

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
COORDENAÇÃO DO CURSO ENGENHARIA ELÉTRICA

MÔNICA DOMINIQUE DAS CHAGAS MARTINS

**USO DA BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA NA FÁBRICA DA JARI
CELULOSE PAPEL E EMBALAGENS S/A**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MACAPÁ-AP
2017

MÔNICA DOMINIQUE DAS CHAGAS MARTINS

**USO DA BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA NA FÁBRICA DA JARI
CELULOSE PAPEL E EMBALAGENS S/A**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, da acadêmica Monica Dominique das Chagas Martins, do curso do Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, como requisito para a obtenção do título de Bacharel Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Coracy da Silva Fonseca

MACAPÁ-AP
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá
Elaborado por Mara Patrícia Corrêa Garcia CRB2/1248

333.7940981

M386u Martins, Mônica Dominique das Chagas

Uso da biomassa como fonte de energia na Fábrica da Jari Celulose Papel e Embalagens S/A / Mônica Dominique das Chagas Martins ; orientador, Coracy da Silva Fonseca. - Macapá, 2017.

58 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica.

1. Biomassa florestal. 2. Energia renovável. 3. Leilão de energia. 4. Jari Celulose, Papel e Embalagens S/A. I. Fonseca, Coracy da Silva, orientador. II. Fundação Universidade Federal do Amapá. III. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ATA DE DEFESA DE TCC

As 16:05 horas do dia 27 de maio de 2017, nas dependências da Universidade Federal do Amapá, reuniu-se a Banca Examinadora para defesa do TCC: USO DA BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA NA FABRICA DA JARI CELULOSE PAPEL E EMBALAGENS S/A, de autoria do(s) aluno(s) MONICA DOMINIQUE DAS CHAGAS MARTINS, regularmente matriculados no Curso de Engenharia Elétrica desta universidade. A banca Examinadora foi assim constituída: Prof. Mg. Coracy da Silva Fonseca, Presidente da Banca e Orientador, Prof. Dr. José Reinaldo Cardoso Nery e Prof. Dr. Helyelson Paredes Moura, como examinadores. Concluída a defesa, foram realizadas as arguições e comentários. Em seguida procedeu-se o julgamento pelos membros da Banca Examinadora, tendo o projeto sido aprovado com nota 8,8. E, para constar, eu, Coracy da Silva Fonseca, presidente da Banca Examinadora, lavrei a presente ata que, após lida e achada conforme, foi assinada por mim e demais membros da Banca Examinadora.

Maqui/AP, 27 de maio de 2017

Presidente

Membro

Membro

Dedico este trabalho ao meu orientador Engenheiro Eletricista Me. Prof. Coracy Fonseca que dispensa maiores apresentações, mas importa a mim, como orientanda, enfatizar o reconhecimento por sua tolerância, conhecimento e sabedoria, que fazem dele o mais influente e reconhecido professor do Departamento do curso de Engenharia Elétrica da UNIFAP.

Muito obrigada por ser sua última orientanda, antes da aposentadoria da instituição.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus sobretudo, bem como aos professores e amigos pelos preciosos ensinamentos, compartilhamentos de ideias, enriquecimento nos debates e apoio durante a toda a minha jornada para a conclusão do curso de Engenharia Elétrica.

Ao Sr. Augusto Praxedes Neto, Diretor de Sustentabilidade e Relações Institucionais da Fábrica da Jari Celulose pela maravilhosa atenção na concessão de autorização e orientação técnica na Fábrica Jari Celulose Papel e Embalagens S/A, local por excelência do objeto de pesquisa científica de dissertação do presente TCC.

Ao José Rosivaldo Costa Pompeu, Operador de Painel de Controle pela elucidação de dúvidas e pormenorização dos processos e fases de desenvolvimento na produção de energia na Fábrica.

Ao amigo Richardson pela solidariedade e presença permanente nos momentos de indecisões, pronto a contribuir para a resolução pontual e/ou apoio moral.

Ao Luís Carlos que me ajudou muito na elaboração do projeto.

E finalmente, agradeço as minhas amadas e amigas irmãs, Dra. Profa. Carmentilla Martins e Cydilena Martins, por compartilhar outrora, hoje e sempre, os caminhos que percorri para lograr alcançar este momento de consagração e realização acadêmica e que, por certo, comigo estará nos novos percursos que deverei percorrer para a realização profissional.

A todos, o meu muito obrigado

RESUMO

MARTINS, M. D. C. **USO DA BIOMASSA COMO FONTE DE ENERGIA NA FÁBRICA DA JARI CELULOSE PAPEL E EMBALAGENS S/A**. 2017. 57p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Amapá. Macapá -AP, 2017.

O escopo do presente trabalho foi identificar, mapear e analisar o processo do uso da biomassa florestal como fonte de energia para a fábrica Jari Celulose Papel e Embalagens S/A, localizada no distrito de Monte Dourado município de Almeirim Estado do Pará. A princípio foi utilizado referenciais teóricos com o objetivo de desenvolver ideias com base em estudos de campo, mediante a coleta de dados, visando aferir o grau de embasamento teórico e prático sobre o processo e exploração do conhecimento existente sobre uso da biomassa florestal como fonte energética. Algumas leis importantes foram estudadas para melhor entendimento de participação de empresas, fabricas e industrias nos Leilões de Energia a partir da biomassa. Foram analisadas características da biomassa para entender a sua queima. Na Fábrica, lugar da coleta dos dados, observamos que a cogeração de energia é realizada a partir do vapor gerado por caldeiras. Esse vapor passa por um processo de transformação de energia térmica em elétrica em um turbo-gerador capaz, não somente de suprir a demanda da fábrica, como ainda produzir excedentes para a venda de energia elétrica. Visando a otimização desses excedentes, busca a fábrica aprimorar o processo de transformação da energia mediante o uso atendendo a demanda, além de ainda tornar possível a venda de energia elétrica, em caso excedente, em cima disso buscar melhorias no uso da biomassa investindo em equipamentos para acelerar a sua secagem

Palavras-chave: Biomassa, Energia Renovável, Leilões de energia

ABSTRACT

MARTINS, M. D. C. **USE OF BIOMASS AS AN ENERGY SOURCE IN THE JARI FACTORY CELLULOSE PAPER AND PACKAGING S / A** 2017. 57p. Completion of course work (Undergraduate) - Electrical Engineering. Federal University of Amapá. Macapá -AP, 2017

The scope of this work was to identify, map and analyze the process of the use of forest biomass as an energy source for the Jari Celulose Papel e Embalagens S / A plant, located in the district of Monte Dourado municipality of Almeirim State of Pará. using theoretical references with the objective of developing ideas based on field studies, by means of data collection, aiming at assessing the degree of theoretical and practical basis on the process and exploration of existing knowledge on the use of forest biomass as an energy source. Some important laws have been studied to better understand the participation of companies, factories and industries in Energy Auctions from biomass. Characteristics of the biomass were analyzed to understand its burning. At the Plant, where the data are collected, we observe that the energy cogeneration is carried out from the steam generated by boilers. This steam goes through a process of transforming thermal energy into electricity in a turbo-generator capable of not only supplying the demand of the plant but also producing surpluses for the sale of electric energy. Aiming at optimizing these surpluses, the company seeks to improve the process of transforming energy by using demand, as well as making it possible to sell electric power, in case of surplus, on top of that, to seek improvements in the use of biomass by investing in equipment to accelerate its drying.

Keywords: Biomass, Energy renewable, Energy auctions.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 IMPORTÂNCIA DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS	17
2.2 BIOMASSA.....	19
2.2.1 Uso da Biomassa Florestal como Fonte Energética	21
2.2.2 Cultivo do Eucalipto para geração de energia	23
2.3 GERAÇÃO DE BIOELETRICIDADE	24
2.4 PANORAMA ENERGÉTICO NACIONAL.....	26
2.4.1 Parque Nacional de Biomassa.....	26
2.4.2 Legislações para Sistemas Isolados.....	28
2.4.3 Isolados Leilão de Energia a Partir do Uso da Biomassa	29
2.5 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA LEILÃO DE ENERGIA.....	31
2.5.1 Estrutura da Biomassa.....	31
2.5.2 Teor de Umidade	31
2.5.3 Massa Específica	33
2.5.4 Densidade.....	34
2.5.5 Poder Calorífico	35
3 MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	38
3.1.1 Fábrica de Celulose, Papel e Embalagens de Eucalyptus.....	39
3.1.2 Setor Florestal.....	39
3.1.3 Transporte e operação Florestal	39
3.1.4 Resumo do Processo Industrial.....	40
3.2 PLANO ANUAL DE OPERAÇÃO	41
3.3 DADOS COLETADOS DA CENTRAL ELÉTRICA DA UNIDADE FABRIL	42
3.3.1 Caldeira de Recuperação Química da Jari Celulose.....	42
3.3.2 Caldeira de Biomassa	43
3.4 ASPECTOS BÁSICOS DA CENTRAL TERMELÉTRICA.....	44
3.4.1 Geração termelétrica	44
3.4.1 Funcionamento do Sistema de Controle e Automação.....	44
4 RESULTADOS.....	46

4.1 BENEFÍCIOS DO USO DA BIOMASSA.....	46
4.2 IMPACTO ECONÔMICO	46
4.3 IMPACTO NO CICLO DE CARBONO – EMISSÕES EVITADAS	46
4.4 IMPACTOS SOCIAMBIENTAL	47
4.5 ANÁLISE DA BIOMASSA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA NA FABRICA DA JARI CELULOSE	47
CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS.....	54
APÊNDICE A	56

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Miranda (2015), o uso da biomassa florestal para geração de energia, é tido, por muitos, como uma prática ultrapassada e primitiva. Essa biomassa, no âmbito do presente trabalho, é aquela usada na combustão da lenha, resíduos florestais e agrícolas, entre outras matérias orgânicas, que são transformadas em energia. Antigamente, a biomassa utilizada era proveniente de florestas nativas e a tecnologia de conversão energética era menos eficiente e pouco operacional. Por outro lado, as florestas plantadas de alta produção, associadas às recentes tecnologias de conversão, permitem afirmar com segurança que o consumo de biomassa florestal, para produção de energia, deve ser considerado um avanço, vez que cresce a necessidade por fontes de energia renováveis que impactem menos o meio ambiente que é o caso da biomassa florestal.

O setor florestal enfrenta grandes problemas em sua cadeia produtiva, de naturezas e causas diversas, sendo visualizada a escassez da matéria-prima. Diante desse problema, o país vem buscando melhorar essa situação com o manejo florestal sustentável, sendo que também contribui para a redução da exploração de florestas nativas, aumentando tanto o rendimento e a rentabilidade da atividade florestal e reduzindo os resíduos durante a colheita (MONTEIRO, 2010).

A avaliação e análise do potencial da madeira de Eucalipto como matéria-prima para produção de energia térmica, suas potencialidades e limites, de forma a colaborar para “boom” deste mercado. Esses dados são no sentido de ampliar seu conhecimento sobre as oportunidades de investimento em florestas plantadas no Brasil, voltadas à geração de energia.

Sendo assim, impõe-se lançar novo olhar sobre o conhecimento existente sobre o real potencial da madeira como matéria-prima para produção de energia térmica, suas potencialidades e entraves, de forma a contribuir para expansão deste mercado. Salienta-se que os procedimentos metodológicos e o embasamento teórico são tratados, posteriormente, em capítulos próprios e com a profundidade necessária ao trabalho de pesquisa.

Com vista a embasar sobre análise e viabilidade sobre o uso da biomassa como fonte de energia renovável. A justificativa é entender e conhecer melhor o objeto de estudo. O presente trabalho, foi idealizado e executado após identificação da

viabilidade sustentável da biomassa florestal para produção de energia térmica, para geração de energia elétrica para suprir a demanda da Fábrica da Jari Celulose S/A, gerando um possível excedente de energia para venda haja vista a expectativa de grande potencial desta biomassa em contrapartida ao excesso de burocracia no que se refere à gestão e política ambiental brasileira e ao início bem tímidos de incentivos governamentais para seu uso.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS

Conforme a Agência Municipal de Energia de Almada (AGENEAL) a energia é considerada renovável por possuir a capacidade de ser repostada naturalmente, o que não significa que seja inesgotável. Algumas delas, como o vento e a luz solar, são permanentes desde que aja uma catástrofe gigantesca para se esgotar, mas outras como a água, é finita pode acabar, a dependendo da forma como o ser humano faz o seu uso.

Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME), as energias renováveis estão ligadas a um fluxo contínuo, enquanto que as energias não renováveis apenas consideram a sua existência em uma quantidade determinada. Em geral, as energias renováveis estão por todo o planeta, permitindo o seu uso de forma descentralizada (hidráulica, solar, eólica, energia das marés, biomassa,). Já as energias não renováveis apresentam-se em quantidades limitadas (petróleo, gás, carvão, urânio), mas com um grande grau de incerteza, uma vez que a definição da sua quantidade depende do estágio do desenvolvimento tecnológico e do ritmo de sua extração.

Sobre a importância das energias renováveis, hoje estão situadas em todo o mundo como a segunda fonte mais essencial de energia elétrica, atrás do carvão, no qual o Brasil está entre os países que estimulam a concorrência da energia verde (certificado para empresas produtoras e consumidoras de energia limpa e renovável), de acordo com a Rede de Políticas de Energia Renovável para o Século 21 (REN21, 2016). A Comercialização de Certificados – Certificates Trading Model (certificados de ‘energia verde’) objetiva oferecer condições de competitividade entre as tecnologias renováveis no mercado de energia elétrica. Esses certificados verdes foram introduzidos sob forma voluntária de adesão, deixando que os produtores de ‘eletricidade verde’ fossem compensados pela diferença de tarifa entre a eletricidade convencional e as que são provenientes de recursos renováveis (FIDELIS, 2006).

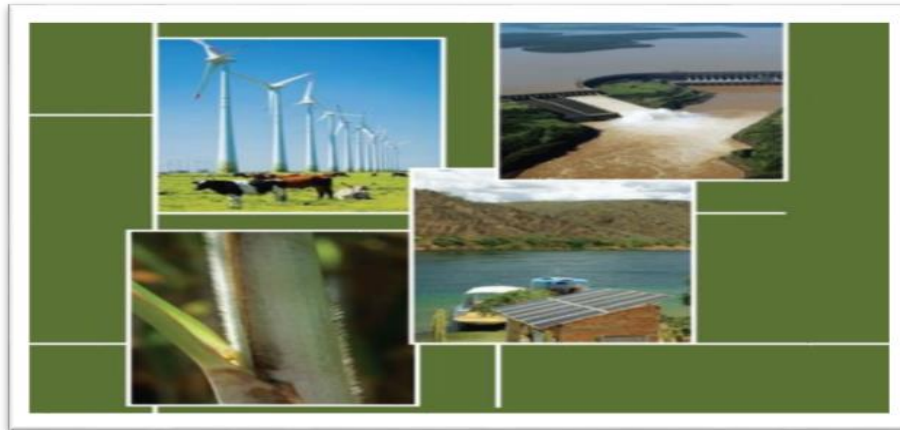
De acordo com a REN21 (2016), o desenvolvimento célere de energia renovável, sobretudo no setor elétrico, é incentivado por diversos fatores, entre eles: a melhoria da competitividade dos custos das tecnologias renováveis, preocupações ambientais e iniciativas de políticas públicas específicas, melhor acesso a financiamento, demanda crescente de energia nas economias em desenvolvimento e

emergentes, e a necessidade de acesso à energia moderna. Por consequência, novos mercados para energia renovável centralizada e distribuída estão aparecendo em todas as regiões. O ano de 2015 foi de grande importância para a energia renovável, com as maiores adições à capacidade mundial já observadas até o momento, embora os desafios ainda persistam, em particular fora do setor elétrico. Foram presenciados muitos acontecimentos com relevantes perspectivas e projeções sobre as energias renováveis, entre eles: uma queda significativa nos preços globais dos combustíveis fósseis; informativos noticiados pelas maiores redes de comunicação sobre a significativa redução nos preços em contratos de longo prazo de energia renovável; um crescimento significativo na atenção ao armazenamento energético; e, mais significativo de todos, um acordo histórico sobre o clima, assinado em Paris, que uniu a comunidade mundial (REN21, 2016).

Todas as tecnologias energéticas de países desenvolvidos estão voltadas hoje para enfrentar problemas de estabilidade do energético mais usado - o petróleo - e da preocupação mundial com o aumento da concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera terrestre. E agora, está sendo considerado de caráter estratégico a utilização de fontes alternativas de energia, um dos motivos é que a maior parcela das reservas mundiais de petróleo está localizada em zonas de conflitos políticos e étnicos de difícil solução a curto prazo (LIMA, 1993).

Em 2015 e início de 2016, as esperanças de novas reduções nos custos das energias renováveis se tornaram evidentes em resultados de leilões de energia elétrica tendo propostas vencedoras mais baixas em diferentes localidades do mundo, a exemplo da América Latina, Oriente Médio e Norte da África e Índia (REN21, 2016). A energia elétrica gerada por fontes fotovoltaicas, hídricas, eólica e algumas fontes de energia de biomassa como mostra a Figura 1, são formas amplas bastante competitivas com a eletricidade de combustíveis fósseis já tem algum tempo, a energia elétrica eólica terrestre e solar fotovoltaica também têm custos competitivos com o acréscimo da nova capacidade fóssil, mesmo sem levar em conta externalidades (REN21, 2016).

De acordo com a Fundação de amparo à pesquisa do Estado de São Paulo FAPESP (2007), o incomensurável desafio que se apresenta às energias sustentáveis e tem como pressuposto sua complexidade e extensão calculadas pelos adventos tecnológicos, implicações sociais, econômicas e políticas, que se espalham pelo planeta.

Figura 1 – Energias Renováveis no Brasil

Fonte: Autoria Própria

Boas novas são as notícias de que governos principiam por aproximarem-se mais do tema, atribuindo-lhe, por conseguinte, importância, para não se tornarem dependentes de nações cujas preocupações já resultaram em alternativas viáveis e sustentáveis, além de econômicas a médio e longo prazos, através de iniciativas organizacionais, privadas e governamentais, com soluções inteligentes na produção e uso de energias renováveis.

2.2 BIOMASSA

De acordo o coordenador de Energia Renovável – Tolmasquim (2016), utilização para fins energéticos da biomassa foi importante para a evolução humana, sendo que seu próprio meio de aquisição e uso avançaram juntos desde a lenha catada para cocção, proteção e aquecimento, até as modernas técnicas de produção silvo-agropecuárias e industriais, de transformação e utilização de biocombustíveis para geração de calor, força motriz e eletricidade.

Segundo a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (2007), a biomassa é um dos recursos energéticos mais antigos da humanidade e, de acordo com as estimativas disponíveis, ainda representa cerca de 10% do consumo global de energia primária hoje. Dados precisos não estão disponíveis, mas especula-se que um terço da população mundial depende de lenha, resíduos agrícolas, esterco animal e outros resíduos domésticos para satisfazer as necessidades energéticas de domicílios. Mas ainda, estima-se que esses usos tradicionais da biomassa respondam por mais de 90% da contribuição da biomassa para o suprimento global de energia, a maior parte fora da economia formal de

mercado e, principalmente, nos países em desenvolvimento. Nesses países, calcula-se que a biomassa tradicional responda por mais de 17% do consumo total de energia primária (MIRANDA,2015).

Modernos usos de biomassa para gerar eletricidade e calor, ou como fonte de combustível para transportes, podem representar menos de 10% do consumo total de energia de biomassa em todo o mundo. Com o desenvolvimento dos processos industriais e da sociedade, teve um aumento sistemático da demanda de energia, e a partir daí começou-se a observar os impactos ambientais por conta do consumo exagerado destes recursos energéticos, concluindo que estes eram finitos recursos energéticos. A partir do século XX, com o estabelecimento de legislações ambientais em muitos países, iniciaram-se as discussões de questões como, p. ex., o aquecimento global e as emissões de gás carbono. Tais temas passaram a ser destaque em projetos de geração de energia, impactando diretamente o setor energético no fator econômico e na indústria de petróleo (MONTEIRO, 2012).

No Brasil, a bioeletricidade é adquirida especialmente através da cogeração (processo de produção e utilização combinada de calor e eletricidade) em unidades dos segmentos industriais sucroenergéticos (produção de açúcar e álcool) e, em menor escala, de papel e celulose, tendo como fonte o licor negro e cascas de eucalipto e pinus. (TOLMASQUIM, 2016). Dependendo do nível de eficiência energética destas unidades, pode haver geração excedente de bioeletricidade, possível de ser comercializada em leilões de energia (mercado regulado) ou nos mercados livre e de curto prazo. A bioeletricidade é uma energia limpa e renovável, obtida a partir da biomassa convertida de resíduos da cana-de-açúcar (bagaço e palha), restos de madeira, carvão vegetal, casca de arroz, capim-elefante e outras (SOUZA, 2012).

De acordo com Martins (2009), A bioeletricidade: tem baixo custo de obtenção, não emite dióxido de enxofre, as cinzas têm baixo impacto de agressão ao meio ambiente que as provenientes de combustíveis fósseis, provoca menor corrosão nos equipamentos (caldeiras, fornos), tem menor risco ambiental e suas emissões de gases não contribuem para o aumento o efeito estufa.

De acordo com Tolmasquim. (2016):

o Mercado Livre é o local de negociação aonde consumidores “livres” podem comprar energia de forma alternada com o auxílio da concessionária local. Neste ambiente o consumidor negocia o preço da sua energia abertamente

com os agentes geradores e comercializadores. Desta maneira, o cliente livre pode escolher qual será o seu fornecedor de energia. ”

“A geração a partir da biomassa é responsável atualmente por cerca de 8% da energia gerada e apresenta grande potencial prospectivo: calcula-se que sua oferta potencial, tomando-se apenas a geração centralizada, possa triplicar atingindo 380 TWh, equivalentes a 51.000 MW de capacidade com fator de capacidade de 85%, e, na forma de geração distribuída, possa dobrar e chegar a 67 TWh, equivalentes a 9.000 MW de capacidade com fator de capacidade de 85%, até 2050. ”

2.2.1 Uso da Biomassa Florestal como Fonte Energética

Antigamente a energia disponibilizada para executar trabalho, nas antigas civilizações, era a força motora do homem e dos animais como bois, cavalos e outros. Porém, avanços tecnológicos permitiram à humanidade usar a energia concentrada disponível na natureza, armazená-la e usa-la conforme sua necessidade (VASCONCELOS et al., 2007).

A biomassa florestal pode ser usada como fonte de energia limpa. Vale ressaltar que embora possua um desenvolvimento de capacitação tecnológica para exploração dos recursos florestais, além de possuir grandes áreas, relevo, clima adequado para sua produção, é no alto custo a explicação para a pouca geração de eletricidade no Brasil. O Ministério de Minas Energia (MME) diz que a biomassa ainda não contribui o suficiente para a produção de eletricidade. A maior parte da sua produção elétrica ocorre de forma exclusiva em centrais autoprodutoras, isto é, empresas que geram para satisfazer, sua demanda elétrica. Uma forma de uso da biomassa florestal é a de cavaco, que incide na picagem da lenha ou resíduos em pequenos tamanhos mais ou menos homogêneos, com o uso do cavaco é possível obter redução do custo da energia térmica em comparação com o uso da lenha, pois o cavaco permite melhor mecanização do processo com baixo custo com mão de obra, o que impacta diretamente no custo final da energia (NASCIMENTO, 2007).

De acordo com Miranda (2015), o campo da celulose e papel é o que mais consome madeira atualmente. Isto mostra que o Brasil é um dos maiores produtores de celulose do mundo. Em segundo lugar tem-se o consumo de lenha industrial, que representa o principal consumo de lenha para energia. Em apenas em sexto lugar situa-se o consumo de cavaco de madeira, também utilizado principalmente para produção de energia elétrica. Portanto, há um grande espaço a ser conquistado pelo cavaco, através da substituição da lenha, já que este apresenta melhor desempenho

na geração de energia elétrica, o uso de madeira para consumo industrial no ano de 2013 foi de 185 milhões de metros cúbicos, conforme detalhado a Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Instituições de Educação Superior (IES) por Organização Acadêmica - 2004

Organização Acadêmica	IES	%
Universidades	169	8,4
Centros Universitários	107	5,3
Faculdades Integradas	119	5,9
Faculdades, Escolas e Institutos	1.474	73,2
Centros de Educação Tecnológica e Faculdades de Tecnologia	144	7,2
Total	2.013	100

Fonte: Censo da Educação Superior 2004 (INEP, 2004).

Segundo Tolmasquim. (2016), as principais espécies usadas, para fins comerciais no país, são as dos gêneros Pinus e Eucalipto, com o passar dos anos e com o aperfeiçoamento de novas tecnologias, começaram a ser usadas de maneira crescente para fins energéticos. A produção da biomassa florestal brasileira é a mais alta do mundo, devido às condições favoráveis da natureza e, também, ao esforço técnico e científico realizado pelas instituições e empresas do setor florestal. Os ciclos de produção tornam-se mais curtos, de 7 a 8 anos, em comparação aos de outros países.

Como por exemplo na fábrica Jari Celulose, localizada no distrito de Monte Dourado, onde utilizam o Eucalipto para produzir cavaco, para fabricar celulose como mostra a fotografia 1:

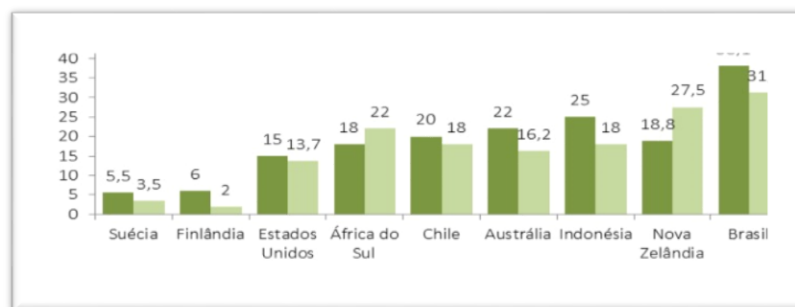
Fotografia 1 – Acervo da biblioteca



Fonte: Autoria Própria

De acordo com o projeto -Iniciativa Para o Uso da Terra – INPUT (2015), relata que plantio de florestas comerciais, como eucalipto e pinus, garante renda extra para o produtor com balanço positivo na emissão de carbono. O mesmo, diz que no Brasil a projeção de plantio é otimista para os próximos anos, devido à demanda dos setores madeireiros, moveleiros, energéticos e de celulose. As plantações energéticas têm um grande potencial como fonte produtora de biomassa para geração de energia. As altas produtividades obtidas em plantações florestais (particularmente do gênero *Eucalyptus*), os custos de bioeletricidade com madeira de reflorestamento podem ser minimizados, tornando o investimento mais atrativo. Assim, aliado ao conceito de plantações energéticas, surge o conceito de plantios de curta rotação produtiva na busca dessa matéria-prima. Nesse caso, a produção de energia concorre diretamente com a produção de celulose e papel, além de alguns tipos de chapa, pois esses segmentos industriais utilizam a mesma biomassa como principal matéria-prima. Assim, os resíduos de biomassa de origem florestal deixaram de ser vistos como "lixo" e passaram a ser tratados como matéria-prima para geração de energia substituindo combustíveis fósseis e redução da emissão de gases de efeito estufa, vantagens sociais, geração de emprego local.

Gráfico 1 – Produção do Eucalipto e do Pinus, no Brasil e em países selecionados



Fonte: Tolmasquim (2016, p. 171).

2.2.2 Cultivo do Eucalipto para geração de energia

Antes voltado à tradicional fabricação de papel e móveis, o cultivo do eucalipto ganha a cada dia um novo apelo a bioeletricidade, em contrapartida como petróleo e ao carvão mineral. Quando o eucalipto é destinado à fabricação de papel e móveis, as árvores podem ser cortadas com quatro anos, pois com essa idade apresentam pouco 'cerne', são toras leves e de baixo poder calorífico - conhecidas pelos 'foguistas' como eucalipto isopor. Quando usadas ainda verdes como lenha, o

consumo dobra gerando prejuízos financeiros e ao meio ambiente, já que aumenta a emissão de gases na atmosfera (KISS, 2012).

De acordo com a - Indústria brasileiras de Árvores - IBÁ. (2015), a produção de celulose branqueada de Eucalipto a matéria prima é o principal gerador de biomassa, cerca de 13% da produção total de madeira. Isto se deve basicamente às características do Eucalipto e a forma de colheita nas florestas, onde máquinas automatizadas fazem o corte e o desgalhamento da árvore. Durante o manuseio, outros resíduos tais como areia terra e cascalhos podem aderir às toras, sendo carregados para a fábrica. O cultivo do Eucalipto é de origem australiana que chegou ao Brasil no início do século passado é a geração de energia, como alternativa renovável ao petróleo e ao carvão mineral. As experiências nesta área são poucas, mas algumas empresas encontraram na energia fornecida pela queima da madeira plantada uma forma de abastecer o mercado europeu. A meta da Europa até 2020 é ter pelo menos 20% de sua matriz vinda de fontes renováveis. O plantio de florestas comerciais, como eucalipto, garante renda extra para o produtor com balanço positivo na emissão de carbono.

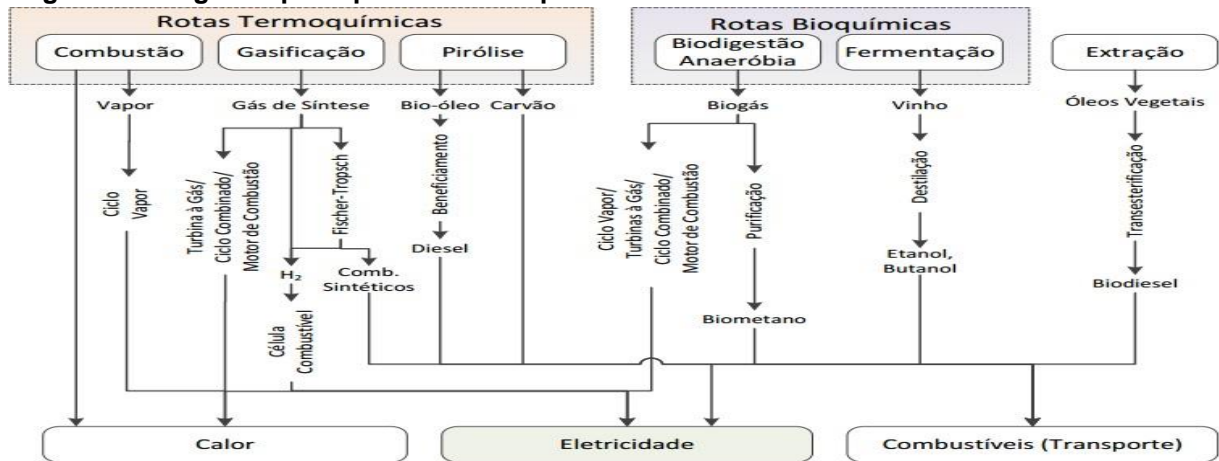
No Brasil, a projeção de plantio é otimista para os próximos anos, devido à demanda dos setores madeireiros, moveleiros, energéticos e de celulose. As plantações energéticas têm um grande potencial como fonte produtora de biomassa para geração de energia (IBÁ, 2015).

2.3 GERAÇÃO DE BIOELETRICIDADE

De acordo com a análise de dados - Ministério de Minas Energias – MME (2007), observa-se vários meios de tecnológicos que usam ciclos termodinâmicos, com variedades de fontes de biomassa e processos de conversão de energia química para obtenção de eletricidade. Tem muita importância essa variedade na averiguação do meio mais eficiente a ser utilizada com a fonte selecionada. Essa forma de eficiência baseia-se no custo x benefício de cada rota. No geral, as mais complexas são mais caras, mas apresentam maior rendimento e as mais simples são mais baratas, mas de menor rendimento. A fonte de biomassa necessita de pré-tratamentos por vezes, como a evaporação ou biodigestão, para se converter em uma fonte de energia mais apropriada ao armazenamento ou à geração de bioeletricidade. Como, p. ex., as fontes de biomassa na forma líquida, como a vinhaça, a lixívia e efluentes

sanitários. Pode ser feita uma comparação entre o ciclo a vapor com turbinas de contrapressão e o ciclo combinado integrado a gaseificação da biomassa, por exemplo. O primeiro é uma tecnologia de estrutura madura cujos equipamentos necessários podem ser oferecidos por muitos fabricantes nacionais. Seus custos não são altos, assim como seu rendimento que também é baixo. O segundo, uma tecnologia mais complexa e inovadora, ainda em fase de desenvolvimento, com altos custos fixos e variáveis, porém alto rendimento também. Figura 2 apresenta um fluxograma simplificado das rotas de aproveitamento da biomassa:

Figura 2 – Diagrama principais rotas de aproveitamento da biomassa



Fonte: Tolmasquim (2016, p. 178).

O Quadro 1 mostra os procedimentos de conversão da biomassa:

Quadro 1 - Áreas de desenvolvimento de competências

Tecnologias de geração termelétrica	Processo	Rendimento kWh/ton. Biomassa
1. Ciclo a vapor com turbinas de contrapressão	A biomassa é queimada de forma direta nas caldeiras e a energia térmica resultante é usada na produção do vapor que vai acionar turbinas, gerando de energia elétrica. (Apenas cogeração)	215 (cogeração)
2. Ciclo a vapor com turbinas de condensação e extração	Semelhante ao processo anterior, mas ao final do processo o vapor é total ou parcialmente condensado e a parcela de vapor necessária ao atendimento dos requisitos mecânicos e térmicos do processo produtivo (Geração pura e cogeração)	340 (cogeração) 530 (geração pura)
3. Ciclo combinado integrado e gaseificação da biomassa	Usa um gás combustível derivado da gaseificação da biomassa. Assim a tecnologia de gaseificação utilizada em maior escala transforma a biomassa .	1.050 (Cogeração) 1.050 (Geração Pura)

Fonte: Zarifian (1999) apud Fleury e Fleury (2004).

2.4 PANORAMA ENERGÉTICO NACIONAL

Com vista ao crescimento da participação da bioeletricidade no cenário energético nacional, o Governo Federal vem promovendo uma série de incentivos, destacando-se os leilões de energia voltadas às fontes alternativas. Desde 2004 a participação da biomassa tem crescido neste segmento, uma vez que as políticas públicas estabelecidas provocaram a diversificação da geração elétrica, a adoção de um mercado competitivo descentralizado e a necessidade da utilização mais consciente da energia (diminuição dos impactos ambientais das fontes energéticas nacionais). Apresentando em destaque o parque gerador a biomassa em operação, em construção e ainda sem início de construção, mas com a outorga pela ANEEL, e a bioeletricidade comercializada em leilões no mercado regulado (TOLMASQUIM, 2016).

2.4.1 Parque Nacional de Biomassa

Segundo Tolmasquim. (2016, p 147):

Recentemente 517 empresas termelétricas de biomassas estão em operação no País, adicionando uma potência instalada de quase 14 GW. A biomassa da cana, essencialmente bagaço, é o principal combustível de 394 termelétricas, com uma potência de aproximadamente 11 GW. Termelétricas à lixívia (solução ou suspensão de materiais residuais de um processo industrial) somam 17 empreendimentos, com 2,2 GW de potência

Os empreendimentos que consomem lenha de florestas energéticas, atualmente estão incluídos na categoria Resíduos Florestais, unido a empreendimentos menores que consomem resíduos da atividade madeireira na forma de cavaco ou serragem. Alguns altos-fornos do setor siderúrgico consomem carvão vegetal juntamente com carvão metalúrgico para reduzir o minério de ferro e utilizam o gás resultante a altas temperaturas para geração elétrica voltada ao autoconsumo (IBÁ, 2015).

No setor de papel e celulose, a potência instalada à base de lixívia, nesse mesmo regime, é apenas um terço do total. Esse fato, juntamente com a ausência de empreendimentos em leilões de energia do mercado regulado, indica que esse segmento tem como destino majoritário da sua bioeletricidade o autoconsumo, e que há interesse pelo mercado livre quando os preços de comercialização são atrativos.

Em relação aos resíduos florestais, 60% da capacidade instalada está nesse mesmo regime. Na tabela 2 apresenta a maioria dos empreendimentos que estão cadastradas no BIG - Banco de Informações de Geração como Produtores Independente de Energia (PIE), o que significa que podem comercializar energia. Apresenta a capacidade instalada em operação por fonte de biomassa por regime do empreendimento

Tabela 2 - Usinas termelétricas a biomassa e potência instalada (kW), em operação no país, em janeiro de 2016

Fonte		Autoprodutor	Produtor Independente	Usinas sujeitas a Registro	Total
Bagaço*	Unidade Kw	71 1.286.122	206 9.283.709	116 390.910	394 10.961.941
Lixívia	Unidade Kw	10 1.512.441	5 709.109	2 8.100	17 2.229.650
Resíduos Florestais	Unidade Kw	8 147.380	11 166.120	30 69.795	49 383.295
Gás de Alto-Forno a biomassa	Unidade Kw	3 88.905	1 10.000	5 16.400	9 115.305
Biogás- RU	Unidade Kw		3 52.926	9 25.305	12 78.231
Biogás- RA	Unidade Kw			10 1.924	10 1.924
Biogás-AGR	Unidade Kw			2 1.722	2 1.722
Capim Elefante	Unidade Kw		2 64.000	1 1.700	3 65.700
Carvão Vegetal	Unidade Kw	1 7.200	3 30.900	3 13.297	7 51.397
Casca de Arroz	Unidade Kw	1 5.800	3 20.525	8 19.008	12 45.333
Óleos vegetais	Unidade Kw			2 4.350	2 4.350
Total geral	Unidade Kw	94 3.047.848	234 10.337.289	118 552.512	517 13.938.849

Fonte: Adaptada SCG/ANEEL (2017).

De acordo com a – Agência Nacional de Energia Elétrica – ANNEEL (2017), o Autoprodutor de energia elétrica é a pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebem concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo, Produtor Independente de Energia Elétrica é a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização

do poder concedente para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco e as Usinas Sujeitas a Registro são aquelas com capacidade reduzida (até 1MW para hidráulicas e até 5MW para as demais fontes). A usina pode gerar energia para consumo próprio ou pode vender no mercado livre, conforme seu interesse e possibilidade.

2.4.2 Legislações para Sistemas Isolados

De acordo com a ELETROBRÁS. (2015) A Lei nº 9.074/1995 celebra a criação de um ambiente facilitador, a configuração de novos agentes no mercado brasileiro de energia elétrica e, por consequência, a entrada de novas tecnologias e aproveitamento de fontes renováveis de energia.

Em seu art. 11 e parágrafo único, assim encontra-se redigido:

Art. 11. Considera-se produtor independente de energia elétrica a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização do poder concedente, para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco.

Parágrafo único. O Produtor Independente de energia elétrica estará sujeito às regras de comercialização regulada ou livre, atendido ao disposto nesta Lei, na legislação em vigor e no contrato de concessão ou no ato de autorização, sendo-lhe assegurado o direito de acesso à rede das concessionárias e permissionárias do serviço público de distribuição e das concessionárias do serviço público de transmissão.

Infere-se, pois, que no dispositivo produtor independente de energia é a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização do poder concedente, para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco.

O Decreto nº 2003/1996, que regulamenta a referida lei, fixa regras que dá forma à figura do Produtor Independente de Energia, diferenciando este de um novo ator denominado Autoprodutor de Energia Elétrica, assim definido em lei, conforme leitura do inciso II do art. 2, in verbis:

Art. 2º Para fins do disposto neste Decreto, considera-se:

I - Produtor Independente de Energia Elétrica, a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco;

II - Autoprodutor de Energia Elétrica, a pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo. ”

Por força deste decreto, “objetivando a garantia da utilização e a comercialização da energia produzida”, tanto ao Produtor Independente de Energia quanto o Autoprodutor passaram a ter garantido “o livre acesso aos sistemas de transmissão e distribuição de concessionários ou permissionários de serviço público de energia elétrica, mediante o ressarcimento do custo de transporte envolvido”.

O mesmo Decreto, em seu artigo 23, define quais os possíveis clientes a terem seu abastecimento de energia promovido por um Produtor Independente de Energia, conforme reprodução abaixo:

Art. 23. O produtor independente poderá comercializar a potência e/ou energia com: I - Concessionário ou permissionário de serviço público de energia elétrica;

II - Consumidores de energia elétrica nas condições estabelecidas nos artigos 15 e 16 da Lei nº 9.074, de 1995;

III - consumidores de energia elétrica integrantes de complexo industrial ou comercial, aos quais forneça vapor ou outro insumo oriundo de processo de cogeração;

IV - Conjunto de consumidores de energia elétrica, independentemente de tensão e carga, nas condições previamente ajustadas com o concessionário local de distribuição;

V - Qualquer consumidor que demonstre ao poder concedente não ter o concessionário local lhe assegurado o fornecimento no prazo de até 180 dias, contado da respectiva solicitação.

Parágrafo único. A comercialização de energia elétrica nas hipóteses dos incisos I, IV e V deste artigo deverá ser feita a preços sujeitos aos critérios gerais fixados pelo poder concedente. ”

Os artigos 15 e 16 da Lei nº 9.074/1995 tratam da regulamentação das condições necessárias para que um consumidor possa ser considerado “consumidor livre”.

2.4.3 Isolados Leilão de Energia a Partir do Uso da Biomassa

O presente tópico apresenta didaticamente como participar do leilão para a venda de energia. De acordo com EPE (2016), se a indústria for de propriedade, total ou parcialmente, do empreendedor, deverá ser apresentado documento comprobatório (ex. Contrato Social da empresa). Caso a biomassa utilizada na

indústria seja proveniente de produção própria, deverá ser apresentada a respectiva comprovação do direito de usar ou dispor dos terrenos associados. Caso o empreendedor adquira o resíduo de terceiros, deverá ser apresentado Contrato ou Termo de Compromisso de aquisição do resíduo nos mesmos moldes da biomassa nova. Deverá ser igualmente apresentado o Contrato ou Termo de Ministério de Minas e Energia Instruções para Elaboração e Apresentação de Projetos Alternativos aos Projetos de Referência, Compromisso entre a indústria e a área onde a biomassa é produzida, de forma que seja possível rastrear a origem do resíduo adquirido pelo empreendedor. No caso de empreendimentos que contemplem resíduos de biomassa, é importante atentar para as licenças ou autorizações ambientais vigentes da área de produção da biomassa e da indústria geradora do resíduo.

Além do emprego direto da biomassa ou resíduo, esta pode ser utilizada para produzir biocombustível. O biocombustível, tal como é definido no inciso XXIV do art. 6º da Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997:

Art. É uma substância derivada de biomassa renovável, tal como biodiesel, etanol e outras substâncias estabelecidas em regulamento da ANP, que pode ser empregada diretamente ou mediante alterações em motores a combustão interna ou para outro tipo de geração de energia, podendo substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil". Assim, para a utilização de biocombustíveis na geração de energia elétrica, além da necessidade de se comprovar a disponibilidade da matéria-prima (biomassa), é necessário comprovar a capacidade de produção do biocombustível em questão. Para tanto, aplicam-se as mesmas necessidades de comprovação que no caso da biomassa (Plano de Manejo, Planejamento da Produção e outros), além de um Relatório Técnico da planta de produção de biocombustível, atestando seu funcionamento e capacidade de produção.

Caso o empreendimento se consagre vencedor do Leilão, deverá apresentar a autorização expedida pelo poder concedente em virtude do cumprimento dos requisitos expostos na Resolução Normativa ANEEL nº 390/2009.

A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCE) mostra que através dos leilões de energia que os empreendimentos geradores comercializam a energia elétrica junto às distribuidoras. Esse é o chamado mercado regulado, onde o preço da energia, pago aos geradores, é definido nos leilões e contratos de fornecimento de longo prazo são estabelecidos. Dois tipos de contrato são realizados, por disponibilidade e por quantidade, em função do risco de não geração por falta de combustível.

Os Leilões de Fontes Alternativas (LFA), foram criados para incentivar a diversificação da matriz de energia elétrica, tendo como objetivo o ajuste para complementar a carga de energia necessária ao atendimento do mercado consumidor. A energia adquirida pelas distribuidoras é revendida para os consumidores finais. Se a indústria for de propriedade, total ou parcial, do empreendedor, deverá ser apresentado documento comprobatório deste fato (ex. Contrato Social da indústria). Caso a biomassa utilizada na indústria seja proveniente de produção própria, deverá ser apresentada a respectiva comprovação do direito de usar ou dispor dos terrenos associados.

2.5 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA LEILÃO DE ENERGIA

Caracterização é a determinação do estudo do comportamento da biomassa visando à aplicação em processos térmicos de conversão para geração de energia.

2.5.1 Estrutura da Biomassa

A composição elementar da madeira varia pouco com a espécie, admissível que ela contenha, em base seca, cerca de 50% de carbono, 6% de hidrogênio, 44% de oxigênio e entre 0,1 e 0,5% de nitrogênio (BRITO e BARRICHELO, 1982), sem considerar traços de outros elementos. Independentemente de diferenças genéticas ou da idade, essa composição se mantém aproximadamente constante. Esses elementos químicos se combinam para formar os polímeros celulose, hemicelulose e lignina. Assim, a celulose, hemicelulose e lignina são os principais componentes da biomassa vegetal, sendo que o teor de celulose varia de 40 a 50%, a hemicelulose de 20 a 40% e o teor de lignina de 25, razão pela qual a biomassa vegetal também é considerada como resíduo ligno - celulósico (MARTINS, 2009).

2.5.2 Teor de Umidade

O teor de umidade é a definição de como a massa de água contida na biomassa é expressada tanto na base úmida (bu) quanto na base seca (bs) (GONÇALO et al., 2008). Portanto, na apresentação de resultados, é necessário expressar em que base os resultados são apresentados.

Base úmida é calculada por:

$$\omega_{bu} = \frac{m_{H2O}}{m_{H2O} + m_{bio\ seca}} (\%bu) \quad (1)$$

Onde:

m_{H2O} : massa de água;

ω : base úmida;

bs : base seca.

m_{bio} : massa de biomassa seca;

$\%bu$: base úmida.

Base seca calculada por:

$$\omega_{bu} = \frac{m_{H2O}}{m_{bio\ seca}} (\%bs) \quad (2)$$

Onde:

ω : Teor de umidade;

bs : base seca

O máximo de umidade que uma madeira pode ter para ser queimada no forno está em torno de 65% a 70% em base úmida. Para um teor de umidade demasiadamente elevado reduz o valor do calor de combustão, da temperatura de câmara de queima e da temperatura dos gases de escape, tendo como consequência a formação de gases não combustíveis, que em condições diferentes seriam queimados e produziram energia. Uma exigência indispensável para queima em instalações é que a madeira possua teores de umidade abaixo de 25 % (QUIRINO et al., 2004). O quadro 2 mostra que a redução do teor de umidade da biomassa, para madeira seca por processos térmicos, alcança valores inferiores a 8%, iniciando o processo de decomposição da estrutura molecular da madeira. Essa água faz parte da composição da estrutura macro da madeira e está ligada às paredes de celulose. A perda dessa água causa tensão na estrutura molecular e se manifesta macroscopicamente pela mudança da sua coloração para preto. (QUIRINO et al., 2004).

Quadro 2 - Teor de umidade das biomassas depende do seu histórico.

Toras de madeira deixadas ao tempo possuem seu teor de umidade entre 40–55% bu
Madeira seca por processos térmicos alcança valores de 8–12% bu.
Originária de produção agrícola possui teor de umidade entre 15–30% bu.

Fonte: Adaptada indústria brasileira de árvores – IBA (2015).

2.5.3 Massa Específica

A massa específica de uma biomassa é dividida em massa específica e massa específica aparente (GONÇALO et al., 2008). É a relação entre a massa contínua de biomassa pelo volume que essa massa contínua ocupa, ou seja, pela seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{mbio \text{ Kg}}{V \text{ m}^3} \quad (3)$$

Onde:

ρ : massa específica;

$mbio$: massa da biomassa;

V : volume que essa biomassa ocupa.

O conceito de massa específica é aplicável somente se a matéria é contínua, ou seja, no volume ocupado não existem descontinuidades. Por exemplo: Uma tábua, um tronco de árvore, uma casca de arroz e uma casca de cacau. Esse conceito de massa específica não se aplica a resíduos, pois nesse caso existem vários pedaços do mesmo material ocupando o volume. É mais útil o conceito de massa específica aparente (QUIRINO et al., 2004). Massa específica aparente (ρ_{ap}) é definida como a massa total de biomassa armazenada num volume, dividido pelo valor desse volume, ou seja:

$$\rho_{ap} = \frac{mbio \text{ granel Kg}}{V \text{ m}^3} \quad (4)$$

Onde:

$mbio$: granel é a massa do montante de biomassa colocada aleatoriamente até encher o volume;

V : volume

Formalmente, a massa específica a granel é determinada através da utilização da norma NBR 6922 (Ensaio Físico para Determinação da Massa Específica), em que se quantifica a massa (medindo o peso) correspondente a um volume de 0,216 m³ de biomassa, ou seja.

$$\rho_{ap} = \frac{mbio\ granel\ Kg}{0,216\ m^3} \quad (5)$$

A massa específica aparente será sempre menor que a massa específica, pois os fragmentos amontoados deixam espaços vazios entre si, reduzindo a massa contida no volume. De maneira geral, a massa específica aparente de resíduos de madeira é em torno de ¼ da massa específica da madeira, aumentando esse valor com a diminuição da granulométrica do resíduo como no caso da casca de arroz (GONÇALO et al., 2008).

2.5.4 Densidade

Similar às massas específicas, a densidade (d) é definida como a razão entre a massa específica da biomassa pela massa específica da água (ρ_{H2O}) na condição padrão (25°C e 100 kPa), ou seja, 1000 kg/m³.

$$d = \frac{\rho}{\rho_{H2O}} \quad (6)$$

Densidade aparente (d_{ap}) é definida de maneira similar, mas utilizando o conceito de massa específica aparente, ou seja:

$$d_{ap} = \frac{\rho_{ap}}{\rho_{H2O}} \quad (7)$$

A densidade básica é considerada a propriedade física mais importante da madeira, pois guarda grandes relações com outras propriedades e com o uso da madeira, além disso, ela define a logística a ser tratada: o transporte e o armazenamento. A densidade básica da madeira é influenciada por vários fatores e varia significativamente em função da idade, procedência, local de origem,

espaçamento, em função da taxa de crescimento, entre gêneros e espécies, e até mesmo entre árvores da mesma espécie (GONÇALO et al, 2008).

2.5.5 Poder Calorífico

O poder calorífico divide-se em superior e inferior. O poder calorífico superior é aquele em que a combustão efetua a um volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado. O poder calorífico inferior é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água. O processo de combustão a energia armazenada na biomassa é blindado e aproveitado para a constituição do combustível para geração de calor, vapor ou eletricidade. A quantidade de energia liberada pela madeira, por unidade de massa na combustão é conhecida como poder calorífico. Essa energia pode ser expressa como poder calorífico superior ou poder calorífico inferior (GONÇALO et al., 2008). A energia gerada pela biomassa florestal depende de seu poder calorífico e do seu teor de umidade. O poder calorífico de um combustível é a quantidade de energia liberada durante a combustão completa por unidade de massa do combustível a pressão constante. No Sistema Internacional de Unidade (SI), o poder calorífico é expresso em joules por grama (J/g) ou quilo joules por quilograma (kJ/kg). Porém, a unidade mais usada para combustíveis sólidos é calorias por grama (cal/g), ou quilocalorias por quilogramas (kcal/kg), e para combustíveis gasosos é calorias por metro cúbico (cal/m³), (GONÇALO et al., 2008).

O poder calorífico da madeira pode ser determinado, teoricamente, a partir de sua composição química elementar, pela aplicação da seguinte equação: $PCS = 81.C + 340. (H - O/8)$, onde: C, H e O são teores de carbono, hidrogênio e oxigênio em percentagem (PEREIRA; RESENDE; SAKAI, 2013).

O teor de umidade é um fator que exerce elevada influência sobre o uso da madeira para energia. A presença de água representa poder calorífico negativo, porque parte da energia liberada é gasta na vaporização da água, e se o teor de umidade variar muito pode dificultar o processo de combustão, havendo necessidade de constantes ajustes no sistema, como estudou Brito. (2004).

A madeira é combustível que apresenta queima com baixa quantidade de resíduo e, apesar de ter poder calorífico bem menor, oferece algumas vantagens sobre combustíveis como carvão e óleo. O conteúdo de cinzas da madeira é muito baixo, menos de 3% do seu peso seco, sendo o do carvão 3 a 5 vezes maior.

A quantidade de enxofre na madeira é desprezível e, portanto, não existe a formação dos altamente poluidores compostos de enxofre, que constituem em sério problema quando se queima o carvão ou o óleo. Os maiores problemas da madeira com relação à poluição são as partículas de carvão e fumaça (PEREIRA; RESENDE; SAKAI, 2015).

A Tabela 3, apresenta os valores do poder calorífico líquido (PCLu) da madeira de Eucalyptus, considerando-se o PCS de 4600 Kcal/kg, energia a ser consumida para evaporação da água de composição química da madeira de 324 Kcal/kg e diferentes valores de teores de umidade da madeira. Poder calorífico líquido (PCLu) esperada para madeira de Eucalyptus, considerando diferentes teores de umidade e poder calorífico inferior (PCI) inicial de 4276 kcal/kg (GONÇALO, et al 2008).

Tabela 3 - Valores do poder calorífico líquido (PCLu) da madeira de Eucalyptus

Teor de Umidade "u" (%)	PCLu (MJ/ Kg)	PCLu (Kcal/ kg)	Energia útil (%)
10	15,9	3788,0	89
20	13,8	3301,0	77
30	11,8	2813,0	69
40	9,7	2325,0	43
50	7,7	1838,0	89

Fonte :GONÇALO, et al (2008)

Na Tabela 4 apresenta valores de poder calorífico líquido (PCLu) de resíduos de uma indústria madeireira e a participação de outros resíduos sólidos de biomassa de origem vegetal aplicados como combustíveis com seus respectivos teores de umidade (GONÇALO, et al 2008).

Tabela 4 - Poder calorífico líquido (PCLu) de resíduos de madeira da fábrica e outros resíduos sólidos de biomassa de origem vegetal

Resíduo	Umidade (%)	PCLu (MJ/ Kg)	PCLu (Kcal/ Kg)
Serragem	30	10,0	2388
Casca de Eucaliptos	30	8,4	3511
Sobra de carpintaria	20	11,7	2794
Madeira triturado	10	13,6	3248
Casca	50	7,9	1887

Fonte: GONÇALO, et al (2008).

O poder calorífico das cascas de madeira é influenciado logicamente pelo seu teor de umidade que, por sua vez, depende da quantidade de água utilizada durante o processo de descascamento (IBÁ, 2015).

Na tabela 5 o poder calorífico superior (PCS), inferior (PCI) e líquido (PCLU) de cavacos e cascas de Eucalyptus de uma empresa

Tabela 5 - Poder calorífico superior (PCS), inferior (PCI) e líquido (PCLu) de cavacos e cascas de Eucalyptus.

BIOMASSA	PCS MJ/K G	PCS KCAL/K G	PCI MJ/K G (%)	PCI KCAL/K G (%)	UMIDADE	PCLU MJ/K G	PCLU KCAL/ G
Cascas de Eucalipto	15,3	3656,8	14,3	3417,8	53	5,2	1242,8
Cavaco de Eucalipto	18,4	4397,7	17,3	4134,8	44	8,5	2031,5

Fonte: PEREIRA (2017).

Para uma central de combustão ser planejada, é preciso conhecer o PCI do combustível. O que só pode ser determinado se for conhecido o PCS do combustível e a relação entre as quantidades de átomos de hidrogênio-carbono (h/c) presentes no combustível. Dependendo do teor de carbono no combustível e, com menor influência, do teor de hidrogênio. Para a determinação do PCS, métodos são possíveis para identificação, um deles, é mediante análise elementar.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

Jari Celulose Papel e embalagens S/A (Jari Florestal e Agropecuária) encontra-se localizada às margens do Rio Jari no Município de Almeirim- PA, cuja planta industrial prevê a produção de celulose e outros produtos, que teve suas atividades iniciadas em 1967. Foi idealizada pelo bilionário norte- americano Daniel Keith Ludwig e seu sócio brasileiro Joaquim Nunes Almeida .

Figura 2 – Unidade para produção de energia, fábrica da Jari celulose em 1967



Fonte: site <http://www.relatorioweb.com.br>.

A unidade de energia produzia, naquele período, 55 megawatts e era alimentada por óleo BPF (um óleo combustível derivado de petróleo, de baixo ponto de fluidez) a base de petróleo, com opção para consumo de cavacos de madeira. Além das instalações, toda a projeção ocupava uma área de 16 mil km². Para garantir maior proximidade e comodidade, foi construída uma verdadeira cidade para a moradia dos trabalhadores, além de hospital e escolas na sede. Em 2000 passou a ser controlado pelo Grupo Orsa, de modo que a Jari Celulose não somente tornou-se economicamente viável, como também se mostrou sustentável, recebendo certificação em 2004 pelo Forest Stewardship Council. 2017. Disponível em: <https://www.conhecimentogeral.inf.br/projeto_jari/> Acesso em: 21 mar 2017.

3.1.1 Fábrica de Celulose, Papel e Embalagens de Eucalyptus

A fábrica da Jari Celulose, situada em Munguba (Almeirim, PA), tem disposição de produzir 245 mil toneladas de celulose solúvel. A equipe é formada por 250 colaboradores atuando no administrativo e na produção de celulose, com planos de expansão para 400 outros colaboradores. Tem na produção têxtil mercado por excelência e planos de expansão preveem a produção de uma celulose cada vez mais pura, que poderá ser empregada na indústria alimentícia e farmacêutica 2017. Disponível em: <<https://www.grupojari.com.br>> Acesso em: 8 fev 2017.

3.1.2 Setor Florestal

A empresa possui 120 mil hectares certificados pelo FSC® (Conselho Brasileiro de Manejo Florestal, notícias, benefícios e certificações) para manejo de florestas plantadas, bem como certificação total de sua cadeia produtiva. Seu principal mercado é o asiático. As áreas de operação da Jari estão distribuídas entre os estados do Pará (55%) e Amapá (45%). Atualmente são 1,2 milhão de hectares e, desse total, são utilizados 128.516 mil hectares com plantio de eucalipto, correspondendo a 20% da área total. Essa ocupação aponta para uma possibilidade de manutenção e ampliação da produção de celulose, sem maiores impactos ambientais, uma vez que a expansão de áreas de cultivo não corresponde a avanços sobre a área de plantio em regiões de vegetação nativa. Foram obtidos bons resultados com as pesquisas de melhoramento genético com o gênero Eucalyptus, também na fertilização e manejo de solo, mecanização e proteção florestal. Os resultados são significativos quando se avalia o compromisso da Jari a longo prazo, na utilização da base de recursos florestais em todos os ecossistemas envolvidos 2017. Disponível em: <<https://www.grupojari.com.br>> Acesso em: 8 fev 2017.

A Jari Celulose ocupa uma área total de 1.265.096,5 hectares entre Pará e Amapá. Considerando a amplitude da região, a participação percentual nas áreas de operação e áreas de cultivo, em relação ao cômputo total de florestas nativas, é relativamente baixa.

3.1.3 Transporte e operação Florestal

O transporte de madeira até a fábrica é feito por via rodoferroviária e rodoviária. É oportuno registrar que a ferroviária é própria. As distâncias médias de transporte rodoferroviário de madeira não é superior a 45 km, o que garante vantagens significativas ao empreendimento da Jari.

O desenvolvimento operacional é fundamental na operação florestal, pois busca constantes melhorias para a produção, gerando reduções de custo e garantindo o melhor retorno possível. Um exemplo de melhoria é a utilização de mecanismos simples no preparo do solo, como a recente implantação do “limpa trilho”, que permite o melhor desenvolvimento da muda e a redução das atividades de limpeza, otimizando o custo do manejo e melhorando o desenvolvimento da muda no processo produtivo. Além de alternativas no sistema de manejo, o desenvolvimento operacional é responsável pelo planejamento e gestão das atividades operacionais, controlando o desenvolvimento da floresta 2017. Disponível em: <<https://www.grupojari.com.br>> Acesso em: 8 fev 2017.).

3.1.4 Resumo do Processo Industrial

Após o transporte das toras, semi descascadas, estas são destinadas ao pátio de madeira onde são convertidos em cavacos. O processo de transformação em cavacos acontece no momento em que as toras são todas descascadas por atrito, como mostra a Fotografia 2, onde são lavadas e picadas, tornando-se cavacos, sendo estocados em pilhas, conforme mostrado na Fotografia 3. A Fotografia 4 ilustra os cavacos selecionados e classificados por espessura e tamanho, transportados por esteira para cozimento na fabricação da celulose. Em outra esteira o cavaco é destinado para a “área de biomassa” junto com galhos, raízes entre outras biomassas matérias orgânicas, sendo reservadas, após ocorrer a queima nas caldeiras de combustão.

Fotografia 2 – Descasque das toras por atrito



Fonte: Autoria Própria

Fotografia 3 – Os cavacos produzidos são estocados em pilhas



Fonte: Autoria Própria

Fotografia 4– Cavaco Picado



Fonte: Autoria Própria

3.2 PLANO ANUAL DE OPERAÇÃO

Os Segundo a CELPA, concessionária responsável pela distribuição de energia em 28 Sistemas Isolados, puramente térmicos, sendo que em 18 deles, a operação e manutenção é realizada pela GUASCOR (Especializada em Usinas Elétricas em Belém – Pará). No decorrer de 2015, os sistemas de Monte Dourado e São Miguel, no Pará até então de responsabilidade da JARI CELULOSE, passaram a ser operados pela CELPA. A JARI CELULOSE é responsável pelo atendimento ao Sistema de Munguba. A carga própria da CELPA prevista totaliza 49 MW médio e 80,3 MW de demanda. Uma demanda reprimida que a Celpa não consegue atender e que,

por isso carece de energia para atender ao consumo. ARI CELULOSE e PETROBRAS DISTRIBUIDORA/ALCOA a carga própria prevista totaliza, respectivamente, 0,1 MW médio e 5,7 MW médio, correspondendo a 0,3 MW e 9,0 MW de demanda. O parque gerador cadastrado pela JARI CELULOSE é bem superior ao total da demanda. Vale destacar em registro, a existência da turbina a vapor de 46 MW de potência efetiva, que gera energia para a produção de celulose na fábrica da empresa e também fornece para o atendimento de Munguba (ANEEL,2017).

3.3 DADOS COLETADOS DA CENTRAL ELÉTRICA DA UNIDADE FABRIL

De acordo com a coleta de dados, a central elétrica da Fábrica da Jari Celulose é autossuficiente e conta com um sistema de cogeração (permite a produção simultânea de energia elétrica, térmica e de vapor).

Com duas Caldeiras de Biomassa, geram 140 ton. /h de vapor cada uma de vapor e outra caldeira de Recuperação Química que gera 200 ton. /h de vapor a uma temperatura de 440°C (constituindo 3 caldeiras na fábrica) são alimentadas por um turbo-gerador da marca Toshiba, com capacidades totais nominais de 55 MW. Atualmente o consumo de energia da Fábrica em produção é de 33 MW/h, em média. A geração de energia depende do consumo de toda planta industrial, esse controle é feito automaticamente, pois não tem como armazenar energia elétrica em caso de excedente.

3.3.1 Caldeira de Recuperação Química da Jari Celulose

A Caldeira de Recuperação Química da Jari Celulose tem capacidade de gerar até 200 toneladas/hora de vapor à temperatura de 440°C e pressão de 57 kgf/cm². G, garantindo o suprimento de vapor para todos os processos da fábrica, com capacidade de geração de 140 t/h. J.

A Caldeira de Recuperação Química é, ao mesmo tempo, um reator químico e um gerador de vapor, fornecendo vapor para fábrica e para o turbo-gerador. O licor negro concentrado é composto por materiais orgânicos (vindos da madeira do Eucalipto) e inorgânicos (produtos químicos utilizados no cozimento) injetado na fornalha por meio de bicos queimadores. A matéria orgânica é queimada, gerando calor para produção de vapor. A fração inorgânica é extraída do fundo da câmara de

combustão como sais (SMELT, que é um composto basicamente de sulfeto de sódio e carbonato de sódio).

3.3.2 Caldeira de Biomassa

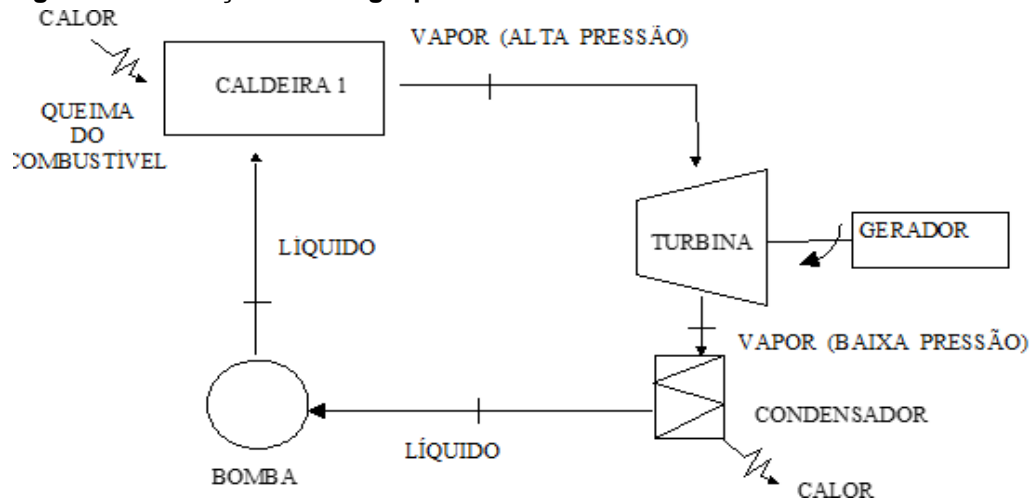
As duas Caldeiras de Biomassa ou Caldeiras de Força da Jari Celulose, onde foi realizada uma das visitas técnicas, são do tipo aquatubulares (são classificadas pela vaporização da água que circula dentro dos tubos), tem a função principal a geração de vapor para a produção de energia térmica na Fábrica da Jari Celulose. Para isso, utilizando como seu principal combustível a biomassa.

A biomassa é uma mistura de resíduos de madeira que foram rejeitados para a produção de celulose e resíduos de serrarias provenientes de fornecedores (doação e vendas).

A Caldeira 1 e a 2 de Biomassa da Jari Celulose tem capacidade, cada uma, de gerar 140 toneladas/hora de vapor à temperatura de 440°C e pressão de 57 kgf/cm². Para gerar 1 MW/h de energia, em uma caldeira, são necessárias 9,5 toneladas de biomassa. O sistema de combustão desta caldeira funciona por meio da queima, a uma temperatura de 150°C, possibilitando a queima dos seguintes combustíveis: cavaco de Eucalipto, resíduos de picagem de Eucalipto, biomassa de Pinus e Eucalipto, resíduos do processo de celulose (nós e palitos de cavacos), moinhas, serrarias, caroços de açaí, entre outros. O vapor nas caldeiras 1 e 2 é de alta pressão (“vapor direto”), utilizado para movimentar a turbina de processo (picador e desfibrador) para geração de energia. Em seguida o vapor de baixa pressão, dessas turbinas (“vapor de escape”) é enviado por meio de uma rede de distribuição a diferentes equipamentos do processo de fabricação da celulose e, uma fração do vapor de escape, retorna para o desareador (processo se realiza com o fim de tirar o ar do produto antes do tratamento térmico) térmico. No momento da visitação, a pressão da caldeira 1 estava acima do permitido, momento em que foi acionada a válvula de segurança para a saída do vapor. Antes de ser utilizado nos equipamentos da fábrica de celulose papel e embalagens, o vapor de escape passa por dessuperaquecedores (o vapor é superaquecido e distribuído em alta pressão por motivos de eficiência) para a redução da temperatura do vapor por meio da adição de água procedente do desaerador. Na destilaria, todo vapor de escape é consumido no processo de produção da celulose. Na fábrica, o vapor de escape é consumido nos

pré-evaporadores, gerando vapor vegetal que se condensa e retorna para o desaerador térmico. O consumo específico por caldeira é definido como a relação entre a vazão mássica de vapor produzido e a vazão mássica de biomassa consumida pela caldeira. O esquema da figura 3 mostra o funcionamento deste processo.

Figura 3 – Produção de energia por combustão



Fonte: Autoria Própria

3.4 ASPECTOS BÁSICOS DA CENTRAL TERMELÉTRICA

3.4.1 Geração termelétrica

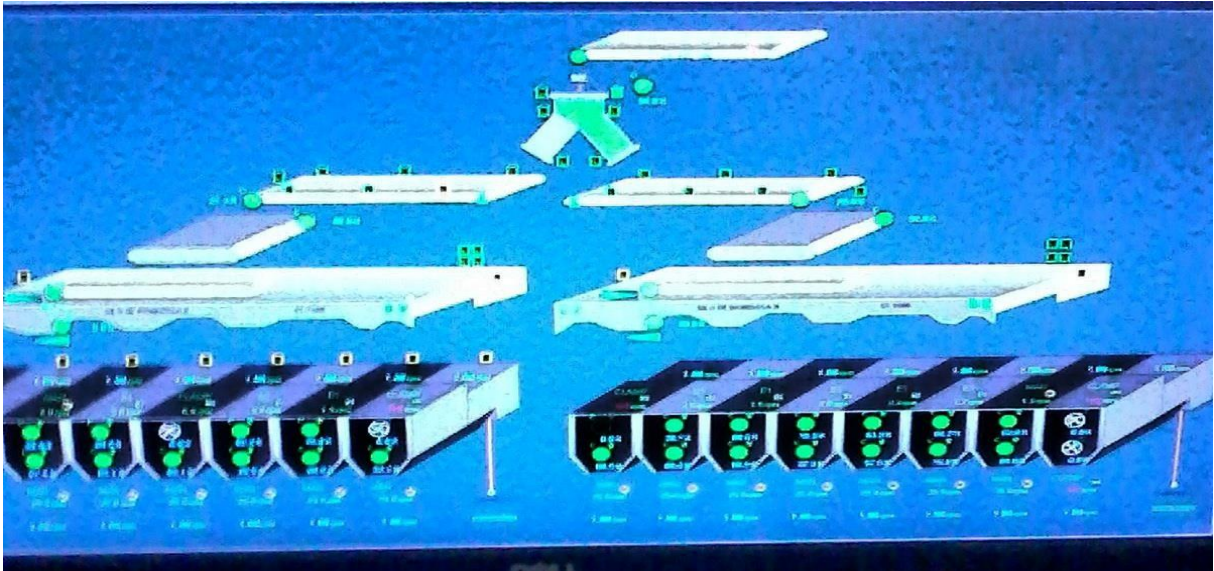
O processo fundamental de funcionamento da central termelétrica da Jari Celulose baseia-se na conversão de energia térmica em energia mecânica e, esta, em energia elétrica. A conversão da energia térmica em mecânica se dá através do uso de um fluido que produz, em seu processo de expansão, trabalho em máquina (turbina) térmica. O acionamento mecânico do gerador elétrico acoplado ao eixo da máquina permite a conversão de energia mecânica em elétrica. A produção da energia térmica se dá pela transformação da energia química dos combustíveis, através do processo da combustão e recuperação. Centrais, cuja geração é baseada na combustão, são conhecidas como termelétricas.

3.4.1 Funcionamento do Sistema de Controle e Automação

O Software de supervisão e gerenciamento, que se comunica com todos os controladores de processo da Jari Celulose, envia e coleta dados em tempo real,

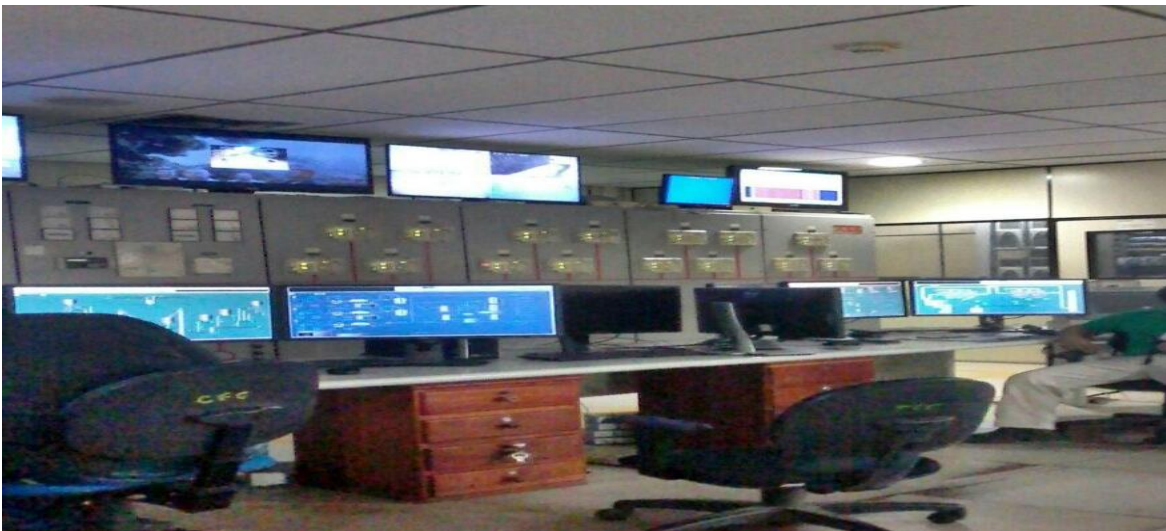
com capacidade de armazenamento desses dados para a geração de gráficos de tendências e relatórios de produtividade. As informações processadas pelo software podem ser utilizadas no gerenciamento de produção de vapor, pois, além de comunicar-se com os controladores de processos instalados nos geradores de vapor, também pode ser interligado em rede com os computadores do sistema de gestão empresarial, que, por sua vez, programa a produção da indústria, fornecendo todos os subsídios para melhorar a eficiência na produção e utilização do vapor. A fotografia 5, ilustra o gerenciamento de controle de entrada da biomassa nas caldeiras 1 e 2, vias processo de combustão. A parte verde da ilustração corresponde à biomassa alimentando a caldeira 2.

Fotografia 5– Software de gerenciamento da biomassa da Jari Celulose .



Fonte: Autoria Própria

Fotografia 6 – Sala de controle da Jari Celulose.



Fonte: Autoria Própria

4 RESULTADOS

4.1 BENEFÍCIOS DO USO DA BIOMASSA

O uso da biomassa para geração de energia elétrica apresenta vantagens para o sistema elétrico, tanto em termos técnico-operacionais quanto em termos socioambientais. Nos aspectos socioambientais, as vantagens do uso da biomassa decorrem do fato de ser uma energia renovável e contribuir para a mitigação das preocupantes mudanças climáticas. A queima da biomassa pode gerar emissões de CO₂ na atmosfera, mas entende-se que o carbono emitido é o mesmo que foi absorvido pela planta no processo de fotossíntese e, assim, o balanço é nulo.

Um destaque importante do benefício da biomassa é a geração de empregos e renda ao longo de toda a cadeia de sua produção, de qualquer tipo. Tais empregos promovem o aumento dos níveis de consumo e qualidade de vida, inclusão social, geração de mais atividades econômicas, fortalecimento da fábrica.

4.2 IMPACTO ECONÔMICO

O uso da biomassa florestal tem a vantagem de gerar mais emprego do que os derivados do petróleo, tanto no campo quanto nas indústrias, motivo pelo qual é de grande importância social. A criação de novos postos de trabalho não somente impacta na economia, local e regional, como tem importante função social, que se traduz na fixação do trabalhador na localidade onde é idealizado e implantado o parque industrial que tem na biomassa a matéria prima para a geração de energia. A Jari Celulose emprega pessoas do município do Jari-AP e em Almeirim. Nesse quesito o setor florestal tem importância especial, uma vez que se expande para regiões de menor desenvolvimento econômico e social.

4.3 IMPACTO NO CICLO DE CARBONO – EMISSÕES EVITADAS

Atualmente a Jari Celulose utiliza a biomassa como seu principal combustível. Tal substituição afeta, sobretudo, as emissões dos gases de efeito estufa. Dentre os principais gases de efeito estufa, os mais conhecidos são o CO₂, CH₄ e NO_x. A atividade industrial em nossa sociedade, com o uso intensivo de

combustíveis fósseis, resulta no aumento das emissões e conseqüentemente em concentrações atmosféricas dos gases acima citados, principalmente o CO₂. O efeito estufa tem como conseqüência direta o aumento da temperatura da Terra, provocando mudanças climáticas. Portanto, a substituição de combustíveis fósseis por biomassa em termelétricas resulta em um impacto ambiental positivo, conhecido como Emissões Evitadas de Carbono. Ou seja, ao utilizar biomassa na Fábrica da Jari Celulose, as emissões dos gases de efeito estufa tornam-se mínimas (levando em conta todo o ciclo de vida da biomassa). Comparativamente às emissões de uma termelétrica a diesel, um kWh gerado na usina termelétrica a biomassa deixa de contabilizar cerca de 1,02 kg de CO₂. Isso significa que 3000 kg de biomassa úmida utilizada para geração de energia elétrica correspondem a 1000 kg de emissões evitadas de CO₂.

4.4 IMPACTOS SOCIAMBIENTAL

O Um dos principais benefícios socioambientais do uso da biomassa como fonte de energia reside no fato da maior parte dos combustíveis ter origem residual, ou seja, ao mesmo tempo que se garante um maior aproveitamento dos recursos disponíveis, evita-se a disposição inadequada desses materiais. O fato de ser proveniente de vegetais faz da biomassa florestal um combustível limpo e cem por cento renovável.

Outro fator a ser aduzido, como positivo, decorre do fato da biomassa utilizada na Jari Celulose ser proveniente de floresta plantada, no presente caso, de eucalipto, em razão da maior produtividade nos Estados do Pará e do Amapá.

No setor de celulose, a alta produtividade, aliada a outros fatores, como disponibilidade de terras e conhecimento técnico, contribui para que a biomassa florestal seja produzida com baixo custo, conseguindo, assim, competir com os derivados do petróleo na geração de energia. A biomassa florestal, proveniente do plantio de eucalipto na forma de cavaco, produz energia com menor custo que os combustíveis não renováveis.

4.5 ANALISE DA BIOMASSA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA NA FABRICA DA JARI CELULOSE

A biomassa da Fábrica da Jari Celulose se localiza em uma área de ambiente aberto, com apenas uma cobertura para proteção, depende do clima (ar e calor) para se tornar eficiente no momento da queima.

Um dos fatores que influenciam essa eficiência é o poder calorífico da biomassa. A fotografia 7 ilustra o local onde fica reservada a biomassa antes de ser destinada para queima nas caldeiras 1 e 2.

Fotografia 7 – Área de biomassa da Jari celulose.



Fonte: Autoria Própria

A Tabela 6 relaciona, comparativamente, o valor do poder calorífico de cada de biomassa usada na Jari Celulose para consumo das caldeiras 1 e 2.

Tabela 6 – Valor poder calorífico biomassa usada na Jari Celulose

Energia por combustível	Pode calorífico/ Gcal/t
Eucalipto energético	3,800
Biomassa AMCEL	1,811
Galhada Manejo Bituba	2,957
Resíduo Serraria OF	2,957
Resíduo.Serraria B	2,957
Serragem e caroço. A	1,582
Cascas/finos	1,850
Total	8.880

Fonte: Adaptado Relatório Jari Celulose(2015)

O teor de umidade é fator de grande influência sobre o uso da madeira para energia, pois dificulta o processo de combustão, havendo necessidade de constantes ajustes no sistema.

Na Tabela 7 pode ser visualizada a influência da umidade na biomassa, afetando o seu poder calorífico no mês de fevereiro de 2017, por corresponder a período de muita chuva.

Tabela 7 – Análise do processo da biomassa, fevereiro de 2017.					
MÊS: Fev/2017	Umidade (%)	Cavaco de Eucalyptus (%)	Casca de Eucalyptus (%)	Poder Calorífico inferior (Kcal/g)	Poder calorífico superior (kcal/kg)
01	43,3	75,6	22,6	2568	2520
02	43	84,2	14,4		
03	44,2	86,9	11,8		
04	44,2	85	14,2		
05	44	57	12,2		2
06	42,1	87,3	7,2	2561	2806
07	42	90,2	8,5		
08					
09	42,7	94,6	4,6	2552	2501
10	46,7	83,5	16,1		
11	49,3	86,3	13,4		
12	47,8	90	6,6		
13	48,4	57,3	11,8	2443	2695
14	46,6	97,3	2,2		
15	48,9	93	6,4		
16	46,8	88,7	8,9		
17	45,7	86,2	13,2		

18	44,5	83,6	14,5		
19	49,2	92	6,9		
20	44,2	81,3	18,3	2589	2847
21	46,8	84,1	15,4		
22	46,7	87,7	11,2		
23	46,8	86,8	11		
24	47	80,7	16,9		
25	44,4	94,0	5,5		
26	45,7	95,7	3,6		
27	43,5	30,7	5,9	2622	2600
28	43,5	69,5	7,0		

A qualidade da biomassa florestal é também um fator de difícil controle, pois a madeira é material heterogêneo. No caso das florestas de Eucalyptus, a grande variedade de materiais genéticos, de diferentes espécies plantadas, aumenta esta heterogeneidade. A densidade, por exemplo, é uma propriedade que tem grande variação entre diferentes espécies e clones, e impacta diretamente no rendimento energético.

Outra propriedade que tem grande influência na qualidade da biomassa florestal para a produção de energia é a umidade. Devido à heterogeneidade da madeira e a dificuldade em operacionalizar os testes de umidade, essa variável algumas vezes é deixada de lado na comercialização da biomassa florestal. Há que se encontrar uma forma de considerar a densidade e umidade nos contratos de compra de biomassa, para otimizar a produção de energia e proporcionar práticas de preços justos aos fornecedores de biomassa. Jari Celulose comprava até ano passado cavacos de eucalipto da AMCEL (Amapá florestal e celulose) e recebe doações de serrarias legalizadas como a Indústria Madeireira Pampa e outras empresas.

A forma de comercialização predominantemente utilizada é baseada no volume. Isto penaliza a biomassa (madeira) que tiver maior densidade e maior poder calorífico, terá o mesmo valor que uma biomassa de menor rendimento energético.

O rendimento da caldeira é afetado pelo poder calorífico da biomassa utilizada e, assim, madeira com menor densidade produz menor poder calorífico. Sendo assim, é importante também que a política de preço praticada pelo mercado possua instrumentos que permitam comercializar a biomassa levando-se em consideração tanto o volume como a densidade.

Em comparação aos derivados do petróleo, a biomassa florestal possui baixa concentração de energia por unidade de volume (coeficiente energia x volume). Isso pode ser considerado um ponto fraco, pois, para a produção de uma mesma quantidade de energia é necessário o manuseio de um volume muito maior de biomassa que os de derivados do petróleo.

CONCLUSÃO

Os A análise de todos os dados tabulados, perquirições in loco e informações colhidas e depuradas mediante visitas técnicas na Fábrica Jari Celulose Papel e Embalagens S/A, permitem-nos afirmar, conclusivamente, que o uso da biomassa florestal, como fonte de energia para geração de energia térmica e elétrica, constitui-se, sim, em combustível renovável competitivo no cenário regional e, por conseguinte, viável e lucrativo, pela alta produtividade florestal, bem como pela capacidade crescente, a médio e longo prazos, de geração de empregos e renda.

A biomassa é a principal fonte de energia para fábrica da Jari Celulose Papel e Embalagens S/A e apresenta resultados satisfatórios com potencialidade de crescimento. Não obstante, para conseguir alcançar esse objetivo, impõe-se que sua capacitada e atenta administração empreenda esforços para o aprimoramento tecnológico e funcional de secagem, de forma a não apresentar uma perda progressiva de energia durante a queima em razão da alta umidade.

Tendo como objetivo principal provar que pode ser empregado extratos florestais renováveis sustentáveis para a transformação de energia limpa e lucrativa, procedemos, a priori, visitas técnicas para acompanhar na fábrica da Jari Celulose Papel e Embalagens S/A, o trajeto percorrido pela biomassa, desde o descasque até a queima direta nas caldeiras de força.

Pode ser constatado, na sala de controle, que a biomassa e as caldeiras são monitoradas automaticamente por questão de segurança. Durante as visitas foram aplicados questionários abertos para aferir o conhecimento sobre o uso da biomassa florestal nas atividades de uma unidade fabril.

Mais uma vez o objetivo foi alcançado, visto que as tabulações das informações colhidas dos questionários abertos demonstraram, cabalmente, haver um reduzido conhecimento sobre o que já existe e, concomitantemente, o quão útil poderá se constituir para a sociedade a sustentável exploração de energia produzida com a queima de biomassa, mostrando-se, sobretudo para a Região Norte, uma importante fonte alternativa de energia para suprir a carência em lugares mais inóspitos dos Estados que dela fazem parte.

O autor cujo trabalho foi mais consultado para desenvolvimento deste projeto, Gonçalo Rendeiro, et al, tem em sua obra Soluções Energéticas para

Amazônia, o contraponto teórico dentro do arcabouço físico, para as confrontações e minudenciadas especificações técnicas do uso da biomassa, desde a sua estrutura e transformação em energias pela combustão e outras formas, que possibilitaram uma melhor compreensão dessa dualidade teórico-prática.

A Fábrica da Jari Celulose tem capacidade de produção 55MW/h de energia e tem demanda de 33MW/h. Como ela é autossuficiente (produção de energia para consumo próprio), ela tem potencialidade operacional real de produzir um excedente de energia para uma possível venda, p. ex., para a CELPA (Concessionária do Pará).

A venda do excedente de energia, de 20MW/h aproximadamente, permitiria, com larga margem, que o resultado lucrativo fosse investido na aquisição de equipamento para a secagem da biomassa, modernizando, assim, o parque produtivo e possibilitando um considerável aumento da produtividade.

A secagem é um processo que remove a água contida na biomassa, promovendo a sua evaporação por transferência de calor, diminuindo o teor de umidade contido na biomassa. O ar é utilizado para transferir o calor da fonte quente para a biomassa úmida. O calor transferido para a biomassa é utilizado para vaporizar a água e, a diferença de pressão parcial de vapor d'água existente entre o ar e a superfície da biomassa, determina uma transferência de água para o ar. A velocidade de secagem depende da temperatura, da umidade relativa e do fluxo de ar, do tempo de exposição a estas condições, do teor de água - inicial e final - e das características do material.

Para a secagem da biomassa na Jari Celulose Papel e Embalagens S/A, seria recomendado um Secador Rotativo. O tambor desse secador gira a uma velocidade constante, levantando continuamente a biomassa que, ao passar por uma fonte de ar, proporciona a secagem.

Esse processo reduz os custos de transporte e estocagem e cria condições ideais para queima direta.

A secagem também garante a redução de emissões durante a combustão da biomassa, além de reduzir a quantidade de biomassa gasta durante a queima.

REFERÊNCIAS

ANEEL [**Agência Nacional de Energia Elétrica**]. Resolução Normativa ANEEL nº 390/2009.< Disponível em: http://www.aneel.gov.br/scg/formacao_CEG.asp.> Acesso em 17 mar de 2017.

AGENEAL. **Energias Renováveis**. Disponível em: <<http://www.agneal.pt/content01.asp??BTreelD=00///01&treelD=00/01&newsID=8/>>. Acesso em: 10/07/2017.

BRITO. J. O; CINTRA, T. C. **Madeira para Energia no Brasil: Realidade, Visão Estratégica e Demandas de Ações. Biomassa e Energia**. v. 1. n. 2. p. 157-163. 2004.

CCEE [**Câmara de Comercialização de Energia Elétrica**]. Leilões de Energia elétrica. Disponível em < www.ccee.org.br> Acesso 15 de mar de 2017.

CONHECIMENTO GERAL, Projeto Jari. Disponível <https://www.conhecimentogeral.inf.br/projeto_jari/. Acessado em 21 de março de 2017.

ELETROBRÁS. **Plano Anual de Operação dos Sistemas Isolados. Gestão Energética**. Rio de Janeiro, 2015.

FAPESP [**Fundação de amparo à pesquisa do Estado de São Paulo**]. 2007. Disponível em:< <http://www.fapesp.br/publicacoes/energia.pdf>>. Acesso em 18 de março de 2017.

FIDELIS. **Pontes de Energia Renováveis complementares na expansão do setor elétrico brasileiro: O caso da energia eólica**. Neilton Fidelis da Silva. Rio de Janeiro, 2006

KISS, **Eucalipto ganha força como fonte de geração de energia**. Disponível em: <<https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/470101/noticia.htm?sequence=1>> Acessado em 07 de fevereiro de 2017.

GALDINO. M. A.E, LIMA. J. H. G, RIBEIRO. C. M. R, SERRA. E. T. **Contexto das Energias Renováveis no Brasil**.

GONÇALO et. al. **Combustão e Gasificação de Biomassa Sólida**. Gonçalo Rendeiro. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.

GRUPO JARI. **Fabrica Jari Celulose**. Disponível em: <<http://www.grupojari.com.br/>. Acessado em 08 de fevereiro de 2017.

IBÁ. ANUÁRIO IBÁ. **Indústria brasileira de Árvores**. 2015.

MARTINS. **Potencial para geração de energia elétrica no Brasil com Resíduos de Biomassa através da gaseificação**. Rachel Martins Henriques. Rio de Janeiro. 2009.

MME. **Ministério de Minas e Energia**. Disponível em:< <http://www.mme.gov.br/>>. Acesso em 17 de março de 2017.

QUIRINO, W. F. et al. **Poder Calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos**. Biomassa & Energia, 2005.

REN21 [Rede de políticas de energia renovável para o século 21]. 2016. Disponível em:<http://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2016/11/REN21_GSR2016_KeyFindings_port_02.pdf>. Acesso em 20 de fevereiro de 2017.

VASCONCELOS, G. C. de et al. **Energia lignocelulósica da biomassa: uma perspectiva sustentável**. Resumos do II Congresso Brasileiro de Agroecologia. Revista Brasileira Agroecologia, Porto Alegre, 2007

VITAL, B. R. **Métodos de determinação de densidade da madeira**. Viçosa: SIF, 1984. 21p. (Boletim Técnico, 1).

TOLMASQUIM (Coordenador). **Energia Renovável: Hidráulica, biomassa, solar e oceânica**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 6922**: Ensaio físico para determinar a espessura.

APÊNDICE A

Questionário de Pesquisa

Segue em anexo o questionário aplicado na empresa para coleta de dados.

- 1- Quais as atividades da empresa?
- 2- Quais os dados de produção de celulose?
- 3- Quantos hectares de floresta plantada a Jari Celulose possuem?
- 4- Quais os Impactos ambientais e sociais gerados pela Jari Celulose?
- 5- Qual a relação comercial entre a Jari Celulose e a concessionária rede Celpa?
- 6- Qual o comparativo de custo de produção de energia entre a concessionária rede Celpa e a Jari celulose nos últimos dois anos?
- 7- Quais os benefícios sociais, econômicos e ambientais proporcionados pela Jari Celulose?
- 8- Qual o principal objetivo da empresa?
- 9- Qual a quantidade de colaboradores na empresa?
- 10- Qual a importância da empresa nos municípios de Laranjal do Jari, Vitória do Jari e Almeirim (geração de emprego)?
- 11- Traçar um perfil da empresa. 12- Qual o Histórico da Empresa?

Segue em anexo o questionário aplicado específicos para a fábrica para coleta de dados.

1. Qual o tipo de biomassa aproveitada para gerar energia elétrica?
2. Qual a espécie plantada?
3. Qual a pressão de vapor da caldeira?
4. Quais são as especificações técnicas da caldeira?
5. Qual a temperatura do vapor que entra nos tanques de cozimento?
6. Este vapor vem da caldeira grande através de que tipo de tubulação?
7. Qual o rendimento da caldeira (Curvas de cargas geradas com a quantidade de resíduo gerado)?
8. Qual o tipo de turbina que usam para gerar energia elétrica?
9. Que tipo de gerador (Se ele é síncrono, assíncrono, corrente contínua, motores
10. Quais os softwares usados para controle da produção de Energia Elétrica?
11. Após a geração de energia elétrica na turbina quais são as perdas que ocorrem até o destino de utilização?
12. Qual o comparativo de funcionamento da caldeira desde o começo da empresa, até os dias atuais?
13. Quais são os resíduos que compõe a mistura que entra na caldeira?
14. Qual é a proporção de mistura de cada um destes resíduos em dias quentes e em dias chuvosos?
15. Quais os resultados de volumes de resíduos gerados após o processo químico da produção da celulose?
16. Qual o percentual de aproveitamento de resíduos após a colheita florestal?
17. Qual é consumo de resíduos por hora na caldeira (toneladas)?
18. Quais os resultados de volumes de resíduos gerados após o processo químico da produção da celulose?
19. Qual o percentual de aproveitamento de resíduos após a colheita florestal?
20. É utilizada toda a potência instalada da caldeira ou não? Por quê?
21. Qual é a capacidade da turbina para a geração de energia elétrica?
22. Quanto de energia elétrica é gerada por hora através da turbina?
23. Qual a quantidade total de energia gerada? E qual a demanda da fábrica?
24. Qual a quantidade necessária de resíduos para gerar um Mega watt hora de energia?
25. Qual o custo do Mega Watt hora entre a caldeira e termelétrica?