

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO DE INDÚSTRIA 4.0

MARCELO MOREIRA MOTA

**AUMENTO DE GERAÇÃO DE VAPOR EM UMA CALDEIRA DE
BIOMASSA: ESTUDO EM FUNÇÃO DA ESTABILIDADE
OPERACIONAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

PONTA GROSSA
2020

MARCELO MOREIRA MOTA

**AUMENTO DE GERAÇÃO DE VAPOR EM UMA CALDEIRA DE
BIOMASSA: ESTUDO EM FUNÇÃO DA ESTABILIDADE
OPERACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Indústria 4.0, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino

PONTA GROSSA

2020



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS PONTA GROSSA
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação



TERMO DE APROVAÇÃO DE TCCE

Aumento de geração de vapor em uma caldeira de biomassa: estudo em função da estabilidade operacional

Marcelo Moreira Mota

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização (TCCE) foi apresentado em 08 de fevereiro de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Indústria 4.0. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino Prof.
Orientador

**Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de
Carvalho**
Membro titular

**Profa. Dra. Fernanda Tavares
Treinta**
Membro titular

A FOLHA DE APROVAÇÃO ASSINADA ENCONTRA-SE ARQUIVADA NA
SECRETARIA DO CURSO

A Deus, aos meus pais, esposa e aos amigos...
Companheiros de todas as horas...

AGRADECIMENTOS

“Quando eu era criança e pegava uma mexerica para descascar, corria para meus pais e pedia: "Pai e mãe, começa o começo?!"

O que eu queria era que eles fizessem o primeiro rasgo na casca, o mais difícil e resistente para as minhas pequenas mãos. Depois, sorridente, eles sempre acabavam descascando toda a fruta para mim. Mas, outras vezes, eu mesma tirava o restante da casca a partir daquele primeiro rasgo providencial que eles haviam feito.

Não sou mais criança e muitas vezes não tenho a quem pedir para pelo menos, “começar o começo” de tantas cascas duras que encontro pelo caminho.

Hoje, minhas “mexericas” são outras. Preciso “descascar” as dificuldades do trabalho, os problemas no núcleo familiar, o esforço diário para fazer tudo certo, para não decepcionar as pessoas que me amam, as dúvidas e conflitos que nos afligem diante de decisões e desafios.

Em certas ocasiões, minhas “mexericas” transformam-se em enormes “abacaxis”. Lembro-me, então, que a segurança de ser atendido pelos meus pais quando lhes pedia para “começar o começo” era o que me dava a certeza que conseguiria chegar até o último pedacinho da casca e saborear a fruta.

E até hoje, quando a vida parece muito grossa e difícil, como a casca de uma mexerica para as mãos frágeis de uma criança, sei que posso confiar né Fernando e Magnólia Mota in memoriam, obrigado por sempre “começarem o começo” para mim e me ajudarem a descascar todas as “mexericas” que a vida me dá.

Sei que seria um grande orgulho para minha mãe Magnólia Mota in memoriam, se ela pudesse entrar comigo na formatura, pois a mesma sabe o quanto “ralei” todos esses anos para ser o profissional que sou, mas hoje tenho a minha esposa Vanilda Mota, que viveu todos esses dias, meses e anos nessa difícil batalha de me formar como Engenheiro de Produção e Especialista em Indústria 4.0.

Amo vocês mais que ontem e menos que amanhã, sempre serão pessoas importantíssimas na minha vida.

*“A engenharia é a arte de dirigir as grandes fontes do poder na natureza, para o uso e
conveniência do homem.”
Thomas Tredgold*

RESUMO

MOTA, Marcelo Moreira. **Aumento de geração de vapor em uma caldeira de biomassa: estudo em função de estabilidade operacional.** 2020 32f. Monografia (Especialização em Indústria 4.0) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Ponta Grossa, 2020.

Com o desenvolvimento industrial e a preocupação com o meio ambiente, há uma procura por combustíveis alternativos, renováveis e de baixo custo, seguindo uma tendência crescente em todo o mundo, ou seja, o uso dessa biomassa florestal (cascas, cavacos e resíduos florestais) tem ganhado destaque no cenário energético para a produção de vapor e geração de energia elétrica e o Brasil é um país privilegiado por possuir grandes recursos energéticos de caráter renovável em relação a outros países. Este trabalho visou desenvolver um estudo sobre as possíveis causas, dificuldades, características, qualidades, problemas e diferenças nas condições do sistema de combustíveis sólidos de uma caldeira de biomassa de alta pressão com leito fluidizado borbulhante (BFB - Bubbling Fluid Bed), tanto nos sistemas de transporte, distribuição e alimentação dessa biomassa para a caldeira, dando foco principalmente a biomassa oriunda do processo de descascamento de toras, do cavaco dos resíduos florestais e do cavaco de serrarias quando necessário em uma indústria de celulose.

Palavras-chaves: Biomassa; Caldeira; Vapor.

ABSTRACT

MOTA, Marcelo Moreira. **Increased steam generation in a biomass boiler: study on the function of operational stability.** 2020. 32p. Monography (Specialization in Industry 4.0) - Federal Technological University of Paraná - Ponta Grossa, 2020.

With industrial development and concern for the environment, there is a demand for alternative, renewable and low-cost fuels, following a growing trend around the world, ie the use of this forest biomass (bark, chips and forest residues) has gained prominence in the energy scenario for the production of steam and electricity generation and Brazil is a privileged country because it has large renewable energy resources in relation to other countries. This work aims to develop a study on the possible causes, difficulties, characteristics, qualities, problems and differences in the conditions of the solid fuel system of a high pressure biomass boiler with bubbling fluid bed (BFB), both in the systems transport, distribution and feeding of this biomass to the boiler, focusing mainly on the biomass from the logging process, the forest residue chip and the sawmill chip when necessary in a pulp industry.

Key-words: Biomass; Boiler; Steam.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Área do processo de descascamento dos cavacos.....	15
Figura 2	– Partes de uma combustão de leito fluidizado borbulhante	17
Figura 3	– Layout de geral da área de preparação de madeira (PMAD)	19
Figura 4	– Fluxograma das fontes de biomassa, processos de conversão e energéticos produzidos	24
Figura 5	– Esquema de um sistema de alimentação de biomassa	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Composição mássica típica (%) de combustíveis sólidos na base seca.	22
Tabela 2	–	Tipo de biomassa: lenhas de toras de eucalipto com casca	23
Tabela 3	–	Tipo de biomassa: cavacos obtidos de toras de eucalipto com casca	23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BFB	Bubbling fluidized bed II
CDF	Caldeira de Força
CFB	Circulating Fluidized Bed / Leito Fluidizado Circulante
CLF	Combustão em leito fluidizado
CLFB	Combustão em leito fluidizado borbulhante
CLFC	Combustão em leito fluidizado circulante
LCT	Laboratório Central Técnico
NOx	Óxidos de nitrogênio
PCI	Poder calorífico inferior
PCS	Poder calorífico superior
PMAD	Área de Preparação de Madeira
PSVs	Válvulas de segurança de pressão
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	METODOLOGIA DE PESQUISA	13
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
3.1	GERAÇÃO DE ENERGIA	16
3.2	CALDEIRAS DE BIOMASSA	16
3.2.1	Caldeiras de Leito Fluidizado Borbulhante (BFB).....	17
3.2.2	Equipamentos da Caldeira	18
3.2.3	Planta de Preparação de Madeira (PMAD).....	19
3.3	COMBUSTÍVEL	19
3.3.1	Hidrogênio como Combustível	20
3.3.2	Combustíveis Fósseis.....	20
3.3.3	A Lenha como Combustível	21
3.3.4	A Biomassa como Combustível.....	21
3.3.5	Poder Calorífico dos Combustíveis	21
3.4	BIOMASSA E SUAS TIPOLOGIAS	23
3.4.1	Processo para Alimentação da Biomassa na Caldeira	25
3.4.2	Preparação da Biomassa para ser Combustível	26
3.4.3	Conversão Energética da Biomassa.....	26
4	CONCLUSÕES	28

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a busca por novos nichos de mercado está presente em todos os segmentos, e para ser possível conquistar essas novas oportunidades, as empresas necessitam produzir mais com um custo de produção menor, sem perder a qualidade.

A melhoria dos sistemas de extração de biomassa estocada, do sistema de transporte e distribuição por correias até as roscas de alimentação da biomassa na caldeira, quando estudada e implantada em parceria com um fornecedor de equipamentos de maneira estruturada, poderá contribuir para a organização.

O planejamento das atividades, correções e melhorias foi relevante tanto para os orçamentos das áreas, bem como para estabelecer as metas e objetivos na geração de vapor e energia elétrica que a empresa almeja implementar, de maneira que pode se fazer previsões dos cenários futuros, tonando mais consistente com dados incorporados na elaboração de um sistema orçamentário.

Dessa maneira a empresa irá obter sucesso na geração e distribuição de energia e vapor para os demais processos industriais da mesma, sempre buscando trabalhar de forma preventiva, antecipando-se às possíveis falhas e dando condições para seus colaboradores realizar suas atividades de maneira segura. Onde a questão investigada será: Quais os procedimentos e técnicas que melhor se adequam a aplicação de um sistema de extração de biomassa desde o silo de estocagem, transporte e distribuição pelas correias até as roscas de alimentação que poderão contribuir para melhorar a eficiência térmica da caldeira de força?

2 METODOLOGIA DE PESQUISA

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de mostrar as etapas do processo de geração, armazenamento, layout e equipamentos de transporte, distribuição e alimentação da biomassa para a caldeira de força em uma fábrica de celulose.

Para um melhor tratamento dos objetivos e melhor apreciação desta pesquisa aplicada, uma vez que objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, pois envolve verdades e interesses locais, observou-se que ela é classificada como pesquisa exploratória. Por ser um tipo de pesquisa muito específica, quase sempre ela assume a forma de um estudo de caso (GIL, 2008).

Gil (2010) afirma que um estudo de caso consiste no profundo e exaustivo trabalho de estudar um ou poucos objetos, de maneira que se permita ter um amplo e detalhado conhecimento. Já as pesquisas exploratórias têm como propósito ajustar a familiaridade com o problema, de forma a torná-lo mais explícito ou para se construir hipóteses.

Detectou-se também a necessidade da pesquisa bibliográfica no momento em que se fez uso de materiais já elaborados: livros, artigos científicos, revistas, documentos eletrônicos e enciclopédias na busca e alocação de conhecimento sobre a eficiência térmica, sistema de transporte, distribuição e alimentação de combustível para a unidade geradora de vapor com biomassa, correlacionando tal conhecimento com abordagens já trabalhadas por outros autores. Sendo também um estudo de caráter bibliográfico.

A pesquisa bibliográfica tem o objetivo de propiciar a avaliação de um tema sob um novo enfoque, levando a conclusões inovadoras, segundo Vianello (2013), o autor continua relatando que a pesquisa bibliográfica abrange todas as fontes literárias sobre a temática estudada (jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses entre outras).

A abordagem do tratamento da coleta de dados do estudo de caso será qualitativa, pois busca fonte direta para coleta de dados, interpretação de fenômenos e atribuição de significados. De modo que se a pesquisa é exploratória logo é qualitativa, sendo para Chizzotti (2003).

O termo qualitativo implica uma partilha densa com pessoas, fatos e locais que constituem objetos de pesquisa, para extrair desse convívio os significados visíveis e latentes que somente são perceptíveis a uma atenção sensível e, após este tirocínio, o autor interpreta e traduz em um texto, zelosamente escrito, com perspicácia e competência científicas, os significados patentes ou ocultos do seu objeto de pesquisa.

Primeiramente foram apresentados os conceitos de geração de vapor, equipamentos e máquinas utilizadas para os processos industriais, assim como o histórico da tecnologia e equipamentos de geração de vapor no ramo de celulose.

Após isso, há um estudo de caso real no qual a empresa passava por problemas na estabilização desse sistema de transporte, distribuição e alimentação dessa biomassa para a caldeira

de força, fazendo com que a mesma tivesse um baixo rendimento térmico na sua geração de vapor, dificultando a estabilidade operacional do equipamento devido as constantes paradas e o aumento do seu custo na geração de vapor com a utilização e queima de óleo combustível 1A.

O problema foi direcionado a pesquisa como estudo de caso para melhorar o rendimento térmico da caldeira na geração de vapor, diminuindo os custos, sendo este com a aplicação de um novo sistema eficiente de transporte e distribuição de biomassa como combustível para a unidade geradora de vapor.

Para efeitos de amostragem, testes e ensaios afim de identificar a qualidade do combustível (biomassa), foram utilizado as normas técnicas ABNT e padrões de análises utilizados no LCT (Laboratório Central Técnico) da empresa confirmando os resultados.

O presente trabalho também verificou e apresenta os ganhos conseguidos com uma melhor distribuição e agilidade na alimentação da biomassa na caldeira de uma empresa de Celulose.

Para a solução do problema foram desenvolvidos 7 passos utilizando a ferramenta PDCA, sendo trabalhado em quatro passos, no primeiro passo é desenvolvido um plano, em segundo uma ação, em terceiro um controle e em um quarto ciclo desta ferramenta uma ação para solução do problema ou uma retomada de ações. Estes 7 passos são caracterizados para a solução deste problema por:

- a* Identificar a situação atual;
- b* Restabelecer as condições básicas nas áreas críticas;
- c* Identificar causas;
- d* Definir o plano de ação;
- e* Implementar das ações;
- f* Monitorar os resultados;
- g* Manutenção dos resultados.

A empresa objeto de estudo deste trabalho é a maior produtora e exportadora de papéis do Brasil, é líder na produção de papéis e cartões para embalagens, embalagens de papelão ondulado e sacos industriais, além de comercializar madeira em toras. É também a única do país a fornecer simultaneamente ao mercado celulose de fibra curta (eucalipto), celulose de fibra longa (pínus) e celulose fluff (KLABIN, 2018).

Busca se compreender quais os procedimentos e técnicas que melhor se adequam a aplicação de um sistema de extração de biomassa desde o silo de estocagem, transporte e distribuição pelas correias até as roscas de alimentação que poderão contribuir para melhorar a eficiência térmica da caldeira de força?

O problema ocasionado pelo baixo consumo de biomassa pela CDF (Caldeira de Força) provoca necessidade de queima de óleo combustível 1A na CDF, necessidade de grandes áreas para estocagem de casca, custos adicionais para manuseio e transporte de casca quando a mesma não é consumida pela Caldeira de Força, onde afetará as produções e problemas nas 4 linhas do PMAD (Área de Preparação de Madeira).

A biomassa é composta de cascas e resíduos de cavacos, a casca é gerada nas 4 linhas do PMAD (Área de Preparação de Madeira), e os resíduos de cavacos são extraídos nas pe-neiras classificatórias de cavacos do PMAD para o processo. A figura 1 mostra uma imagem exemplificando uma área do processo de descascamento dos cavacos.

Figura 1 – Área do processo de descascamento dos cavacos



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cadeia produtiva da indústria de celulose e papel é composta por uma base florestal, por produtores de celulose e por fabricantes de papel. No Brasil, a base florestal é constituída por florestas plantadas, de propriedade dos produtores de celulose ou de seus fornecedores de madeira (CGEE, 2013).

As indústrias de celulose e papel podem ser classificadas em três modelos, sendo: (1) fábricas que só produzem celulose, a chamada celulose de mercado, vendida no mercado nacional ou exportada; (2) fábricas que produzem tanto celulose quanto papel, as chamadas fábricas integradas; e (3) fábricas que só produzem papel a partir de celulose virgem adquirida no mercado e/ou papel reciclado (aparas).

3.1 GERAÇÃO DE ENERGIA

A indústria de celulose e papel é intensiva no uso de energia seja na forma térmica (vapor) ou de eletricidade. Por essa razão, busca gerar, com base na biomassa, grande quantidade de energia que é utilizada no processo industrial.

As modernas plantas de celulose Kraft não integradas são autossuficientes em energia e geram excedentes que muitas vezes podem ser disponibilizados para a rede de distribuição ou para abastecer arranjos produtivos regionais que têm empresas de celulose como âncoras energéticas (GODOY, 2012).

3.2 CALDEIRAS DE BIOMASSA

Existem caldeiras industriais de biomassa que tratam em geral, de vapor saturado com pressões manométricas da ordem de 10 - 20 bar e produções de vapor até 15 t/h (SANTOS, 2009). Os vapores provenientes das caldeiras são utilizados em processos como secagem, aquecimento, esterilização e lavagem, bem como na produção de eletricidade. Existem caldeiras nas mais variadas concepções, formatos e capacidades de produção.

Estes sistemas dedicados à biomassa deram provas, do ponto de vista técnico, ambiental, de rendimento e ainda económico pois, o tempo de amortização de um sistema destes era em geral inferior a 3 anos, equacionando a poupança obtida na substituição do consumo de combustíveis convencionais pelos resíduos sólidos da produção, que antes eram destinados a aterros sanitários (SANTOS, 2009)

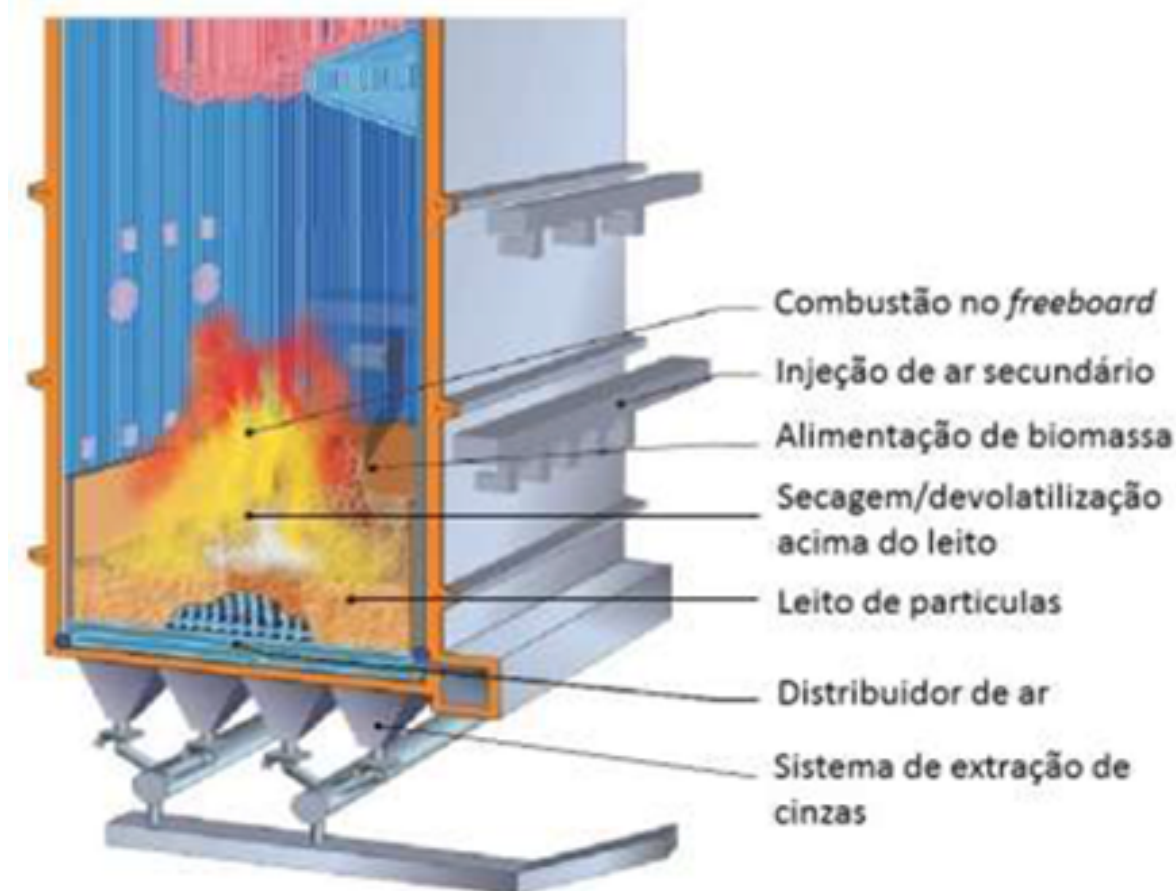
3.2.1 Caldeiras de Leito Fluidizado Borbulhante (BFB)

A combustão em leito fluidizado consiste na colocação das partículas a serem queimadas em suspensão no meio gasoso. As partículas do leito são geralmente constituídas de areia inerte não inflamável e das cinzas formadas pela própria queima da biomassa (FOELKEL, 2016).

A combustão realizada em caldeiras do tipo BFB é caracterizada pela injeção do combustível em um leito de areia, permanecendo retido até a sua queima total, o que representa uma eficiência de combustão superior a 99%. Com a temperatura controlada na faixa de 850 C, por meio do controle da relação entre o ar primário e o ar secundário, assim como pela recirculação de gases inertes, as caldeiras apresentam reduzidas emissões de particulados na atmosfera, óxidos de nitrogênio (NOx), assim como de CO (CANA ONLINE, 2018).

As caldeiras de leito fluidizado têm-se tornado bastante populares para queima de biomassas florestais (FOELKEL, 2016). A figura 2 mostra as partes de uma caldeira de leito fluidizado borbulhante.

Figura 2 – Partes de uma combustão de leito fluidizado borbulhante



Fonte: Figura adaptada do catálogo do fabricante “V” de caldeiras de leito fluidizado (2016).

As caldeiras de leito fluidizado circulante e borbulhante representam as mais modernas, recentes e eficazes tecnologias para queima de combustíveis sólidos, com baixa emissão de poluentes. As caldeiras de leito fluidizado BFB (Bubling Fluidized Bed / Leito Fluidizado

Borbulhante) e CFB (Circulating Fluidized Bed / Leito Fluidizado Circulante) estão disponibilizadas ao mercado na faixa de produção de 15 t/h a 300 t/h, sem limites de pressão e temperatura de vapor, para aplicação em todos os tipos de biomassa, inclusive para combustíveis complementares como tiras de pneus, carvão, petcoke e outros (CANAS ONLINE, 2018).

3.2.2 Equipamentos da Caldeira

Uma caldeira é um recipiente sob pressão, cujo objetivo é a produção de energia térmica o calor, gerado a partir da combustão de um combustível líquido, sólido ou gasoso na fornalha. É basicamente constituída por: um queimador, uma fornalha, um corpo de transferência de calor, um quadro de comando e controle equipado com os indispensáveis dispositivos de segurança, uma câmara de saída de cinzas, uma chaminé.

É comum na queima de combustíveis sólidos, existir também, pelo menos, uma porta ou sistema de remoção de cinzas dessa queima, uma porta ou sistema de alimentação de resíduos, porta de inspeção na fornalha, portas de acesso ao sistema tubular (SANTOS, 2009). Foelkel (2016) diz que uma central termelétrica desse tipo se fundamenta basicamente em alguns subsistemas vitais:

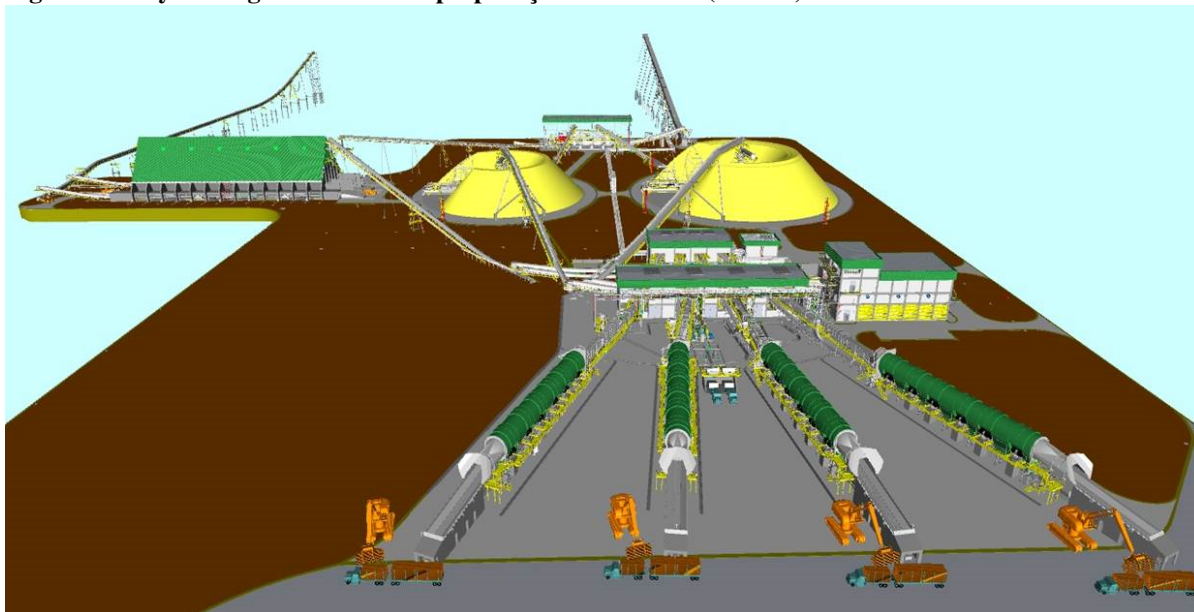
- a* Geração de vapor nas caldeiras;
- b* Distribuição do vapor superaquecido ao anel de vapor;
- c* Aproveitamento do insumo vapor superaquecido pelos turbo-geradores;
- d* Produção de eletricidade;
- e* Distribuição da energia elétrica aos sistemas usuários;
- f* Extração de vapores de menores temperaturas e pressões para utilização na própria fábrica ou no arranjo produtivo que essa central termelétrica sustenta;
- g* Retorno dos condensados para reutilização em nova produção de vapor superaquecido.

Os equipamentos que constituem uma caldeira são: Turbinas, Fornalha, Grelhas rotativas, Queimadores; Superaquecedor, Soprador de fuligem, Válvulas de segurança de pressão (PSVs), Sistemas de segurança (trips), Sistema de controle de poluentes atmosféricos, Chaminé, Layout Geral da Área de Preparação de Madeira (PMAD).

3.2.3 Planta de Preparação de Madeira (PMAD)

O layout geral da planta de preparação de madeira (PMAD) ilustrada na figura 3, possui diversos processos para geração dos cavacos até a geração e obtenção de energia propriamente dita. O processo se inicia muito antes mesmo de chegar a esta planta, remetendo ao desenvolvimento genético na área florestal. Mas no que se diz respeito a processos e máquinas, começa a partir da primeira etapa do processo de descascamento de toras, até a alimentação da biomassa na caldeira.

Figura 3 – Layout de geral da área de preparação de madeira (PMAD)



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

A preparação de madeira é constituída por diversos itens, sendo eles: Mesas alimentação de toras, Tambor descascador; Transportador de saída do descascador, Mesa de rolos e lavagem de toras, Picador de toras, Sistema de recebimento de cavacos externos, Sistema de extração de biomassa e cavacos externos, Esteiras transportadoras e silos de alimentação de biomassa, Pilhas de estocagem de cavacos para processo de celulose.

3.3 COMBUSTÍVEL

Busca-se a utilização de combustíveis que possuam fonte energética renovável para melhor preservação do meio ambiente. Devido à alta exploração das florestas nativas, sendo esta procura maior que à capacidade de crescimento da floresta, é importante que as empresas usem madeiras renováveis e de crescimento rápido, como é o caso do Eucalipto e do Pinus.

As tecnologias atualmente em uso no mundo necessitam de enormes quantidades de energia e mostra que fontes de energia renováveis devem assumir papel crescente na matriz

energética mundial, com a perspectiva de redução das reservas de combustíveis fósseis e, cada vez mais, por questões ambientais (FISTER, 2009).

Os Biocombustíveis da madeira (dendrocombustíveis), que inclui basicamente a lenha, que pode ser produzida e obtida de maneira renovável a partir de florestas plantadas ou nativas, e os biocombustíveis não florestais (agrocombustíveis) que são produzidos a partir de cultivos anuais apresentam maior umidade que os biocombustíveis florestais, além dos resíduos urbanos, são exemplo de obtenção de combustíveis de maneira sustentável (NIPE UNICAMP, 2018).

3.3.1 Hidrogênio como Combustível

O uso do hidrogênio como combustível também é uma opção. O hidrogênio pode ser obtido por diversos métodos, dentre eles a gaseificação da biomassa. Existem recentes desenvolvimentos de processos de gaseificação à vapor de água, acompanhados de adsorção com monóxido de cálcio, para elevar o rendimento da produção do hidrogênio (LONGO, 2008).

De acordo com Longo (2008), o hidrogênio é utilizado em aplicações de combustíveis para foguetes e na produção de ácidos, e ainda em estudos de condições criogênicas. A utilização deste combustível em motores de combustão interna é possível, mas os principais desenvolvimentos partem na direção das células de combustível, onde a reação entre o hidrogênio com o oxigênio do ar gera uma diferença de potencial elétrico.

3.3.2 Combustíveis Fósseis

Os combustíveis mais utilizados em caldeiras são os fósseis e são classificados segundo o seu estado: líquido, sólido ou gasoso como fonte de energia (calor). Dentro dos combustíveis líquidos destacam-se na aplicação industrial, o gasóleo (vulgo óleo Diesel), thick fuel oil ou óleo pesado (vulgo nafta), mas também há o thin fuel oil (óleo leve) que corresponde a uma mistura de 20% de gasóleo e 80% do thick (SANTOS, 2009).

O primeiro é um combustível mais limpo na combustão, mais simples na preparação da “pré-queima” mas é mais caro, onde é adequado, por exemplo, para a pequena indústria, com o desenvolvimento de um queimador em leito fluidizado um funcionamento intermitente. O segundo utiliza-se em médias e grandes indústrias com grandes intensidades energéticas e fatores de utilização também elevados como produção contínua, 24 h/dia e 7 dias/semana. O óleo pesado é mais barato que o gasóleo, tem um menor P.C.I. (Poder Calorífico Inferior), mas exige uma preparação de combustível (aquecimento da linha do combustível até o queimador), as características físicas podem variar ao longo do tempo, pois é um combustível menos nobre.

Acaba por exigir um maior cuidado na sua viscosidade e manutenção dos injetores dos

queimadores, as temperaturas de vapor de traço, isto é o aquecimento prévio do combustível na linha de alimentação do queimador, no caso do thick é de 50°C enquanto o thin é de 30°C, e a viscosidade do primeiro é superior 300 800 cSt, enquanto o gasóleo tem um valor máximo de 5 8 cSt (SANTOS, 2009).

3.3.3 A Lenha como Combustível

A lenha é um dos combustíveis utilizados em grande quantidade, tanto no Brasil e principalmente na região Sul do país, devido a sua grande área de plantio e reflorestamento, bem como o seu menor custo para aquisição. Os combustíveis são identificados em líquidos, gasosos e sólidos para os geradores de vapor (SERMATEC, 2018).

3.3.4 A Biomassa como Combustível

Amplamente utilizada na indústria de celulose e papel, o uso de biomassa como combustível está cada vez mais promissor, a biomassa é largamente utilizada para a produção de energia. Também é utilizado a biomassa provenientes de resíduos florestais e do preparo de madeira, para a produção de energia, sendo queimada em caldeiras na forma de cavacos para a produção de vapor, que gera energia elétrica através dos turbo geradores e utilização de vapor no processo produtivo.

Existem inúmeros tipos de resíduos agrícolas que podem ser utilizado como biomassa na geração de combustíveis, e sua exploração deve ser feita de maneira racional, pois podem ser importantes para proteger o solo da erosão e repor os nutrientes extraídos pelas plantas.

Estes resíduos são basicamente constituídos de palha (folhas e caules), e têm um poder calorífico médio de 15,7 MJ/kg de matéria seca. A energia armazenada nos resíduos agrícolas pode ser considerável, representando em geral mais que o dobro do produto colhido, e contém cerca de quatro vezes a energia necessária para a obtenção dos principais cereais ou sementes oleaginosas (NOGUEIRA e LORA, 2003).

3.3.5 Poder Calorífico dos Combustíveis

O poder calorífico representa a quantidade de calor por unidade de massa (ou volume) liberada durante a combustão de um combustível. Pode ser denominado de poder calorífico superior (PCS) ou poder calorífico inferior (PCI) (FUNTECG, 2005).

A biomassa quando comparada com os combustíveis fósseis, em termos de composição,

de acordo com as tabelas 3 e 4, apresenta um teor de oxigénio de 30 a 45%, o teor de carbono é de cerca 40 a 50%, enquanto na antracite, esses teores são respectivamente de 3,68% e de 85,42%.

Este teor de carbono na antracite é responsável pelo seu poder calorífico mais elevado da ordem de 33.500 kJ/kg, em contraponto com a biomassa temos apenas 18.000 kJ/kg no caso do eucalipto em estado seco. Os teores em azoto, enxofre e cloro, embora reduzidos dão origem à emissão de poluentes (SANTOS, 2009). A tabela 1 mostra a composição mássica dos combustíveis sólidos na base seca.

Tabela 1 – Composição mássica típica (%) de combustíveis sólidos na base seca.

Tipo de biomassa	C	H	O	N	S	Cinzas
pinho bravo	49,2	5,9	44,3	0,06	0,03	0,30
eucalipto	49,0	5,8	43,9	0,03	0,01	0,72
casca de arroz	40,9	4,3	35,8	0,40	0,02	18,30
bagaço de cana	44,8	5,3	42,3	0,38	0,01	1,50
casca de coco	48,2	5,2	33,1	2,98	0,12	10,25
sabugo de milho	46,5	5,8	45,4	0,47	0,01	1,40

Fonte: Santos (2009)

A tabela 1 se pode inferir que a biomassa é muito diversificada basta verificar que os teores de cinza da casca de arroz e o do pinheiro bravo, são bem distintos e vão condicionar o projeto e a operação futura da instalação de conversão de biomassa em energia que os utilizar como combustível (PINHO, 2005).

A combustão em leito fluidizado com melhor rendimento térmico relativo aos sistemas convencionais de queima, embora relativo a grandes instalações de combustão, é classificada como melhor tecnologia disponível (MTD). A sigla CLF provem do inglês para BFB (leito fluidizado borbulhante) que utiliza combustível A1 no sistema de combustão, exemplificados na tabela 2 abaixo:

Quadro 1 – Sistemas de combustão para produção de energia elétrica

Combustível	Técnica combinada	Rendimento térmico unitário (líquido) (%)	
		Rendimento eléctrico	Utilização de combustível (CG)
Biomassa	Combustão em grelha	Cerca de 20	75 - 90
	Grelha mecânica com difusor (spreader-stoker)	>23	Dependente das condições de funcionamento da instalação e da procura de calor e de electricidade
	CLF(CLFC)	>28 - 30	
Turfa	CLF(CLFB e CLFC)	>28 - 30	

CLF: Combustão em leito fluidizado CLFC: Combustão em leito fluidizado circulante
 CLFB: Combustão em leito fluidizado borbulhante CG: Co-geração (CHP)

Fonte: Santos (2009)

Abaixo as tabelas referentes aos tipos de biomassa, sendo que a tabela 3 contempla informações referentes a lenhas de toras de eucalipto com casca. E a tabela 4 contempla informações a respeito dos cavacos obtidos pelas toras de eucalipto com casca.

Tabela 2 – Tipo de biomassa: lenhas de toras de eucalipto com casca

Poder calorífico inferior (kcal/kg a.s.)	4.400	4.400	4.400	4.400
Teor de umidade (% base PU)	20	40	20	40
Densidade aparente base seca (kg a.s./st)	300	300	350	350
Peso úmido (kg úmido/st)	375	500	438	584
Poder calorífico útil kcal/kg úmido	3.400	2.400	3.400	2.400
Densidade energética (Mcal/st)	1.275	1.200	1.489	1.400

Fonte: Foelkel (2016)

3.4 BIOMASSA E SUAS TIPOLOGIAS

Existem inúmeras oportunidades para a utilização de biomassas, primeiramente para compreende-las podemos dividi-las e classificá-las em grupos. Referente a origem das mesmas podemos classificar segundo Foelker (2016) em:

a) Biomassas energéticas de primeira geração: produtos de biomassa derivados de plantas que foram especializadas para serem cultivadas, colhidas e utilizadas para geração de energia. Por exemplo: plantações energéticas de árvores, bambus, gramíneas de ciclo curto, cana de açúcar

Tabela 3 – Tipo de biomassa: cavacos obtidos de toras de eucalipto com casca

Poder calorífico inferior (kcal/kg a.s.)	4.400	4.400	4.400	4.400
Teor de umidade (% base PU)	20	40	20	40
Densidade aparente base seca (kg a.s./st)	175	175	200	200
Peso úmido (kg úmido/st)	219	292	250	333
Poder calorífico útil kcal/kg úmido	3.400	2.400	3.400	2.400
Densidade energética (Mcal/st)	745	701	850	800

Fonte: Foelkel (2016)

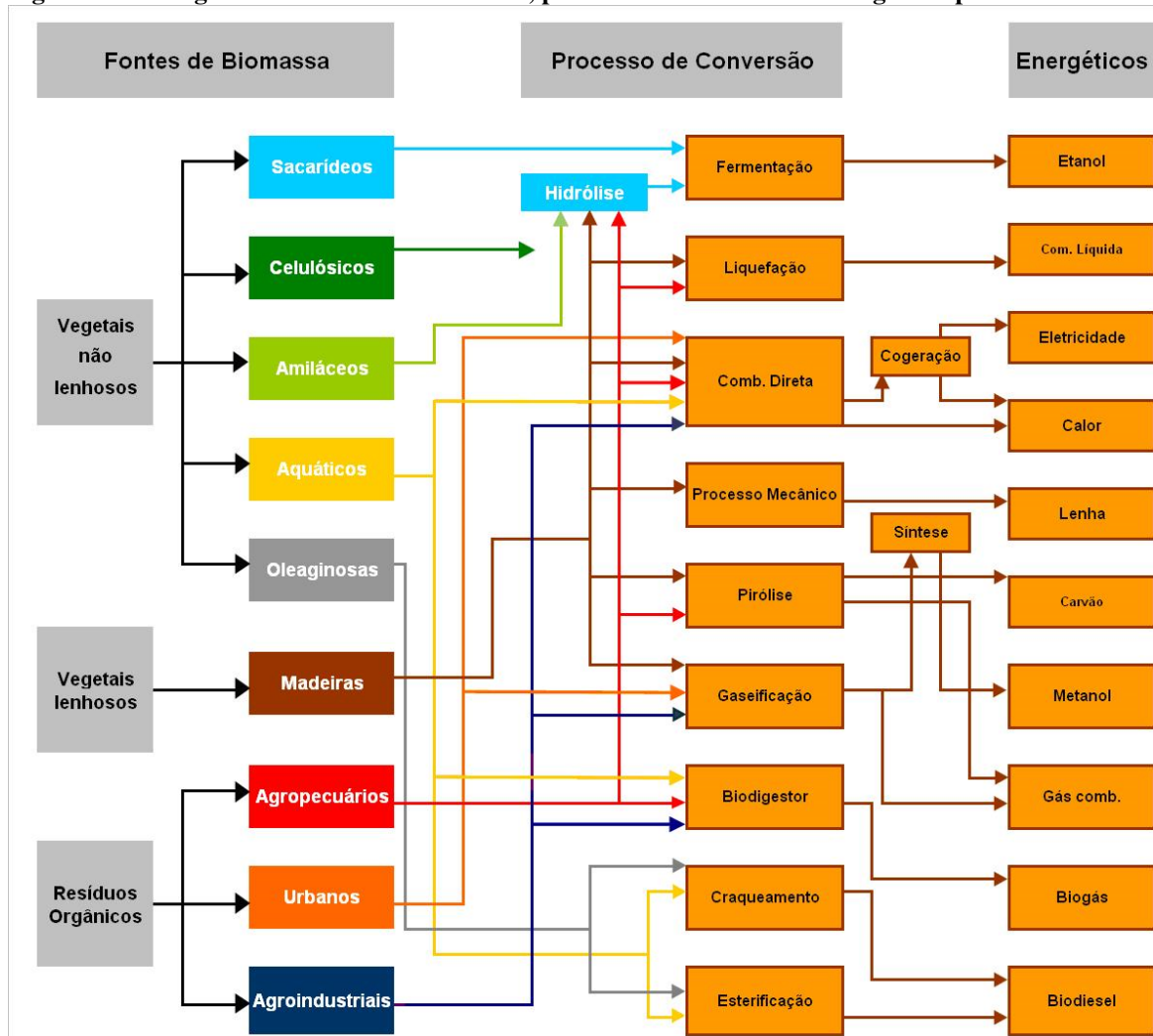
car, etc;

b) Biomassas energéticas de segunda geração: podem ser resíduos de biomassa que sobram ou nas áreas rurais/florestais ou nas empresas industriais de conversão de produtos derivados de vegetais (madeira, café, amendoim, arroz, etc.).

Outra forma acadêmica de classificar os produtos derivados da biomassa florestal é quanto à sequência, ordem ou ciclo dos processos termoquímicos de conversão desses produtos energéticos. De acordo com Foelker (2016) sendo dessa forma denominada de “Energia Primária da Biomassa” ou “Energia Secundária da Biomassa”.

De acordo com Cenbio (2009), essas fontes de biomassa serão separadas em três principais grupos: Vegetais não lenhosos; Vegetais lenhosos; e Resíduos Orgânicos, conforme mostra a figura 4, que além de apresentar as principais fontes, apresenta também os principais processos de conversão da biomassa em energéticos.

Figura 4 – Fluxograma das fontes de biomassa, processos de conversão e energéticos produzidos



Fonte: Cenbio, 2009.

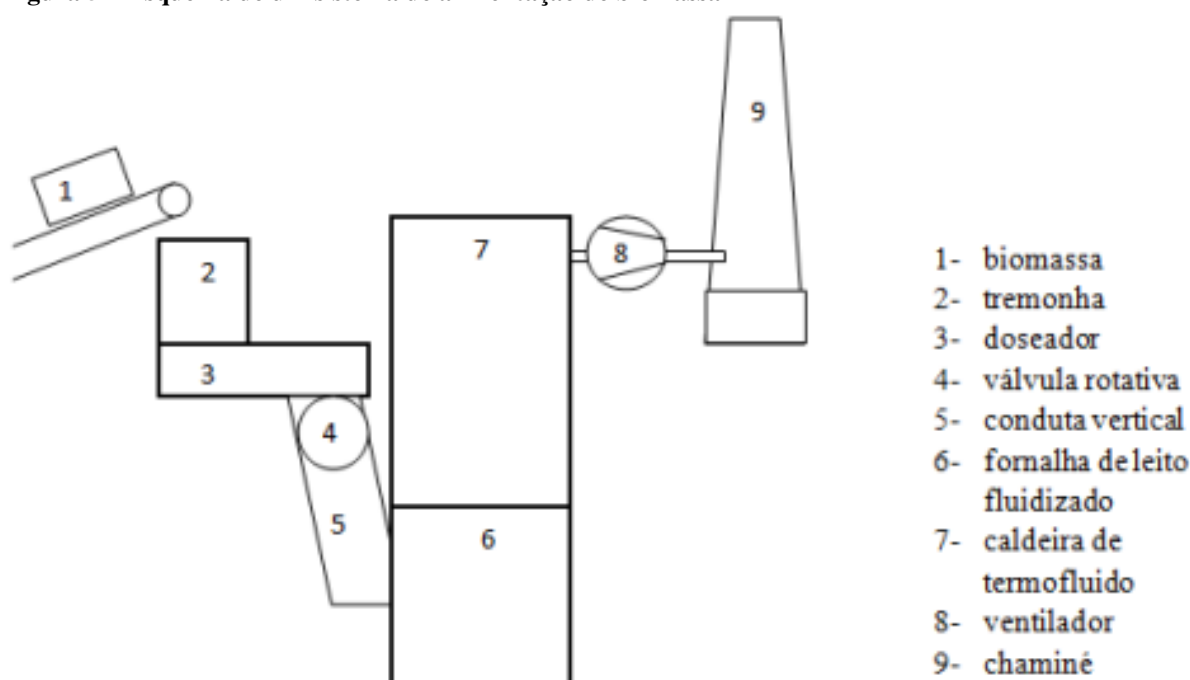
3.4.1 Processo para Alimentação da Biomassa na Caldeira

A alimentação de biomassa é realizada, de acordo com a figura 5 por: uma tremonha ou silo de biomassa, um dosador de Arquimedes ou rosca dosadora, um duto vertical com dispositivo anti-retorno de chama tipo válvula rotativa equipado com uma válvula on-off na linha de vapor de baixa pressão para abafar quaisquer tipos de incêndios nesse duto de biomassa.

Dado que o conceito de queima previsto é o de cargas sequenciais, a rosca dosadora é o componente que promove a quantidade de biomassa necessária a queimar na fornalha pela regulação da velocidade de rotação do motor desta rosca, que é conseguido através de um variador de frequência (GODOY, 2012).

A função da válvula rotativa (figura 5) é criar uma zona corta-fogo, de modo a evitar o retorno de chama ou a fuga de gases de combustão da fornalha para a rosca dosadora de biomassa, o que poderia ter consequências nefastas, o conjunto de válvula on-off na linha de vapor é um sistema de segurança secundário que atuará caso a válvula rotativa não cumpra a sua função, pois injetará vapor de baixa pressão (4,0 bar) no duto de biomassa caso seja ultrapassado uma dada temperatura de controle no duto de biomassa, evitando a eventual propagação de fogo, iniciando-se então o procedimento de parada de emergência. A saída deste duto de biomassa de alimentação no interior da fornalha, é revestida de refratário, ou seja, é uma forma de lançar a biomassa no interior do leito fluidizado da caldeira, além de ser arrefecido ou resfriado com ar primário para diminuir a desvolatilização prematura da biomassa, dado que se trata de uma zona com uma mistura rica em combustível com tendência para uma elevada velocidade de corrosão (BASU, 2006).

Figura 5 – Esquema de um sistema de alimentação de biomassa



Fonte: Santos (2009).

3.4.2 Preparação da Biomassa para ser Combustível

A biomassa bruta, produzida nas atividades florestais ou como resíduos, não é adequada à utilização nos processos de conversão. É necessário um pré-processamento para que a biomassa possa ser empregada como combustível.

Os três principais processos são: redução granulométrica, secagem e densificação. Para aumentar a reatividade e a superfície específica dos biocombustíveis sólidos, é necessário em alguns casos reduzir a granulometria da biomassa bruta. Desta forma, a madeira é cortada em pedaços até atingir a granulometria necessária, que varia de acordo com o tipo de sistema de utilização da biomassa (FISTER, 2009).

Nienhuys (2005) afirma que pedaços de madeira menores queimam melhor do que as maiores. Para fogões a lenha doméstica o ideal são madeiras com diâmetro de 4 a 5 cm. O tamanho dos pedaços de lenha influencia na transferência de calor, ou seja, com pedaços mais finos, o aquecimento é mais rápido, e a liberação de voláteis é mais rápida, já com pedaços mais grossos, o processo é mais devagar.

Além da redução granulométrica, a secagem é uma alternativa para o pré-processamento da biomassa bruta. Desta forma, para adequar a umidade da biomassa a um processo de conversão determinado, faz-se necessária uma secagem preliminar. A secagem pode ser natural ou por meio de secadores. A primeira emprega a radiação solar para aumentar o potencial de secagem do ar (FISTER, 2009).

A visão de futuro para essas fábricas é que elas, em breve, não mais estarão produzindo apenas fibras celulósicas para venda aos seus clientes como celulose de mercado (market pulp), mas também produtos químicos e biocombustíveis, todos derivados da biomassa ingressante no processo, demandada ou desperdiçada pela fábrica de celulose. As matérias-primas existem e muitas das tecnologias para isso já estão em uso, aprovadas e testadas, outras dependem de novos avanços, plantas piloto, protótipos. (CGEE, 2013)

3.4.3 Conversão Energética da Biomassa

Segundo Greenlodes (2010), os processos de conversão energética da biomassa podem ser classificados em três grupos: processos físicos, termoquímicos e biológicos. Após a secagem da biomassa, etapa essa caracterizada pela vaporização da água presente na biomassa, é a primeira etapa de transformação da biomassa no reator. É possível que a biomassa possa passar por alguns processos que ocorrem dentro do reator, sendo eles trabalhados de acordo com a meta estabelecida para a destinação da biomassa.

Como descrito por Basu (2010), existem dois processos para realização da gaseificação da biomassa, um por processo bioquímico e outro por processo termoquímico.

O processo bioquímico ocorre por fermentação por bactérias, digestão aeróbica ou anaeróbica, ou ainda por ação de enzimas, ocorrendo a quebra das cadeias orgânicas em moléculas menores, formando metano e dióxido de carbono. Essa modalidade de gaseificação é caracterizada pela velocidade lenta do processo quando comparada ao processo termoquímico (BASU, 2010).

Di Blasi, 2000 (apud Di Blasi, 2002) descreve as reações de pirólise da madeira como uma degradação sólida primária, que dá origem a voláteis condensáveis (alcatrão e água) e não condensáveis (gases) e carvão sólido, e uma reação secundária dos voláteis formando gases de baixo peso molecular e alcatrão (ou carvão) residual, o que ocorre dentro do sólido em reação ou no meio de aquecimento. A etapa de decomposição térmica da biomassa ocorre em temperaturas próximas a 600C, formando gases, coque, alcatrão e condensáveis (MARTINS, 2009).

Biomassa + Calor Coque + Gases + Alcatrão + Condensáveis

A gaseificação da biomassa é realizada em variados tipos de reatores. As diferenças conceituais dos reatores estão nos sentidos dos fluxos dos sólidos e gases, no tipo de leito utilizado e nas posições de alimentação de biomassa e ar/vapor (GODOY, 2012).

Os reatores de gaseificação de leito fixo são os mais usados e difundidos, e representam a tecnologia mais simples de gaseificação. Esse modelo pode ser subdividido em categorias, relacionadas ao sentido de fluxo dos gases no reator (GODOY, 2012). Os gaseificadores podem ser de fluxo contracorrente, concorrente, cruzado e gaseificador de leito fluidizado.

4 CONCLUSÕES

Com todas as informações levantadas dos problemas encontrados nos sistemas de transporte, distribuição e alimentação da biomassa para a caldeira de força de leito fluidizado (BFB - Bubbling Fluid Bed), bem como as análises do combustível sólido de resíduos florestais (biomassa), houve condições de verificar as reais condições de trabalho e projeto do sistema hoje empregado dentro da empresa para alimentar a caldeira de biomassa.

Também foi implementado melhorias nos sistemas de extração da biomassa armazenada, nas correias transportadoras de biomassa da área do PMAD (Preparação de Madeira, Armazenamento e Distribuição) até o sistema de correias transportadoras da área da CDF (Caldeira de Força) em conjunto com a distribuição entre os silos de biomassa (Desviadora) e de alimentação para a caldeira de força, fazendo com que a mesma opere de forma contínua, sem grandes entupimentos e com a redução de custo com a queima de óleo combustível 1A.

Além da maior geração de vapor pela caldeira de força, estará sendo contabilizado a geração de energia elétrica e o valor arrecado com a sua venda para o mercado externo. As melhorias no sistema de biomassa foram:

- a* Adição de dentes “tipo quebra cavacos” nas helicoides das roscas de extração do silo de biomassa;
- b* Implementação de sistemas de balancins para equalizar e homogeneizar a altura da biomassa nas correias transportadoras;
- c* Adição de uma moega dosadora de cavaco externo na correia de alimentação para o silo de estocagem;
- d* Aumentado a altura do eletroímã para evitar transbordo de biomassa na correia 7189;
- e* Troca de todas as correias do sistema Air Belt (fornecedora “D”) por sistemas de correias transportadoras por rolos (AP equipamentos);
- f* Adição de uma desviadora mais robusta, com cilindros duplos e com capacidade de 3 vezes a vazão das correias;
- g* Aumentando o consumo de biomassa que era inicialmente de 24 ton/h antes das melhorias e passou hoje para em torno de 90 a 145 ton/h de biomassa, aumentando a geração de vapor e a geração e venda de energia;
- h* Redução do custo com o consumo de óleo combustível de R\$1.190.383,00 para R\$172.018,00;
- i* Redução do consumo de óleo combustível 1A mensal de 3.975 ton/mês para aproximadamente 253 ton/mês;

- j* Aumento da geração média de vapor de 159 ton/h para 256,4 ton/h, aumentando a capacidade de geração de projeto de 280 ton/h.

Todo o trabalho desenvolvido até o momento mostrou muitas melhorias e suas consequências como a diminuição dos entupimentos nas correias transportadoras e da desviadora de biomassa, o aumento da geração de vapor, maior estabilidade no transporte e consumo de biomassa na caldeira de força e maior geração e venda de energia elétrica para o sistema nacional de energia.

Ainda temos muitas outras oportunidades de melhorias na Caldeira de Força (CDF), como:

- a* Maior estabilidade de alimentação da biomassa para a fornalha;
- b* Diminuição de pontes de biomassa formadas entre as roscas dentro dos silos de alimentação, aumentando a carga dos sistemas de acionamento dos planetários e a troca dos braços dos mesmos por outros mais robustos e fortes;
- c* Diminuição das variações de carga ou geração de vapor, com a estabilidade nessa alimentação de biomassa para a fornalha;
- d* Diminuição das variações de temperatura do vapor superaquecido, seja através da diminuição das variações de carga ou com a utilização do novo Condensador de Vapor para controle dessa temperatura pelos dessuperaquecedores de vapor;
- e* Melhorar condições da área de armazenamento de cavaco externo com a cobertura dessa área, diminuindo a umidade dessa biomassa em tempos de chuva.

REFERÊNCIAS

CANA ONLINE – **Vantagens da caldeira de leito fluidizado borbulhante**. 2018. Disponível em: <<http://www.canaonline.com.br/conteudo/vantagens-da-caldeira-de-leito-fluidizado-borbulhante.html>.Wq1fUq_{RIU} > .Acesso em : 18/02/2018.

CGEE; Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – **Química verde no Brasil: 2010/2030**. Ed. rev. e atual. - Brasília, DF: CGEE, 2010.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - **Eficiência energética: recomendações de ações de ctiem segmentos da indústria selecionados – celulose e papel: série documentos técnicos, 20** - Brasília, DF: CGEE, 2013.

CHIZZOTTI, Antônio - **A pesquisa qualitativa em ciências humanas e sociais: evolução e desafios**. – Portugal, 2003.

DI BLASI, COLOMBA. **Kinetic modeling of biomass gasification and combustion** - IEA bioenergy – 2010. Disponível em: <<http://www.pyne.co.uk/>> Acesso: 20/01/2018.

DI BLASI, COLOMBA. **Modeling chemical and physical processes of wood and biomass pyrolysis - progress in energy and combustion science 34 (2008) 47–90** – 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>> - Acesso: 15/02/2018.

DI BLASI, COLOMBA. **Modeling intra - and extra-particle processes of wood fast pyrolysis - American Institute of Chemical Engineers**. AIChE Journal; Oct 2002; 48, 10; Research Library pg. 2386. 2010.

DI BLASI, COLOMBA; GALGANO, ANTONIO. **Models of chemical reactors for biomass gasification and combustion - IEA Bioenergy** – 2008. Disponível em: <<http://www.pyne.co.uk/>> Acesso em: 15/01/2018.

FISTER, José Irineu - **Resíduos da madeira para geração energética na forma de briquetes**. Telêmaco Borba, PR : [s.n], 2009.

FOELKEL, Celso – **Série de capítulos: utilização da biomassa de eucalipto para produção de calor, vapor e eletricidade. 2016**. Artigo da revista Opiniões – Eucalyptus online Book Newsletter Disponível em: < <http://www.eucalyptus.com.br/disponiveis.html> >. Acesso em

10.08.2017.

FOELKEL, Celso – **Florestas energéticas de eucaliptos**. 2016. Disponível em: <http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT43_Florestas_Energeticas_Eucaliptos.pdf. > Acesso em 10.08.2017.

FOELKEL, Celso - **Geração calor vapor eletricidade**. 2016. Disponível em: < http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT44_Geracao_Calor_Vapor_Eletricidade.pdf. > Acesso em 10.08.2017.

FOELKEL, Celso – **Resíduos florestais energético**. 2016. Disponível em: < http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT45_Residuos_Florestais_Energeticos.pdf > .Acesso em 10.08.2017.

FOELKEL, Celso - **Um guia referencial sobre ecoeficiência energética para a indústria de papel e celulose kraft de eucalipto no Brasil** - Eucalyptus Online Book Newsletter, maio de 2010.

FOELKEL, Celso - **Utilização da biomassa do eucalipto para produção de calor, vapor e eletricidade parte 2: geração de calor, vapor e eletricidade**. 2016. Disponível em:<<http://eucalyptus.online.book/capitulo44.pdf>>. Acesso em 10.08.2017.

FUNTECG – **Poder calorífico** – 2005. Revista da madeira nº 89 abril 2005; Disponível em:<<http://www.funtecg.org.br/arquivos/podercalorifico.pdf>>. Acesso em: 20/03/2018.

FUNTECG – **Brinquetagem**. 2011. Disponível em: <<http://www.funtecg.org.br/arquivos/brinquetagem.pdf>> Acesso em: 20/03/2018.

GIL, Antônio Carlos, 1946 – **Como elaborar projetos de pesquisa**. Antônio Carlos Gil. - 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GIL, Antônio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GODOY, Renan - **Simulação da cinética reacional de um gaseificador de biomassa de leito fluidizado para a produção de hidrogênio**. Renan Godoy. – Telêmaco Borba, PR : [s.n], 2012.

GREENLODGES- **Biomassa**. 2010. Disponível em: <<http://www.greenlodges.net/Portugues/Biomass/Bioody.htm> > .Acesso em : 20/03/2018.

KLABIN – **A empresa** – 2018. Disponível em: <<https://www.klabin.com.br/pt/a-klabin/a-empresa/>>. Acessado dia 03/03/2018.

LONGO, Maria Amália Volpato; LAZZARIN, Nayane; MIGUEZ, Tamara Agner. **Produção biológica de hidrogênio** - UFSC, 2008.

MARTINS, Rachel. **Potencial para geração de energia elétrica no Brasil com resíduos de biomassa através da gaseificação** – Rio de Janeiro: UFRJ/COPEE, 2009.

NIPE UNICAMP – **7º Congresso internacional sobre geração distribuída e energia no meio rural setembro de 2008**. 2008. Disponível em: <<http://www.nipeunicamp.org.br/agrener/anais/2008/Artigos/33.pdf>>. Acesso em 02/02/2018.

NOGUEIRA, L.A.H, NOGUEIRA, F.J.H, ROCHA, C.R. - **Eficiência energética no uso de vapor**. 196p. Rio de Janeiro. Eletrobrás, 2005.

NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S.; TROSSERO, M.A.; FRISK, T. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. 2008. Brasília, DF, 2000. 144p. Revista Opiniões. Disponível em: <http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=240>. Acesso em: 03/03/2018.

SANTOS, J.R.S. **Estudo da biomassa torrada de resíduos florestais de eucalipto e bagaço de cana de açúcar para fins energéticos**. 2012. Dissertação de mestrado em Ciências, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. ESALQ, Piracicaba, 2012.

SANTOS, Paulo Gustavo Cardoso dos - **Desenvolvimento de um queimador em leito fluidizado borbulhante para queima de biomassa, adaptação a caldeira pré-existente**. Dissertação do MIEM. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, Portugal, 2009.

SERMATEC - **Caldeiras – 2018** - Disponível em: <<http://www.sermatec.com.br/produtos/caldeiras-de-leito-fluidizado-borbulhante/>>. Acesso em: 02/02/2018.

VIANELLO, Luciana Peixoto – **Métodos e técnicas de pesquisa**. Centro Universitário UNA. Minas Gerais, 2013.