105,41	986.105,41	986.105,41	986.105,41	986.105,41
Custo kWh Gerado Com Gás Natural	R\$/kWh	0,1088	0,1088	0,1088	0,1088	0,1088	0,1088
CUSTO ANUAL COM CONSUMOS DE BIOMASSA – BASE JULHO/2013							
Preço do combustível Biomassa	R\$/T		130	110	370	450	500
Custo ano da produção com Biomassa	R\$		3.555.472,17	3.555.472,17	5.481.352,93	9.411.543,97	7.407.233,68
Custo kWh Gerado com Biomassa	R\$/kWh		0,043	0,043	0,066	0,114	0,090
CUSTO ANUAL POR CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS (GÁS + BIOMASSA) – BASE JULHO/2013							
CUSTO TOTAL	R\$	9.056.949,05	4.541.577,58	4.541.577,58	6.467.458,34	10.397.649,39	8.393.339,10
Custo kWh Gerado Total	R\$/kWh	0,11	0,05	0,05	0,07	0,11	0,09
GANHO	R\$		4.515.371,47	4.515.371,47	2.589.490,72	-1.340.700,33	663.609,96

5.6 CUSTOS DE FINANCIAMENTO

Os equipamentos podem ser adquiridos a partir da linha de crédito de financiamento do FINAME. Este financiamento ocorre por intermédio de instituições financeiras credenciadas, para produção e aquisição de máquinas e equipamentos novos, de fabricação nacional, credenciados no BNDES.

A taxa de juros para estes equipamentos é de 5,5% ao ano com prazo máximo de 5 anos e 2 anos de carência.

Em termos de análise de viabilidade apresentado nas tabelas 5.10 e 5.11, não foi considerado a opção de financiamento. Em outras palavras, caso seja considerado o financiamento os resultados da viabilidade melhoram.

5.7 CONCLUSÕES DA VIABILIDADE

O conceito de viabilidade financeira de um projeto no âmbito industrial, conforme contato com algumas grandes indústrias nacionais, entende-se como um projeto que possui retorno de investimento menor ou igual a 5 anos e vida útil mínima do projeto igual a duas vezes o período do retorno do investimento.

Analizados os resultados na Tabela 5.10 e 5.11, para os casos estudados, conclui-se que o desempenho da unidade de biomassa é viável para a caldeira de 10+15 T/h, porém não é viável para a caldeira de 25 T/h.

Isto acontece, pois o retorno de investimento para a caldeira de (10+15) é de em 4 anos, já para a caldeira de 25 T/h o retorno acontece em 6 anos.

Dessa forma, recomenda-se a instalação de uma caldeira de 10+15 T/h, a qual além de oferecer um melhor resultado, tem a vantagem de que esta opção requer um apoio muito baixo de gás, praticamente usado nos períodos anuais de manutenção das caldeiras de biomassa.

As tabelas a seguir representam a análise viabilidade da implementação da instalação de geração de vapor a biomassa, de acordo com os cenários aqui propostos, a saber:

- ✓ Caldeira 25 t/h – Regime de Operação de até 60% da Capacidade Nominal
- ✓ Caldeiras 10+15 t/h – Regime de Operação de até 60% da Capacidade Nominal

Tabela 5.10: Análise viabilidade da implementação da instalação de geração de vapor a biomassa 25 t/h – Base Julho/2013
Fonte: Elaboração própria

Caldera de 25 T/h – Regime de Operação até 60% da Capacidade Nominal											
DADOS COMUNS											
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consumo de Gás de referência		R\$ 9.056.949	R\$ 9.842.187	R\$ 10.695.504	R\$ 11.622.804	R\$ 12.630.501	R\$ 13.725.566	R\$ 14.915.572	R\$ 16.208.753	R\$ 17.614.051	R\$ 19.141.190
Investimento Inicial	R\$ 14.688.437										
Amortização		R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0
Pessoal		R\$ 960.000	R\$ 1.022.400	R\$ 1.088.856	R\$ 1.159.632	R\$ 1.235.008	R\$ 1.315.283	R\$ 1.400.777	R\$ 1.491.827	R\$ 1.588.796	R\$ 1.692.068
Manutenção de Equipamentos		R\$ 30.000	R\$ 31.950	R\$ 34.027	R\$ 36.238	R\$ 38.594	R\$ 41.103	R\$ 43.774	R\$ 46.620	R\$ 49.650	R\$ 52.877
Eletricidade		R\$ 68.991	R\$ 74.510	R\$ 80.471	R\$ 86.908	R\$ 93.861	R\$ 101.370	R\$ 109.479	R\$ 118.238	R\$ 127.697	R\$ 137.912
Consumo de gás		R\$ 3.319.331	R\$ 3.607.117	R\$ 3.919.854	R\$ 4.259.705	R\$ 4.629.022	R\$ 5.030.358	R\$ 5.466.490	R\$ 5.940.435	R\$ 6.455.470	R\$ 7.015.160
RENTABILIDADE - Cavaco Eucalipto											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cavaco Eucalipto		R\$ 2.633.057	R\$ 2.804.205	R\$ 2.986.479	R\$ 3.180.600	R\$ 3.387.339	R\$ 3.607.516	R\$ 3.842.004	R\$ 4.091.735	R\$ 4.357.698	R\$ 4.640.948
Fluxo de caixa (ganho líquido)	-R\$ 14.688.437	R\$ 2.045.571	R\$ 2.302.004	R\$ 2.585.818	R\$ 2.899.721	R\$ 3.246.678	R\$ 3.629.937	R\$ 4.053.048	R\$ 4.519.899	R\$ 5.034.741	R\$ 5.602.225
Ganho acumulado	-R\$ 14.688.437	-R\$ 12.642.867	-R\$ 10.340.862	-R\$ 7.755.044	-R\$ 4.855.323	-R\$ 1.608.645	R\$ 2.021.291	R\$ 6.074.339	R\$ 10.594.238	R\$ 15.628.979	R\$ 21.231.205
TIR		-	-	-	-	-	3,47%	8,40%	11,99%	14,68%	16,73%
Retorno do Investimento	6	↑↑↑									
RENTABILIDADE - Cavaco Madeira Serraria											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cavaco Madeira Serraria		R\$ 2.633.057	R\$ 2.804.205	R\$ 2.986.479	R\$ 3.180.600	R\$ 3.387.339	R\$ 3.607.516	R\$ 3.842.004	R\$ 4.091.735	R\$ 4.357.698	R\$ 4.640.948
Fluxo de caixa (ganho líquido)	-R\$ 14.688.437	R\$ 2.045.571	R\$ 2.302.004	R\$ 2.585.818	R\$ 2.899.721	R\$ 3.246.678	R\$ 3.629.937	R\$ 4.053.048	R\$ 4.519.899	R\$ 5.034.741	R\$ 5.602.225
Ganho acumulado	-R\$ 14.688.437	-R\$ 12.642.867	-R\$ 10.340.862	-R\$ 7.755.044	-R\$ 4.855.323	-R\$ 1.608.645	R\$ 2.021.291	R\$ 6.074.339	R\$ 10.594.238	R\$ 15.628.979	R\$ 21.231.205
TIR		-	-	-	-	-	3,47%	8,40%	11,99%	14,68%	16,73%
Retorno do Investimento	6	↑↑↑									
RENTABILIDADE - Brique de Madeira											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brique de Madeira		R\$ 4.059.296	R\$ 4.323.150	R\$ 4.604.155	R\$ 4.903.425	R\$ 5.222.148	R\$ 5.561.587	R\$ 5.923.090	R\$ 6.308.091	R\$ 6.718.117	R\$ 7.154.795
Fluxo de caixa (ganho líquido)	-R\$ 14.688.437	R\$ 619.332	R\$ 783.060	R\$ 968.142	R\$ 1.176.896	R\$ 1.411.870	R\$ 1.675.865	R\$ 1.971.962	R\$ 2.303.543	R\$ 2.674.322	R\$ 3.088.378
Ganho acumulado	-R\$ 14.688.437	-R\$ 14.069.106	-R\$ 13.286.046	-R\$ 12.317.904	-R\$ 11.141.008	-R\$ 9.729.138	-R\$ 8.053.273	-R\$ 6.081.311	-R\$ 3.777.768	-R\$ 1.103.447	R\$ 1.984.932
TIR		-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,89%
Retorno do Investimento	10	↑↑↑									
RENTABILIDADE - Brique de casca de Arroz											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brique de casca de Arroz		R\$ 6.969.856	R\$ 7.422.897	R\$ 7.905.385	R\$ 8.419.235	R\$ 8.966.485	R\$ 9.549.307	R\$ 10.170.012	R\$ 10.831.063	R\$ 11.535.082	R\$ 12.284.862
Fluxo de caixa (ganho líquido)	-R\$ 14.688.437	-R\$ 2.291.229	-R\$ 2.316.687	-R\$ 2.333.088	-R\$ 2.338.914	-R\$ 2.332.468	-R\$ 2.311.854	-R\$ 2.274.960	-R\$ 2.219.429	-R\$ 2.142.643	-R\$ 2.041.689
Ganho acumulado	-R\$ 14.688.437	-R\$ 16.979.666	-R\$ 19.296.353	-R\$ 21.629.441	-R\$ 23.968.355	-R\$ 26.300.824	-R\$ 28.612.678	-R\$ 30.887.638	-R\$ 33.107.067	-R\$ 35.249.710	-R\$ 37.291.399
TIR		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Retorno do Investimento	+15										
RENTABILIDADE - Pellets de Madeira											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pellets de Madeira		R\$ 5.485.535	R\$ 5.842.095	R\$ 6.221.831	R\$ 6.626.250	R\$ 7.056.956	R\$ 7.515.658	R\$ 8.004.176	R\$ 8.524.447	R\$ 9.078.537	R\$ 9.668.641
Fluxo de caixa (ganho líquido)	-R\$ 14.688.437	-R\$ 806.907	-R\$ 735.885	-R\$ 649.534	-R\$ 545.929	-R\$ 422.939	-R\$ 278.206	-R\$ 109.124	R\$ 87.186	R\$ 313.902	R\$ 574.532
Ganho acumulado	-R\$ 14.688.437	-R\$ 15.495.345	-R\$ 16.231.230	-R\$ 16.880.764	-R\$ 17.426.693	-R\$ 17.849.632	-R\$ 18.127.837	-R\$ 18.236.961	-R\$ 18.149.775	-R\$ 17.835.873	-R\$ 17.261.341
TIR		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Retorno do Investimento	+15										

CALDEIRAS de 10 + 15 T/h – Regime de Operação 60% do Consumo de Vapor Nominal											
DADOS COMUNS											
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consumo de Gás de referência		R\$ 9.056.949	R\$ 9.842.187	R\$ 10.695.504	R\$ 11.622.804	R\$ 12.630.501	R\$ 13.725.566	R\$ 14.915.572	R\$ 16.208.753	R\$ 17.614.051	R\$ 19.141.190
Investimento Inicial	R\$ 16.247.163										
Amortização		R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0
Pessoal		R\$ 960.000	R\$ 1.022.400	R\$ 1.088.856	R\$ 1.159.632	R\$ 1.235.008	R\$ 1.315.283	R\$ 1.400.777	R\$ 1.491.827	R\$ 1.588.796	R\$ 1.692.068
Manutenção de Equipamentos		R\$ 30.000	R\$ 31.950	R\$ 34.027	R\$ 36.238	R\$ 38.594	R\$ 41.103	R\$ 43.774	R\$ 46.620	R\$ 49.650	R\$ 52.877
Eletricidade		R\$ 68.991	R\$ 74.510	R\$ 80.471	R\$ 86.908	R\$ 93.861	R\$ 101.370	R\$ 109.479	R\$ 118.238	R\$ 127.697	R\$ 137.912
Consumo de gás		R\$ 986.105	R\$ 1.071.601	R\$ 1.164.509	R\$ 1.265.471	R\$ 1.375.188	R\$ 1.494.417	R\$ 1.623.982	R\$ 1.764.782	R\$ 1.917.788	R\$ 2.084.061
RENTABILIDADE - Cavaco Eucalipto											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cavaco Eucalipto		R\$ 3.555.472	R\$ 3.786.578	R\$ 4.032.705	R\$ 4.294.831	R\$ 4.573.995	R\$ 4.871.305	R\$ 5.187.940	R\$ 5.525.156	R\$ 5.884.291	R\$ 6.266.770
Fluxo de caixa (ganho líquido)	-R\$ 16.247.163	R\$ 3.456.381	R\$ 3.855.148	R\$ 4.294.937	R\$ 4.779.723	R\$ 5.313.856	R\$ 5.902.089	R\$ 6.549.620	R\$ 7.262.131	R\$ 8.045.830	R\$ 8.907.502
Ganho acumulado	-R\$ 16.247.163	-R\$ 12.790.782	-R\$ 8.935.634	-R\$ 4.640.697	R\$ 139.026	R\$ 5.452.882	R\$ 11.354.971	R\$ 17.904.591	R\$ 25.166.721	R\$ 33.212.551	R\$ 42.120.053
TIR		-	-	-	0,32%	9,71%	15,88%	20,08%	23,04%	25,19%	26,77%
Retorno do Investimento	4	↑↑↑									
RENTABILIDADE - Cavaco Madeira Serraria											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cavaco Madeira Serraria		R\$ 3.555.472	R\$ 3.786.578	R\$ 4.032.705	R\$ 4.294.831	R\$ 4.573.995	R\$ 4.871.305	R\$ 5.187.940	R\$ 5.525.156	R\$ 5.884.291	R\$ 6.266.770
Fluxo de caixa (ganho líquido)	-R\$ 16.247.163	R\$ 3.456.381	R\$ 3.855.148	R\$ 4.294.937	R\$ 4.779.723	R\$ 5.313.856	R\$ 5.902.089	R\$ 6.549.620	R\$ 7.262.131	R\$ 8.045.830	R\$ 8.907.502
Ganho acumulado	-R\$ 16.247.163	-R\$ 12.790.782	-R\$ 8.935.634	-R\$ 4.640.697	R\$ 139.026	R\$ 5.452.882	R\$ 11.354.971	R\$ 17.904.591	R\$ 25.166.721	R\$ 33.212.551	R\$ 42.120.053
TIR		-	-	-	0,32%	9,71%	15,88%	20,08%	23,04%	25,19%	26,77%
Retorno do Investimento	4	↑↑↑									
RENTABILIDADE - Briquete de Madeira											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Briquete de Madeira		R\$ 5.481.353	R\$ 5.837.641	R\$ 6.217.088	R\$ 6.621.198	R\$ 7.051.576	R\$ 7.509.929	R\$ 7.998.074	R\$ 8.517.949	R\$ 9.071.615	R\$ 9.661.270
Fluxo de caixa (ganho líquido)	-R\$ 16.247.163	R\$ 1.530.500	R\$ 1.804.085	R\$ 2.110.555	R\$ 2.453.356	R\$ 2.836.275	R\$ 3.263.465	R\$ 3.739.486	R\$ 4.269.338	R\$ 4.858.505	R\$ 5.513.002
Ganho acumulado	-R\$ 16.247.163	-R\$ 14.716.663	-R\$ 12.912.578	-R\$ 10.802.023	-R\$ 8.348.667	-R\$ 5.512.392	-R\$ 2.248.926	R\$ 1.490.560	R\$ 5.759.897	R\$ 10.618.403	R\$ 16.131.404
TIR		-	-	-	-22,39%	-11,42%	-3,67%	1,95%	6,14%	9,32%	11,79%
Retorno do Investimento	7	↑↑↑									
RENTABILIDADE - Briquete de casca de Arroz											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Briquete de casca de Arroz		R\$ 9.411.544	R\$ 10.023.294	R\$ 10.674.808	R\$ 11.368.671	R\$ 12.107.635	R\$ 12.894.631	R\$ 13.732.782	R\$ 14.625.413	R\$ 15.576.065	R\$ 16.588.509
Fluxo de caixa (ganho líquido)	-R\$ 16.247.163	-R\$ 2.399.691	-R\$ 2.381.568	-R\$ 2.347.166	-R\$ 2.294.116	-R\$ 2.219.784	-R\$ 2.121.237	-R\$ 1.995.222	-R\$ 1.838.126	-R\$ 1.645.944	-R\$ 1.414.237
Ganho acumulado	-R\$ 16.247.163	-R\$ 18.646.854	-R\$ 21.028.422	-R\$ 23.375.588	-R\$ 25.669.705	-R\$ 27.889.488	-R\$ 30.010.725	-R\$ 32.005.948	-R\$ 33.844.074	-R\$ 35.490.018	-R\$ 36.904.254
TIR		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Retorno do Investimento	+15										
RENTABILIDADE - Pellets de Madeira											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pellets de Madeira		R\$ 7.407.234	R\$ 7.888.704	R\$ 8.401.470	R\$ 8.947.565	R\$ 9.529.157	R\$ 10.148.552	R\$ 10.808.208	R\$ 11.510.741	R\$ 12.258.940	R\$ 13.055.771
Fluxo de caixa (ganho líquido)	-R\$ 16.247.163	-R\$ 395.381	-R\$ 246.978	-R\$ 73.827	R\$ 126.989	R\$ 358.694	R\$ 624.842	R\$ 929.352	R\$ 1.276.545	R\$ 1.671.181	R\$ 2.118.501
Ganho acumulado	-R\$ 16.247.163	-R\$ 16.642.544	-R\$ 16.889.521	-R\$ 16.963.349	-R\$ 16.836.359	-R\$ 16.477.665	-R\$ 15.852.823	-R\$ 14.923.472	-R\$ 13.646.927	-R\$ 11.975.746	-R\$ 9.857.244
TIR		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Retorno do Investimento	14										

Tabela 5.11: Análise viabilidade da implementação da instalação de geração de vapor a biomassa 10+15 t/h – Base Julho/2013
Fonte: Elaboração própria

6. CONCLUSÕES

A alternativa de utilizar a biomassa de madeira é apresentada como uma alternativa viável para a produção de vapor, baseado nas informações e interpretações apresentadas neste estudo.

O Brasil é um país com grande potencial para produção de biomassa, sendo neste momento um setor emergente no Brasil, o qual está previsto que se desenvolva no curto e médio prazo.

Atualmente estão se instalando e desenvolvendo várias fábricas de biomassa é esperado no curto-médio prazo, o Brasil está entre um dos maiores produtores mundiais de biomassa como ocorre atualmente com etanol e cana de açúcar.

Em contrapartida, é importante estabelecer padrões de qualidade e caracterização técnicas destes biocombustíveis como tal, a fim de otimizar a operação de qualquer instalação movida a biomassa, fato que atualmente é deficiente no País, mas que está prevista considerável melhora com o desenvolvimento e implementação de produtores de biomassa. A partir disto, é fundamental para o sucesso do projeto em análise a implantação de um controle da aquisição de biomassa através de pessoal especializado para verificar a qualidade da matéria-prima fornecida e de seu processo de produção.

Atualmente, a maior desvantagem de instalações de biomassa é obter um contrato de compra de biomassa para garantir um bom suprimento de que, uma vez alcançado o contrato de operação a rentabilidade do sistema é viável.

A principal vantagem das instalações de biomassa frente a outras instalações como os combustíveis fósseis (gás natural, etc) é que estes são poli-combustíveis, de modo que o mesmo sistema pode funcionar com diferentes combustíveis (cavaco, pellets etc). Este fato uma vantagem importante para a produção de preços de combustível, redução da dependência de um único tipo de fornecedor.

Na questão de fornecimento de biomassa foi possível identificar no desenvolvimento deste estudo um grande número de provedores em relação aos combustíveis fósseis, o que é uma vantagem na negociação dos preços dos combustíveis.

Considerando os dados atuais e os resultados aqui demonstrados, na seção 5.7, o sistema é viável tanto para cavaco de madeira quanto para cavaco de eucalipto.

No caso da implantação de uma caldeira utilizando cavaco de madeira como combustível, a mesma também é compatível com a utilização de briquetes e/ou pellets sem grande modificação do sistema de operação, de modo que, no futuro, caso seja necessário alterar para o consumo destes outros tipos de combustíveis, o sistema aqui proposto estará apto a ser utilizado.

Na questão de **implantação da instalação de biomassa se considera que é tecnicamente exequível**, e que, apesar de não ser uma tecnologia conhecida para muitas pessoas, já é uma tecnologia madura com diversos projetos em operação no mundo.

Tecnicamente, é possível projetar um sistema adaptado às necessidades de uma determinada instalação industrial, assim como sua implementação e operação, utilizando-se equipamento confiáveis, especialmente sobre o tema das caldeiras, onde há fornecedores com experiência suficiente neste tipo de instalações a nível nacional e internacional.

Um aspecto importante a considerar neste tipo de instalação e, neste caso da Indústria Tipo em particular, devido à grande demanda diária de biomassa estimada em 76,77 toneladas para cavaco de madeira para uma instalação de duas caldeiras 10 e 15 T/h, é o abastecimento de biomassa a caldeira.

Por isso é muito importante executar um projeto executivo para dimensionar um sistema de abastecimento de biomassa adequado, desde a

chegada da biomassa na unidade industrial até sua alimentação na caldeira, assim como, estabelecer critérios de controle da operação deste abastecimento.

Dessa forma, é recomendado dispor de pessoas treinadas na unidade industrial para executar a e manutenção da instalação em questão.

Considerando todas as informações discutidas anteriormente e analisado o consumo de vapor atual da planta, bem como a demanda de gás atual, **se considera que a implantação de uma unidade de biomassa com o apoio do gás natural é completamente viável e resultaria numa economia substancial para a Indústria Tipo, sem considerar outros ganhos associados como imagem social da empresa.** Isto é afirmado com base no conceito de que implantação de projetos com tempo de retorno inferior a 5 anos, no âmbito industrial é viável, desde que o período de execução deste projeto exceda 2 vezes o período de retorno do investimento. No caso em questão, para a caldeira 10+15 T/h o retorno do investimento esperado é de 4 anos e o tempo de vida útil dos equipamentos, excede em muito, 8 anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MME – Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Eficiência Energética, 2011**. Disponível em < http://www.orcamentofederal.gov.br/projeto-esplanada-sustentavel/Plano_Nacional_de_Eficiencia_Energetica.pdf>. Acesso em 12 Jan. 2014.

FIPE – Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas. **Projeto Estratégico Gás Natural, 2014**. Acesso em 12 Jan. 2014. Disponível em <http://www.estadao.com.br/brasilcompetitivo/hotsite_gas/pdfs/fernando_garcia.pdf>

IEA – International Energy Agency. **Dados de Consumo de Gás Natural Brasil 2012**. Disponível em < <http://www.iea.org> > Acesso em 03 Fev. 2014.

ABIPEL – Associação Brasileira da Indústria de Pellets. **Informação Técnica de Produtos**. Brasília, 2012. Disponível em: < <http://www.abipel.com.br/>> Acesso em: 03 Fev, 2014.

Opção Verde Resíduos Florestais. **Proposta Técnica 0714 de 12 Julho de 2013**.

BR BIOMASSA. **Proposta Técnica BR021 de 29 de Julho 2013**.

Ekoplus. **Proposta Técnica PLT 0245 de 15 de Julho de 2013**.

BREMER. **Proposta Técnica HBRF5 de Mario de 2013**.

RCR Máquinas e Equipamentos Industriais, 2013. **Proposta Técnica E085813 de 02 de Julho de 2013**.

Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Brasil Projeções do Agronegócio 2011/2012 a 2021/2022 - Assessoria de Gestão Estratégica**. <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/gestao/projecao/PROJE_COES-web.pdf> Disponível em: Acesso em: 03 Fev, 2014.

ARSESP 2013 - Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo. **Custo gás natural no Brasil segundo ARSESP 2013**. <<http://www.arsesp.sp.gov.br/SitePages/home.aspx>> Disponível em: Acesso em: 03 Fev, 2014.

Eucalyptus Online Book & Newsletter. Faixas mais usuais de elementos minerais em madeiras de eucaliptos (base peso absolutamente seco). < <http://www.eucalyptus.com.br/>> Disponível em: Acesso em: 12 Março, 2014.