Eucalyptus Online Book & Newsletter

Celsius Degree / Grau Celsius

Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade

Parte 3: Resíduos Florestais Energéticos

Celso Foelkel
http://www.celso-foelkel.com.br
http://www.eucalyptus.com.br
https://www.linkedin.com/profile/view?id=48985640&trk
https://www.researchgate.net/profile/Celso_Foelkel
https://twitter.com/AVTCPEP
https://twitter.com/CFoelkel

Junho 2016

EUCALYPTUS ONLINE BOOK

CAPÍTULO 45

Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade

Parte 3: Resíduos Florestais Energéticos

Uma realização:

º Celsius Degree / Grau Celsius
Negócios em Gestão do Conhecimento

Autoria: **Celso Foelkel**

==========

Organizações facilitadoras:

ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores

IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais

==========

Empresas e organizações patrocinadoras:

Fibria

ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

ArborGen Tecnologia Florestal

CENIBRA – Celulose Nipo Brasileira

CMPC Celulose Riograndense

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores

Klabin

Lwarcel Celulose

Solenis

Stora Enso Brasil

Suzano Papel e Celulose

==========

Resíduos florestais

Desperdícios de biomassa florestal nas florestas de *Eucalyptus* e *Pinus* e que merecem contínuas avaliações de oportunidades para novas aplicações em processos de conversão da madeira ou como produtos para a bienergia

==========

Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade

Parte 3: Resíduos Florestais Energéticos

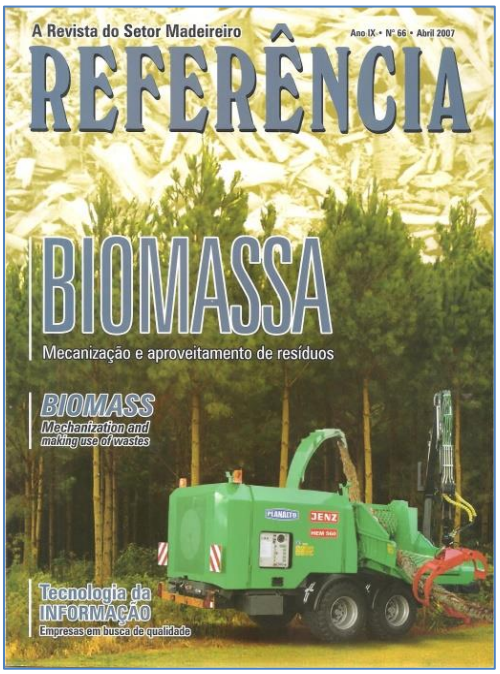
CONTEÚDO DO CAPÍTULO

- INTRODUÇÃO E AGRADECIMENTOS
- CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES SOBRE A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS FLORESTAIS COMO BIOMASSA ENERGÉTICA
- VALOR ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS FLORESTAIS
- RESÍDUOS DAS INDÚSTRIAS DE BASE FLORESTAL
- RESÍDUOS DA COLHEITA E DO MANEJO FLORESTAL
- RESÍDUOS DA PODA URBANA DE ÁRVORES
- PROCEDIMENTOS PARA PREPARAÇÃO DOS RESÍDUOS PARA USO ENERGÉTICO
    - ✓ Fragmentação, trituração e picagem dos resíduos
    - ✓ Limpeza, classificação e padronização das partículas de biomassa florestal
    - ✓ Transporte e manuseio dos resíduos nas florestas e nas fábricas
    - ✓ Armazenamento e estocagem dos resíduos de biomassa florestal energética
    - ✓ Secagem da biomassa florestal

- DENSIFICAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL
- OPORTUNIDADES E AMEAÇAS PELO USO DOS RESÍDUOS FLORESTAIS
- CONSIDERAÇÕES FINAIS
- REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

Biomassas e biomassas florestais para aplicações energéticas

==========

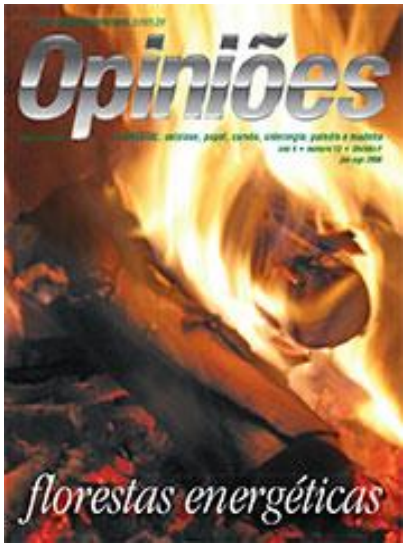


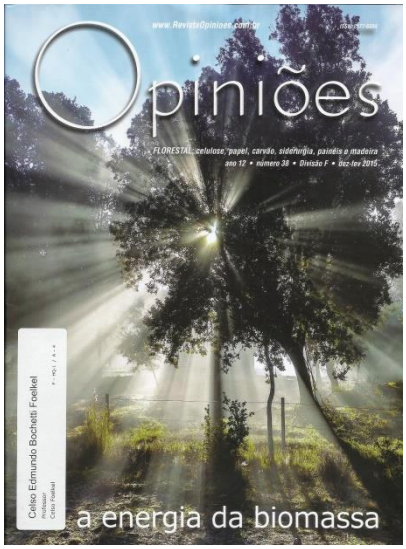
Revista Referência Florestal

Umas das fontes brasileiras de constante atualização sobre bioenergia e onde se podem obter maiores informações sobre o estágio atual das tecnologias em operação para coleta e preparação da biomassa energética de base florestal no País.

Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade

Parte 3: Resíduos Florestais Energéticos





Revista Opiniões – Florestal
Bioenergia a partir de resíduos de biomassas florestais em uma das mais renomadas revistas florestais brasileiras

Existem muitas biomassas residuais em nossas fábricas – prontas e disponíveis para usos energéticos

==========

Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade

Parte 3: Resíduos Florestais Energéticos

INTRODUÇÃO E AGRADECIMENTOS

Esse capítulo finaliza uma série de três capítulos sobre o uso energético da biomassa do eucalipto. O tema é bastante amplo e variado, com diversas opções de abordagem. Por isso mesmo, não fui tão abrangente, procurando manter mais o foco em alguns temas que elegi como relevantes ao setor de base florestal plantada. De qualquer forma, eu já escrevi alguns outros textos sobre usos energéticos do eucalipto em meu livro virtual denominado **Eucalyptus Online Book**:

- Como carvão vegetal no capítulo 18;
- Sobre ecoeficiência energética no capítulo 19;
- Como fonte de biocombustíveis no capítulo 29, onde discorri sobre as biorrefinarias integradas ao setor da base florestal;

- Sobre biomassa florestal e florestas energéticas no capítulo 43;
- Sobre a produção de calor, vapor e eletricidade a partir da biomassa florestal no capítulo 44...

...como também tive alguns artigos sobre energia e bioenergia em nossas Eucalyptus Newsletter e PinusLetter. Muitos desses meus capítulos e textos de cunho energético estão relacionados na seção final desse capítulo, onde foram colocados como referências e recomendações de literatura, junto a muitas outras referências fantásticas para a leitura e aprendizado de vocês, meus caros e estimados leitores.

Tenho notado muitas ansiedades e enormes expectativas para o uso energético da biomassa eucalíptica, em especial por pequenos empresários, produtores rurais e até mesmo empresas de grande porte. Existem muitos projetos, sonhos e mesmo realizações em curso focadas em atender a produção de energia e de energéticos a partir dessa biomassa, inclusive com produtos para exportações, como péletes, briquetes, cavacos e biocombustíveis líquidos. Exatamente por isso, quero oferecer com meus textos algumas informações básicas importantes e muitos dados práticos e fundamentais para que as pessoas interessadas possam melhor entender esses assuntos, melhorando assim os seus processos de tomada de decisão ou de avaliações conceituais e quantificações numéricas.

A literatura sobre isso tudo é muitíssimo vasta e merece toda minha admiração pelo que se gerou sobre esse tema no Brasil. São ofertas de conhecimentos, estudos e pesquisas, que aparecem abundantemente na web ou em textos impressos para serem estudados e lidos. Debrucei-me sobre algumas centenas deles, lendo-os cuidadosa e criticamente. Com isso, eu pude aprender muito com diversos estudiosos e grandes autores, podendo assim melhorar meu embasamento sobre esses importantes assuntos.

Eu tinha como meta escrever apenas um capítulo sobre bioenergia do eucalipto, mas logo descobri que se assim o fizesse, deveria produzir não um capítulo, mas uma enciclopédia em energia da biomassa, tamanha é a amplitude desse assunto. Com isso, procurei dividir a temática de acordo com os seguintes tópicos, cada um compondo um capítulo específico do **Eucalyptus Online Book** sobre a mesma temática central.

Eu sempre tive uma atração especial sobre a geração e utilização da energia. Por isso, agora e de forma muito motivada, estou lhes entregando essa série de três capítulos (números 43 a 45) para compartilhar e interagir com os interessados em temas energéticos de vitais importâncias para o setor de base florestal.

Série de capítulos:

Utilização da Biomassa do Eucalipto para Produção de Calor, Vapor e Eletricidade

Capítulo 43:
Parte 1: Biomassa Florestal & Florestas Energéticas

Capítulo 44:
Parte 2: Geração de Calor, Vapor e Eletricidade

Capítulo 45:
Parte 3: Resíduos Florestais Energéticos

Antes de lhes trazer meus considerandos, meus questionamentos, minhas experiências e diversos cálculos práticos para cooperar para a melhoria do entendimento do que me propus para transferir desses conhecimentos nesse capítulo 45, eu gostaria de homenagear alguns autores de textos magníficos, que tive oportunidade de ler antes de iniciar a redação desse presente capítulo 45. Todos eles têm sido vetores de agregação de mais conhecimentos sobre esse assunto e me ajudaram tanto com seus estudos e textos, bem como me fornecendo dados, fotos e informações vitais para que eu melhor pudesse lhes oferecer algo de utilidade. Conheço muito bem grande parte desses autores, muitos são excelentes amigos, mas alguns desses autores, infelizmente eu ainda não conheço pessoalmente, mas a leitura de seus textos, teses, artigos e mensagens de e-mail me fizeram sentir profundamente agradecido por ter encontrado suas reflexões e comentários para leitura cuidadosa e consolidado aprendizado.

Temos na seção de referências da literatura muitos textos escritos por uma longa lista de especialistas e estudiosos de bioenergia, mas que poderia ser muito maior, caso eu tivesse mais disponibilidade de tempo para mais leituras e buscas. Muitos dos autores citados são eminentes estudiosos nos temas da agroenergia ou da utilização energética da madeira e dos resíduos florestais da eucaliptocultura. Por outro lado, eu gostaria de reforçar o fato de que muitos desses textos se constituem em teses de doutorado, dissertações de mestrado e alguns são monografias de conclusão de cursos. Pela qualidade desses estudos e pela forma tecnológica clara dos textos, só posso parabenizar a todos os seus autores e deixar minha recomendação a esses autores para que continuem assim, trabalhando de forma objetiva e com muita qualidade em seus artigos e textos, de forma a difundir o que aprenderam com seus estudos e pesquisas.

Assim sendo, deixo meus agradecimentos sinceros e minha admiração pelas significativas contribuições técnicas e científicas aos seguintes autores e estudiosos da bioenergia florestal, em especial sobre a geração de calor, vapor e eletricidade a partir dos resíduos florestais da eucaliptocultura (em ordem alfabética de primeiro nome):

- Alana Spanhol
- Alexandre Brandão Landim
- Ana Flávia Neves Mendes Castro
- Ana Lúcia Piedade Sodero Martins Pincelli
- Bruno Lönnberg
- Carlos Alberto Busnardo
- Carlos Ramiro Baroni Marozzi
- Cláudio Ortolan
- Cristiane Lima Cortez
- Daniel Arruda Coronel
- Daniella Cristina Magossi
- Denis Luís de Oliveira
- Diego Oro
- Dorival Pinheiro Garcia
- Éder Aparecido Garcia
- Electo Eduardo Silva Lora
- Eloy Fassi Casagrande Júnior
- Eraldo S.B. Merlin
- Ester Foelkel
- Evandro Davi Holz
- Éverton Hillig
- Fernanda Cristina Pierre dal Farra
- Fernando Seixas
- Francisco Leonel C. Lima
- Francisco Luiz Sanchez Santiago
- Gabriel Pena Vergara
- Gunnar N.E. Krogh
- Hanniel Freitas
- João Paulo Visotto
- John L. Keays
- Jorge Manuel dos Santos Marques
- José Cláudio Caraschi
- José Luz Silveira
- José Mauro Magalhães Ávila Paz Moreira
- José Otávio Brito
- Josimar Ribeiro Almeida
- Júlio César Marchiori de Paula
- Júlio Cézar Ferreira Macedo

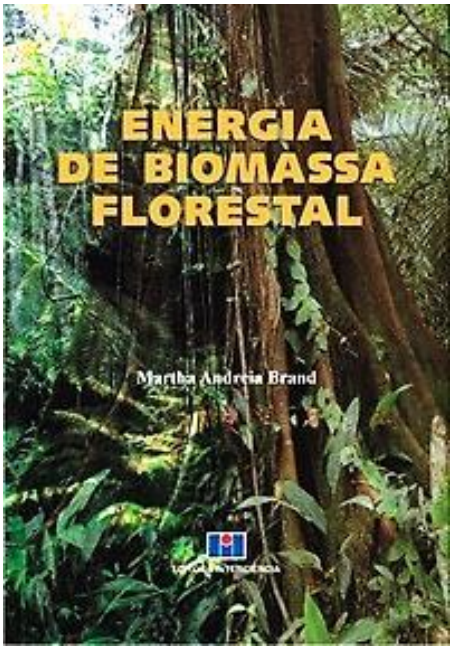
- Leandro Calegari
- Leonardo Rosa Silva
- Lorimar Francisco Munaretto
- Luana Elis de Ramos e Paula
- Luiz Augusto Horta Nogueira
- Luiz Vicente Bocorny Gentil
- Marcelo Wiecheteck
- Marina Moura de Souza
- Martha Andréia Brand
- Michel da Mata Borgui
- Natércia Patrícia Rebelo de Carvalho
- Patric Schürhaus
- Paulo Fernando Trugilho
- Peter J. Ince
- Roberto de Aguiar Peixoto
- Roberto Villarroel
- Robert Rummer
- Rodrigo Almeida Barroso
- Rodrigo Pereira Francisco
- Rogério Machado Pinto Farage
- Rubens Chaves de Oliveira
- Rui Simões de Almeida
- Taison Anderson Bortolin
- Thiago de Paula Protásio
- Tobjörn Olson
- Vantuir Baptista Pereira Júnior
- Waldir Ferreira Quirino

Espero sinceramente que esses capítulos e toda a literatura associada possam lhes ser de muita utilidade.

Um grande abraço e um enorme muito obrigado a todos vocês leitores pela honra que me fazem ao realizarem a leitura desse e de outros de nossos textos acerca da biomassa energética dos eucaliptos.

==========

CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES SOBRE A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS FLORESTAIS COMO BIOMASSA ENERGÉTICA



Livro biomássico da autora e pesquisadora Dra. Martha Andréia Brand

Não existem quaisquer tipos de dúvidas acerca do fato de que a energia, em suas diversas formas de expressão e utilização, é um produto essencial para a vida de todos os cidadãos do nosso planeta. O consumo energético per capita tem crescido de forma dramática, conforme melhoram as condições de vida e a dimensão da população global. Parece que a sociedade humana é viciada em eletricidade e em combustíveis líquidos, sólidos e gasosos.

Apesar de que esse crescimento brutal do consumo de energia possa ser considerado como uma grande oportunidade para o florescimento de uma poderosa indústria de base energética, ele também é ameaçador, pois as fontes energéticas cada vez se tornam mais escassas e difíceis de serem resgatadas para beneficiar essa sociedade.

Levando em conta o fato de que estão terminando as generosas ofertas que a Natureza nos oferecia de bens energéticos a baixos custos, têm surgido inúmeras iniciativas focadas em aumento de ecoeficiência por parte de produtores e consumidores, bem como uma melhor conscientização para a redução de desperdícios de energia e para a prática da eficiência energética.

A ecoeficiência pressupõe uma melhor e mais efetiva utilização dos recursos naturais, quando os mesmos são utilizados em processos de conversão. O objetivo da ecoeficiência é melhorar operações, tecnologias e procedimentos operacionais de forma a minimizar a geração de resíduos e desperdícios. Como complementação ao processo, mesmo que algum resíduo acabe sendo gerado, tem-se como meta também se encontrar uma destinação útil e adequada ao mesmo, evitando assim que ele se converta em um lixo a ser descartado em aterros ou lixões.

Basicamente, existem três posturas em relação aos resíduos gerados pela sociedade humana:

- ✓ Descarte ou eliminação;
- ✓ Recuperação ou aproveitamento no próprio processo produtivo no qual o resíduo é gerado;
- ✓ Valoração ou capacidade de se desenvolver um processo tecnológico ou operacional capaz de oferecer alternativas de serem criados produtos valiosos a partir desse resíduo, capacitando-o assim a ser reintegrado na cadeia produtiva, em um processo conhecido como reciclagem.

As biomassas são grandes fontes de matérias-primas para inúmeros processos industriais que suprem a sociedade humana em suas demandas por qualidade de vida e bem-estar social. Dentre as principais utilizações para as biomassas estão os sistemas de geração e conversão de energia.

O Brasil sempre tem sido considerado e enxergado como um "celeiro de biomassas", o que até certo ponto tem seu grau de veracidade pelas reservas naturais e por seus biomas típicos. A abundância de verde no País é tão intensa, que esse fato é até mesmo reconhecido nas cores da bandeira nacional.

Entretanto, sempre que existe abundância de um bem material ou natural, costumam acontecer desperdícios, que se manifestam como resíduos. Por essas razões, ao mesmo tempo em que temos abundância de diversos e inúmeros tipos de biomassas, temos significativas quantidades geradas de resíduos, desperdícios e mal-uso, para cada um deles.

Apesar de os resíduos terem o significado de incompetências técnicas ou processuais nas tecnologias e cuidados operacionais, eles

acabam sendo visíveis e nos criam oportunidades de melhorias. É por essa e outras razões que estou dedicando um extenso capítulo em nosso Eucalyptus Online Book para discorrer sobre **Resíduos Florestais Energéticos**, como foco na geração de calor, vapor e eletricidade.

Não pretendo debater, mas apenas mencionar, sobre outras rotas tecnológicas para a conversão desses resíduos florestais em biocombustíveis de segunda ou terceira geração, como seriam os casos de produção de etanol lignocelulósico, bioóleo, carvão vegetal, biogás, lignina, etc.

Esses temas já foram bastante debatidos e discutidos em outros capítulos desse nosso livro virtual, como já lhes contei na seção de introdução desse presente capítulo. Portanto, esse atual capítulo se complementa com diversos outros capítulos desse nosso livro, pois ele dá continuidade a uma série de textos que estou escrevendo e disponibilizando na web sobre a produção de calor, vapor e eletricidade a partir da biomassa florestal dos eucaliptos. Todos esses outros textos vocês poderão encontrar ao final desse presente capítulo, na forma de links para os endereços na web onde eles estão armazenados para serem baixados de forma gratuita.

A indústria de base florestal é grande geradora de resíduos florestais, do que se pode concluir que ela tem arraigada uma cultura de desperdiçar matérias-primas da base florestal. Até certo ponto, essa cultura foi-se consolidando em função das características da biomassa florestal e das tecnologias utilizadas. Outro fator determinante para que as quantidades de resíduos sejam elevadas é que a matéria-prima florestal é barata e renovável, em relação a outros tipos de matérias-primas industriais. Essas vantagens das biomassas florestais acabam se convertendo em fatores a incentivar os seus desperdícios.

Entretanto, o atual milênio está cada vez mais tendo incentivos a ações de sustentabilidade, reciclagem e ecoeficiência, bem como de consumos conscientes de materiais. Existe, por isso mesmo, grande possibilidade para melhorias de desempenhos tanto nos setores produtores como consumidores e convertedores de biomassas florestais. Associados a esses fatos, estão sendo criadas e definidas maiores restrições legais, em relação ao manuseio, geração, disposição e gerenciamento de resíduos pela sociedade industrial e pelos cidadãos consumidores. O próprio custo operacional dos resíduos aumentou bastante, o que passou a justificar a busca de tecnologias, processos e práticas para que se gerem menos resíduos, e quando gerados, que possam ser aproveitados em processos de reciclagem interna e/ou externa à unidade geradora.

No caso do setor de base florestal, um dos principais usos dos resíduos biomássicos gerados nas fábricas e florestas tem sido a utilização energética. Dentre os usos como bioenergia, o mais importante deles tem sido a combustão dos resíduos florestais com algum grau de preparação (limpeza, trituração ou picagem, secagem, densificação, etc.). É exatamente sobre essa gama de utilizações potenciais para esses resíduos que estou lhes trazendo esse capítulo 45 do Eucalyptus Online Book.

É importante salientar que a indústria brasileira de base florestal plantada é bastante expressiva em dimensões e resultados socioeconômicos no Brasil. O consumo global de madeira de reflorestamento atinge praticamente 200 milhões de metros cúbicos de toras por ano no País, sendo que a grande e principal fonte alimentadora é a madeira do eucalipto (cerca de 140 milhões de metros cúbicos). A segunda principal matéria-prima florestal no Brasil é o *Pinus*, com aproximadamente 50 milhões de metros cúbicos por ano.

Em ordem de magnitude, as principais utilizações dessas madeiras são: celulose e papel, carvão vegetal, painéis de madeira, transformação mecânica das toras em tábuas e artefatos de madeira, madeira tratada, etc. Além disso, existem milhares de pequemos a grandes consumidores de lenha, cujo uso permeia naturalmente por diferentes nichos de nossa sociedade, desde a agricultura até negócios industriais, de serviços e até nos lares dos cidadãos.

Além do uso como matéria-prima de processos industriais na conversão da madeira, a biomassa florestal também tem tido importante participação na geração termelétrica. As matérias-primas florestais energéticas provem: da geração de resíduos florestais de diversos processos industriais, de resíduos da colheita florestal e de biomassa especialmente produzida para fins como bioenergia nas chamadas florestas energéticas.

Estima-se que a potência instalada com biomassa no Brasil seja de aproximadamente 13.000 MW, com grande predominância, até o presente momento, das centrais termelétricas apoiadas na queima do bagaço da cana de açúcar (mais de 75% da geração a partir das biomassas). As estatísticas revelam existirem mais de 500 empreendimentos de centrais termelétricas com base em biomassa no País, sendo que a biomassa florestal representa aproximadamente 16% da geração da bioeletricidade.

Por biomassa florestal energética são entendidas as seguintes fontes de matérias-primas energéticas:

- Licor preto kraft das fábricas de celulose e papel;

- Resíduos dos processos de industrialização da madeira (cavacos, cascas, serragens, maravalhas, cepilhos, aparas, refilos, produtos desclassificados, páletes, caixotes de embalagens, etc.);

- Resíduos dos processos de produção da atividade de silvicultura (galhos, folhas, cascas, tocos/raízes, toretes, toras finas, etc.).

Uma biomassa florestal para se tornar fonte de matéria-prima energética precisa se enquadrar em alguns critérios vitais que lhe permitam sobreviver no longo prazo nessa atividade:

- Custo da biomassa no local onde produzida e ofertada;

- Custos de manuseio, transporte e estocagem (logística);

- Custos de preparação do material (picagem, limpeza, densificação, secagem, etc.);

- Disponibilidade o ano todo;

- Segurança, confiabilidade e garantia de suprimento;

- Qualidade (poder calorífico, teor de umidade, nível de contaminantes, densidade a granel e densidade energética);

- Mercado comprador atrativo, receptivo e próximo.

Por essas e outras razões, o valor de uma biomassa residual não justifica o interesse de um potencial usuário apenas com base em sua disponibilidade e custos, mas também de seu conteúdo energético, de sua qualidade e de seu potencial em termos de logísticas competitivas. Quando esses critérios se casarem bem, a biomassa florestal residual pode atrair investidores interessados em desenvolvimento de negócios para e com a mesma.

Há muito tempo se reconhece o fato de que as florestas plantadas de *Eucalyptus* e de *Pinus*, bem como os processos tecnológicos da industrialização madeireira são grandes geradores de resíduos de base lenhosa. Esses resíduos representam significativos percentuais e

disponibilizações de pesos secos da biomassa florestal, a qual vem sendo produzida nessas nossas florestas plantadas.

Alguns desses resíduos ficam nas florestas após a colheita florestal, passando a se integrarem em ciclos de biodeterioração da matéria orgânica de base florestal, formando húmus para o solo e disponibilizando nutrientes para as plantas e para a microvida dos solos.

Outros resíduos florestais acabam se acumulando e sendo desperdiçados pelo seu lançamento em aterros industriais, perpetuando assim um destino pouco aconselhável, que precisa ser monitorado e mitigado para evitar impactos ambientais na água, solos, ecossistemas e nas comunidades sociais.

Entretanto, crescem dia-a-dia as utilizações para esses diversos tipos de resíduos de biomassa florestal, principalmente para as finalidades energéticas.

Uma coisa é absolutamente certa: existem ainda inúmeras oportunidades para melhoria nas utilizações das biomassas florestais, reduzindo-se assim a geração de resíduos. Novos usos e novas formas de conversão estão constantemente sendo desenvolvidas, inserindo assim muitos desses resíduos de volta à atividade produtiva.

Como pessoa entusiasmada pela ecoeficiência e pela produção mais limpa, tenho procurado colocar meus esforços e muita dedicação para que nossa gente da base florestal possa entender melhor seu papel no melhor uso dos recursos florestais, os quais são maravilhosamente produzidos em nosso País. Isso precisa ser feito tanto nas fábricas como nas florestas, pois a geração de resíduos é enorme em ambos os setores.

Antes de tudo, eu gostaria de deixar duas considerações para reflexões:

1. É preciso, desde o presente momento, já que o passado já passou, planejar e implementar uma silvicultura do eucalipto de forma tal que ela possa ser maravilhosamente útil para a sociedade e para as próximas gerações de pessoas e de árvores, sendo que isso precisa ser feito com o mínimo de impacto ambiental e com o aval dessa sociedade.

2. É preciso entender que a mera utilização de um resíduo descartado por uma atividade por outra atividade ou setor, não

deve, de forma alguma, inibir ou desmotivar a busca constante para a redução da quantidade gerada desse resíduo no processo ou atividade mãe que o está gerando. Isso porque resíduo é resíduo – é matéria-prima ou insumo que sobra em um processo como desperdício ou ineficiência do mesmo. Esse resíduo vale como matéria-prima descartada, tem custos de monitoramento e tratamento, tem custos de manuseio e descarte. Demandam processos complexos de tratamento ou de disposição e custos elevados em seu processamento. Também seus preços de venda muitas vezes são irrisórios: ninguém gosta de comprar resíduos por preços elevados; a regra é comprar a preços muito baixos ou receber os resíduos como doação, quando muito se pagando os custos da remoção e transporte.

Essas duas considerações que lhes trouxe acima se devem a dois motivos, conforme a seguir:

A. Existe muita gente pensando em tirar toda a biomassa que a floresta plantada é capaz de produzir e usar essa rica biomassa verde como fonte de produção energética. Nem se preocupam em avaliar os impactos dessa extremada remoção sobre a qualidade e fertilidade dos solos, sobre os recursos hídricos, sobre a biodiversidade local e sobre a produtividade das próximas gerações de florestas que estarão usando esse habitat. O impacto do uso exagerado da biomassa florestal pode; se não se adotarem medidas mitigadoras, preventivas, conservacionistas e compensatórias; resultar em danos irreversíveis para a qualidade ambiental e para a imagem da silvicultura.

B. Quando um resíduo gerado por um processo encontra uma utilização industrial, "ele desaparece" para a unidade geradora. Parece que o problema foi resolvido, que o resíduo pode e deve ter continuidade em sua geração. Há quem peça até que se aumente a geração do mesmo, pois "o mercado está demandando por mais resíduo". Exatamente por isso, não devemos jamais nos afastar das causas promotoras do aparecimento desse resíduo e buscar de forma intensa a eliminação da sua geração. Isso se consegue com melhores tecnologias, melhores práticas e muito maior conscientização por parte de todos.

A geração de resíduos de base florestal para potencial utilização como biocombustível pode ocorrer em duas situações principais:

- Resíduos gerados na manufatura de produtos madeireiros:

Sobras de toretes de madeira e casca em pátio de madeira industrial

Praticamente todas as empresas industriais que usam madeira (ou na forma de toras ou de peças) geram resíduos em seus processos de conversão. Resíduos são gerados dessa forma nos processos de fabricação de celulose e papel, móveis, painéis de madeira, laminação de madeira, serrarias, preservação da madeira, carvão vegetal, etc., etc.

As quantidades de resíduos que eram gerados até os anos 90's, quando surgiram as certificações ambientais da série IS0 14.000, eram proporcionalmente muito maiores do que se está gerando no presente em cada uma dessas atividades produtivas. Isso se deve à clara busca por melhor aproveitamento das peças de madeira e pela reutilização, reaproveitamento ou reciclagem de inúmeros desses resíduos que eram abundantes no passado.

Muitas vezes, os resíduos gerados nas fábricas se integram a outros processos de conversão dentro da própria empresa industrial, em muitos casos, como biocombustíveis para a geração de calor, vapor ou eletricidade.

- Resíduos da colheita florestal:

Galharia fina e folhas – resíduos abundantes da colheita florestal

Existem dois enfoques a serem colocados para os resíduos da colheita florestal e eles passaram a ter visões muito distintas nas duas últimas décadas.

Até recentemente, as perdas ou resíduos lenhosos da colheita florestal eram consideradas como sendo as perdas de materiais lenhosos que aconteciam devido a:

- Perdas de madeira no toco ou cepa, em função do corte alto do tronco em relação à superfície do solo;

- Perdas de serragem pelo seccionamento das toras;

- Toras e toretes perdidos e largados no campo (por esquecimento, por estarem escondidas pela galharia, por estarem enterradas no solo, etc.);

- Perdas de casca por desprendimento nas toras;

- Perdas de material de pequeno diâmetro dos ponteiros das árvores, rejeitados em função do limite imposto pela área fabril nas definições de madeira comercial (por exemplo: diâmetro mínimo de aceitação das toras nas fábricas como sendo de 5 cm com casca);

- Perdas de "árvores finas", descartadas ou refugadas pelos operadores das colheitadeiras, em função do baixo índice de aproveitamento das mesmas em madeira comercial;

- Perdas da biomassa dos galhos grossos da copa (acima de 2 a 3 cm de diâmetro);

- Perdas de árvores desbastadas; etc.

Atualmente, o conceito de resíduos da colheita florestal teve seu escopo ampliado, introduzindo nessa conta outros tipos de biomassa, que até recentemente eram destinadas a permanecerem na área florestal para biodeterioração de sua matéria orgânica (humificação) e liberação de seus nutrientes para o ecossistema.

Dentre os novos resíduos da colheita florestal, os quais passaram a despertar interesse como sendo fontes de biomassa florestal energética, estão os seguintes:

- Touças, tocos, cepas e raízes grossas;

- Galhos finos;

- Folhas da copa das árvores;

- Serapilheira ou manta orgânica acumulada sobre a superfície do solo e muito fácil de ser removida no caso de florestas de *Pinus* (pela forma das acículas depositadas no solo).

Essa ampliação de foco aconteceu em função do desenvolvimento de novas tecnologias móveis, que passaram a atuar com equipamentos pesados e robustos na floresta para picar, fragmentar, limpar, classificar e densificar esse material volumoso e abundante de biomassa florestal.

Os resíduos ou perdas de material lenhoso, da forma como eram avaliados no passado, correspondiam a cerca de 3 a 5% do peso seco dos troncos colhidos das árvores da floresta. Hoje, com a nova consideração tecnológica desenvolvida para que copas, ponteiros, folhas e tocos passassem a serem consideradas como biomassas florestais energéticas, as proporções subiram para níveis de ofertas adicionais de

20 a 30% (ou mais, em base peso seco) de novas biomassas em relação à biomassa de madeira lenhosa dos troncos das árvores.

Evidentemente, essa ampliação de escopo do que se pode tirar de biomassa energética de uma floresta plantada de eucalipto pode trazer uma série de perversidades ecológicas e ambientais associadas a elas. Portanto, devem ser sempre muito bem avaliadas em relação às condições locais quanto à prevenção de danos e medidas mitigadoras que devam ser tomadas. Isso varia conforme os tipos e quantidades de materiais que forem colhidos como biomassas: se só a casca das árvores; se os ponteiros e galharia com folhas; se as raízes e tocos, etc., etc. A cada tipo de resíduo que se adicionar para remoção, maiores serão os impactos para o solo, para a floresta e para o ecossistema florestal.

A perversidade ambiental pode ficar ainda maior no caso de manejo através plantações adensadas de árvores de eucaliptos, quando se plantam até mais de 4.000 árvores por hectare para colheita aos 24 até 36 meses. Caso se colha toda a biomassa produzida pela floresta ainda infantil (toras com casca, galhos, folhas, raízes, etc.), estaremos impedindo que aconteça o mágico fenômeno da ciclagem dos nutrientes, com graves reflexos na qualidade dos solos e na capacidade produtiva futura desse sítio florestal.

Atualmente, as florestas de eucalipto são praticamente utilizadas no Brasil para produção de celulose e papel, carvão vegetal, painéis e chapas de madeira, móveis, madeira serrada e madeira tratada. Para todas essas utilizações, a idade de colheita costuma ser maior do que 5 a 6 anos (em geral, próxima aos 7 anos), sendo em alguns casos, como para as serrarias, em idades de colheita acima de 14 anos para as árvores finais para serem serradas.

Ao longo das últimas quatro décadas, o melhoramento florestal na eucaliptocultura tem tido o objetivo de aumentar a produtividade florestal em volume e/ou peso do tronco das árvores. Tem-se conseguido bastante sucesso nesse propósito, pois hoje o tronco pode hoje representar cerca de 76 a 82% do peso da biomassa total das árvores melhoradas, em abate aos 6 a 8 anos. Enquanto a madeira do tronco pode representar entre 72 a 76% do peso de biomassa total dessa árvore, a casca do tronco está entre 5 a 7 % desse peso total. Também a qualidade da madeira (densidade básica) e a relação madeira/casca têm sido critérios de melhoramento florestal para o eucalipto, pois não é apenas o volume das árvores que interessa atualmente, mas também o seu peso.

Mais recentemente, estão ocorrendo muitas pesquisas de melhoramento florestal para aumentar não a quantidade e a proporção

de troncos nas florestas, mas de peso seco de biomassa total das mesmas, na época de abate. Tratam-se de novos modelos para repensar a floresta plantada, que estão sendo muito influenciados por modelos adotados para plantações energéticas de cultivos anuais e de gramíneas, entre os quais os bambus e o capim elefante. Nesse caso, o objetivo não é apenas o uso dos resíduos florestais gerados na colheita florestal, mas sim de toda a árvore como fonte de biomassa energética.

Com isso, foge-se do conceito de se ter uma floresta plantada para atendimento de um segmento industrial âncora (celulose e papel, painéis de madeira, etc.) e com os resíduos das florestas e do processamento industrial se juntar certa quantidade de matéria-prima para alimentação de termelétricas ou para produção de produtos energéticos densificados (péletes e briquetes). Esse modelo em desenvolvimento pode causar impactos ambientais graves, não apenas na fertilidade do solo, pela exportação de nutrientes. Haverá também outros efeitos sobre os solos, sobre a biologia dos seres vivos, sobre o regime hídrico local e muitos efeitos ainda sequer detectados ou imaginados.

Portanto, uma migração de uma silvicultura tradicional como vem sendo feita atualmente, com adequados níveis de sustentabilidade, para uma silvicultura mais intensiva no uso da biomassa precisa ser muito bem avaliada pelos novos atores florestais, tudo à luz dos melhores conhecimentos científicos. Não serão apenas os custos florestais e as receitas com as vendas de biomassa que deverão ser avaliados, mas também, todas as implicações sociais e ambientais a curto, médio e longo prazo, as quais poderão ser motivos de fortes impactos em tipos e intensidades.

Não acredito que as medidas compensatórias poderão ser formas de remediar alguns desses impactos mais perversos. Acredito, porém, que cada situação possa merecer estudos bem elaborados para que se consiga avaliar até onde se poderá chegar com segurança na produção e uso da biomassa florestal produzida pelos povoamentos de árvores plantadas.

Não podemos, de forma alguma, trocar uma matriz de energia fóssil por outra de biomassa fotossintética potencialmente verde e renovável, se essas novas fontes de energia forem agredir de forma nociva e intensa os recursos naturais onde forem produzidas.

Existirão, com muita certeza, limites seguros para que se possa proceder a essa troca de matriz energética. Esses limites precisam ser conhecidos caso-a-caso para se pensar liberar projetos energéticos nesse sentido.

Fica então a questão: “Será que já temos uma base suficiente de conhecimentos científicos para embasar essas decisões presentes de maneira a se garantir que as gerações futuras de pessoas e de árvores não serão negativamente impactadas?”.

Resíduos da colheita florestal

Resíduos de processamento industrial

Para sumarizar esse arrazoado todo, vou colocar a seguir alguns pontos positivos e outros de conflito na utilização de resíduos da colheita florestal:

Pontos positivos:

- O uso dos resíduos da base florestal plantada podem se constituir em um processo de valorização de matérias-primas que estão sendo descartadas sem aproveitamento algum, dando-se assim a elas uma nova oportunidade de serem úteis à sociedade.

- Os resíduos florestais podem se converter em importantes fontes de materiais energéticos para abastecimento de diversos tipos de utilizações, como em centrais termelétricas, fornos, estufas, aquecedores, secadores, etc..

- A utilização dos resíduos reduz o impacto ambiental causado pelo simples descarte desse material como "lixo", muitas vezes em condições inadequadas.

- A opinião pública valoriza os processos de reciclagem e o uso de resíduos.

- A utilização dos resíduos como biomassa energética tem duplo significado ambiental: redução do uso de combustíveis fósseis e reuso de um material verde e renovável, que está sendo jogado fora e se gastando recursos para essa operação de descarte.

- O uso energético do resíduo pela própria empresa geradora amplia o escopo e a base de produtos que podem ser obtidos a partir da mesma base florestal plantada.

- A combinação de resíduos biomássicos gerados nas fábricas e nas florestas pode aumentar a oferta de matéria-prima energética para suprir unidades termelétricas de maior porte, que costumam ser ávidas por esse tipo de insumos.

- A utilização da biomassa renovável dos resíduos florestais pode representar maior nível de ecoeficiência nas operações industriais e florestais.

- O uso dos resíduos elimina o custo que se tem para descartar os mesmos de forma segura, conforme procedimentos feitos pelas recomendações legais (e que precisam ser licenciados).

- O uso interno ou a comercialização dos resíduos de biomassa florestal amplia a base de negócios, com reflexos no aumento de competitividade e de geração favorável de margens econômicas adicionais.

Pontos conflitivos:

- Em geral, os resíduos gerados por uma unidade de industrialização não costumam serem suficientes, para que sozinhos, consigam alimentar e manter funcionando uma central termelétrica. Há quase sempre necessidade de fontes complementares de biomassa, que podem ser produzidas ou adquiridas nos mercados regionais.

- Muitas vezes, os resíduos apresentam qualidade muito precária, com elevado teor de umidade, excessiva contaminação com pedras e terra, baixa densidade aparente, baixo poder calorífico útil e baixíssima densidade energética.

- Na maioria das vezes, os processos logísticos de manuseio, transporte e estocagem são complexos e onerosos, muito em função da baixa densidade a granel desses tipos de materiais residuais.

- A estocagem de resíduos é complicada, a menos que os resíduos sejam uniformizados na forma de partículas fragmentadas, conhecidas como cavacos de biomassa florestal. Essa fonte de energia também pode ser mais bem armazenada, caso os resíduos sejam convertidos em peças densificadas de biomassa florestal (péletes e briquetes).

- O desempenho operacional das centrais termelétricas pode sofrer impactos significativos em função da variabilidade na qualidade dos resíduos, presença de contaminantes, suprimento precário e irregular, etc.

- A oferta de tecnologias para converter resíduos em produtos energéticos valiosos está em plena evolução, porém existem ainda muitas interrogações em relação ao uso efetivo de tecnologias que exigem níveis de robustez e de continuidade operacional em desempenhos exemplares.

Enfim, há uma enorme gama de oportunidades e desafios para as nossas florestas. Muitos estudos e pesquisas já existem, conforme vocês leitores poderão notar na extensa lista de referências de literatura que eu lhes ofereci no final desse capítulo. Entretanto, existem ainda muitos pontos de dúvidas e de reflexões, que precisam da ajuda de novas descobertas de conhecimentos científicos. Isso tanto quanto ao desempenho tecnológico desses materiais, como também de suas interações em aspectos ambientais e sociais dessas formas de se produzir, liberar ou converter a energia.

Tocos, cepas e raízes grossas – novos resíduos florestais sendo estudados

Biomassa florestal pronta para uso energético em caldeira de força

==========

VALOR ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS FLORESTAIS

Isso tudo precisa ser reavaliado em seus valores

Sobras de biomassa florestal
Fenômeno dos mais comuns no setor de base florestal

Até hoje, as fábricas de celulose, papel e chapas/painéis de madeira operam com o que chamam de madeira de processo (madeira com algum conteúdo de casca destinada à fabricação de produtos de altíssima qualidade e uniformidade). Essa madeira deve atender às especificações para o processo industrial funcionar bem e para o produto

a ser vendido de forma que os clientes fiquem bastante satisfeitos. Essas mesmas fábricas podem usar a biomassa florestal que sobra como resíduos para alimentar caldeiras de biomassa.

Esse tipo de biomassa residual é desuniforme em termos de: qualidade, composição, contaminações, poder calorífico, densidades, dentre outros parâmetros de especificação. Consiste em uma mistura desuniforme e variada de casca, cavacos de madeira, lodos orgânicos, resíduos da colheita florestal e até mesmo pedaços descartados de papel ou de chapas de madeira.

As caldeiras de biomassa engolem essa mistura de biomassa, queimam tudo para aproveitamento da energia e liberam eletricidade e vapor como produtos. Existe muito pouco controle sobre essa biomassa – quando muito se coloca alguma atenção sobre teor de umidade e presença de contaminantes como terra, areia e pedras.

A combustão da biomassa costuma ser uma operação robusta e que resiste muito bem a essas flutuações, conseguindo-se manter adequados níveis de eficiência energética nas caldeiras. Evidentemente, melhores resultados poderiam ser atingidos com a qualidade melhorada desse combustível, porém no momento atual, parece que as empresas não têm colocado um foco muito grande sobre isso.

Qualquer tecnologia para funcionar bem precisa de uniformidade nas matérias-primas, sejam elas: licor preto kraft, resíduos lenhosos do processo de fabricação, restos da colheita florestal, casca, lodo orgânico, etc. Importante fração dessa qualidade e homogeneidade depende de ações gerenciais e do comprometimento dos que operam e controlam essas matérias-primas. Outra parte depende da qualidade das próprias florestas (nutrição, doenças e pragas, espaçamentos, manejo, tratos silviculturais, etc.) e do tipo de parâmetros que se está procurando aperfeiçoar com o melhoramento genético.

Em geral, esses materiais residuais, que todos estão cobiçando para a geração de energia, possuem extremas variações em qualidade, em especial quanto às irregularidades em composição, contaminantes e umidade.

Além disso, os resíduos florestais, mesmo quando convertidos em “cavacos” por picadores de campo apresentam baixíssima densidade aparente, o que limita e restringe seu transporte para distâncias mais longas.

Resíduos florestais e resíduos da colheita – até onde podem ser sustentavelmente extraídos da floresta?

Há, portanto, que se colocarem focos novos pelo menos quanto aos seguintes parâmetros:

- Uniformidade na composição (proporções e misturas);
- Teor de umidade;
- Teor de material orgânico ou de carbono orgânico;
- Densidade a granel ou densidade aparente;
- Poder calorífico inferior e poder calorífico útil;

- Densidade energética;
- Presença de contaminantes (teores e tipos); etc.
- Forma e dimensões das partículas;
- Etc.

O aproveitamento dos resíduos das fábricas e das florestas é um dos pilares das novas unidades industriais integradas no setor de base florestal. Todas elas precisam de matérias-primas não muito variadas em qualidade, dimensões, composição e umidade. Há que se desenvolverem processos mais qualificados para gestão, logística e produção florestal para uniformizar esses materiais em qualidade. Sem isso, será difícil operar em situação ideal em quaisquer desses tipos de industrialização onde se queiram integrar produção de eletricidade, calor e vapor com a manufatura de celulose, papel, chapas e painéis de madeira, etc.

Um ponto crítico, quando uma empresa começa a trabalhar com seus próprios resíduos, é que ela pode perder ecoeficiência. Como os resíduos viram matéria-prima, os técnicos e gestores se descuidam de sua geração. Com isso, eles são gerados em maiores quantidades do que seria desejável.

Resíduos, como o próprio nome diz são resíduos. São coisas que mesmo que reciclados, consomem valor e deixam de cumprir sua missão primeira. Toda vez que um resíduo desaparece de um processo porque está tendo uma destinação, os técnicos se descuidam de sua geração, que passa a aumentar. Isso ocorre tanto nas fábricas como nas florestas. Só seria válido aceitar isso se a agregação de valor sobre os resíduos for enorme e maior do que a conseguida com o produto inicial onde o resíduo foi gerado.

A situação gerencialmente mais adequada é se especificar muito bem quantidades e qualidades dos resíduos que abastecerão as centrais energéticas. Se for o caso de produção cativa ou dedicada de madeira de processo para se fabricar o produto principal e de biomassa orientada para processos energéticos, as especificações ficam mais fáceis de serem criadas e atendidas. Mesmo assim, há que se terem controles e levar isso como algo muito sério.

Entretanto, quando eu comento sobre florestas dedicadas para produção de biomassa para atender algum processo energético, chego a

ter pesadelos em relação a certas loucuras ou insanidades que vêm sendo anunciadas.

Como já lhes disse antes, esses processos de produção massiva de biomassa podem acabar trocando o carbono verde fotossintetizado na biomassa por empobrecimento de solos e por redução da hidrologia regional. É o caso muito anunciado e propagado dos plantios adensados de eucaliptos, onde se colocam mais de 4.000 árvores por hectare para rapinarem as riquezas do meio ambiente. Essas riquezas dificilmente serão repostas apenas por fertilização mineral.

Não satisfeitos com isso, alguns plantadores dessas florestas, que teimam em chamar de energéticas, removem praticamente tudo que foi produzido como biomassa pela floresta, até mesmo a manta orgânica do solo, e em alguns casos, até as raízes. Só falta passar ao final um aspirador de pó para recolher o pouco que sobrou de matéria orgânica. Independentemente para onde vá esse material retirado, o estrago no solo é enorme: sobre a compactação, oxidação do carbono orgânico, insolação direta, ressecamento, fertilidade, microvida, hidrologia, etc., etc.

Já a biomassa retirada pode seguir roteiros diferentes, que alguns costumam dizer que será matéria-prima para energia verde: péletes ou briquetes, gaseificação ou pirólise rápida, queima em centrais termelétricas, produção de carvão vegetal, etc. Por isso que eu já lhes disse antes que nem tudo que vem da biomassa pode ser classificado como sustentável. Sugiro sempre uma avaliação de sustentabilidade para cada tipo de situação, antes de sua total aprovação e posta-em-marcha.

Dessa forma, podem até mesmo serem desenvolvidos mecanismos preventivos e mitigadores que permitam uso de ponteiros, casca, galharia e tocos/raízes das árvores de nossas florestas plantadas de eucalipto. Porém, jamais eu recomendaria que se agredissem e se utilizassem a serapilheira e as folhas das árvores. Isso dificilmente poderia ser ecológico e ambientalmente correto.

Acredito amigos, que a silvicultura brasileira está em um momento de mudanças e essas mudanças precisam ser muito bem pensadas para tomadas de decisões que não comprometam nosso futuro como setor e nem o ambiente como supridor de condições ideais para a vida e para a formação de biomassas.

Já que os resíduos florestais e os resíduos da colheita podem vir a se tornar matérias-primas energéticas importantes, esse é o exato momento de se consensuar com os cientistas e técnicos sobre o que pode e o que não pode ser utilizado pela indústria.

O atual momento da silvicultura brasileira é de excelente nível de ecoeficiência, procurando manter folhas, galhos finos e parte considerável das cascas na floresta, cobrindo o solo florestal após a colheita com uma rica manta vegetal. Isso colabora para melhoria da física, química, hidrologia e biologia dos solos florestais. Algo que enobrece nossa atividade de base florestal.

A grande ameaça que temos no momento é que algumas empresas plantadoras de florestas estão não apenas adensando suas florestas plantadas, mas também estão se entusiasmando com a remoção de biomassa das atuais florestas de eucalipto, como se essa biomassa fosse uma dádiva da mãe Natureza apenas para os humanos. Isso poderá representar enorme impacto ambiental sobre esses ecossistemas, seja para plantio de qualquer cultura nesses sítios em futuro não muito distante.

Para mim, é absolutamente claro que devamos considerar como resíduos da colheita em estágio introdutório de utilização apenas as toras finas e os galhos grossos, ambos com casca. Uma percentagem aceitável de casca das toras de processo também pode ser removida, mas compensada por outras técnicas de conservação da fertilidade do solo. O restante, em especial folhas, galhos finos, serapilheira e raízes são produtos de biomassa da floresta plantada para a própria floresta plantada. Eles só poderiam ser usados como biomassa energética se os estudos de impacto ambiental justificassem o uso e aprovassem as medidas conservacionistas, prevencionistas, mitigadoras e compensatórias para essas utilizações adicionais.

Ainda que estejamos em um momento de mudanças, essas mudanças devem ser orientadas para modelos de maior ecoeficiência e sustentabilidade. Não se trata apenas de trocar o combustível fóssil pela biomassa verde. Se não houver responsabilidade e compromisso, no futuro poderemos ficar sem ambos.

Resíduos florestais: matérias-primas viáveis – mas com sustentabilidade

É muito fácil perceber que as florestas plantadas de eucalipto não vão apenas produzir madeira de processo para fabricação dos produtos principais da fábrica e casca e cavacos de madeira para as caldeiras de força alimentadas por biomassa. A situação vai mudar - em alguns casos mais, em outros menos.

A madeira do processo continuará sendo melhorada e avaliada para os parâmetros usuais, seja em qualidade ou em rendimentos de conversão e operação. Entretanto, para os usos energéticos, conforme os produtos e as tecnologias selecionadas, outros parâmetros poderão ser introduzidos nos programas de melhoramento da biomassa florestal.

Em relação aos resíduos florestais, as qualidades das florestas e das operações da colheita florestal passarão a receber as maiores pressões para melhoria de desempenho e de suprimento de materiais com as especificações desejadas pelas fábricas.

Também as operações de preparação de cavacos de biomassa precisarão melhores desempenhos e especificações. Controles e especificações passarão a ser muito mais rígidos, forçando uma mais eficiente gestão nesses processos de produção, seleção e transporte da biomassa florestal.

Até que enfim isso está prestes a acontecer – já estava mais do que passado o tempo de se melhorarem os resíduos florestais em termos de sua qualidade e homogeneidade.

Dentre as tendências que surgirão com a pesquisa florestal associada à bioenergia, estarão algumas interessantíssimas:

- Melhor entendimento da fisiologia das árvores e da forma como os produtos fotossintetizados são distribuídos entre os compartimentos da árvore (galhos, folhas, raízes, casca, xilema, etc.) e nas paredes celulares.

- Maior controle das vias fotossintéticas através da regulação da produção de lignina, hemiceluloses, extrativos e celulose (relação entre regiões cristalinas e amorfas).

- Maior controle de formação da parede celular, permitindo uma melhor engenharia da mesma através de técnicas da biotecnologia.

- Direcionamento para maior fixação de carbono nos troncos das árvores, mesmo para as árvores orientadas para bioenergia.

- Controle sobre a quantidade, distribuição, qualidade e topoquímica da lignina nas células e nos compartimentos das árvores.

- Idem para hemiceluloses, celulose e extrativos.

- Especificações para os diferentes tipos de biomassa florestal em relação a: densidade básica, densidade a granel, teor de carbono, teores e tipos de extrativos, poderes caloríficos inferior e útil, densidade energética, teor de cinzas, etc.

Entretanto, não será apenas a área de melhoramento florestal a receber toda a responsabilidade de desenvolver materiais florestais com qualidade para uso como bioenergia. As áreas de silvicultura (nutrição, proteção e manejo florestal) e de colheita/transporte ganharão responsabilidades adicionais para garantir a qualidade que se precisará preencher para o produto biomassa florestal.

A atual falta de responsabilidade generalizada que ocorre com os resíduos florestais será finalmente eliminada. Desaparecerão as poucas e precárias tentativas de especificações e responsabilizações para essas biomassas energéticas. Surgirão outras especificações muito mais rígidas para serem cumpridas. Muito bom isso. Esses tempos de irresponsabilidades, até mesmo por desconhecimento, finalmente irão desaparecer. Mais um ponto favorável para o atual estágio tecnológico com o foco também em bioenergia.

Acredito que as empresas passarão a ter maiores informações sobre as qualidades de suas diferentes biomassas, como por exemplo: casca, toretes de madeira, galhos grossos, ponteiros, tocos/raízes, etc. Isso será vital para um melhor gerenciamento e controle.

Definitiva e conclusivamente, o melhoramento florestal e as áreas de silvicultura e colheita florestal deverão colocar esforços para que as florestas sejam uniformes em dimensões de árvores, homogêneas em qualidade de madeira, teores uniformes de casca e máxima proporção de xilema nas árvores.

Hoje, já se consegue colocar entre 72 a 76% de todo o peso seco de uma árvore de eucalipto em seu xilema do tronco comercial. Imaginem que não está longe o dia de se ter 80% de todo o peso na madeira do seu tronco, em sua altura comercial. Isso se consegue mais facilmente com árvores de maiores dimensões, onde a proporção de casca e galhos é muito menor em relação às árvores de pequenos diâmteros. Já em árvores finas e jovens, como aquelas de plantios

adensados de eucalipto, a proporção de madeira no tronco dificilmente atinge 60 a 65% do peso total da árvore.

Outra demanda crítica para as avaliações florestais será o necessário esclarecimento do impacto da produção e utilização da biomassa sobre a ciclagem de nutrientes e sobre a conservação dos solos (fertilidade, física, biologia, hidrologia, compactação, ressecamento, etc.). É essencial que os novos modelos de produção de biomassa apresentem no mínimo o mesmo nível de sustentabilidade que os modelos vigentes de plantações florestais de eucalipto. Caso contrário, esses novos modelos passam a ser inapropriados – melhor então obter a biomassa por plantios similares aos que se produzem na atualidade conforme sugere o amigo e engenheiro florestal Rodrigo Eiji Hakamada (http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=787).

A sociedade brasileira e os técnicos florestais responsáveis com certeza não aceitarão retrocessos na sustentabilidade florestal. Os processos de certificação florestal deverão adequar-se aos novos modelos, verificando quais seriam as novas exigências a serem monitoradas dentro dos princípios e critérios já desenvolvidos e praticados para as florestas plantadas.

Um enorme desafio para todos, em especial para as áreas produtoras de biomassa florestal. Nada mais natural, já que a ampliação de escopo da nossa indústria de base florestal deverá ser lastreada e alicerçada principalmente nas plantações florestais de eucaliptos.

A valoração dos resíduos florestais para finalidades energéticas se apoia em alguns parâmetros críticos de qualidade, que mais uma vez eu pretendo lhes mostrar para reforçar conceitos:

Uniformidade de composição. Tratando-se de um material misto, o ideal é a manutenção a mais uniforme possível das proporções entre os diversos componentes da biomassa residual (madeira, casca, galhos, raízes grossas, etc.). Quando se tratar apenas de cavacos de madeira, é muito importante se especificar os teores máximos de casca e de cinzas que eles possam conter, além do teor de umidade que é crítico para o desempenho energético.

Teor de umidade. Quanto mais baixo, melhor, preferencialmente abaixo de 35%.

Densidade a granel. Quanto mais alta, melhor, ou seja, buscar desenvolvimento de produtos menos volumosos e mais compactados ou densos.

Poder calorífico útil. Muito afetado pelo teor de umidade, teor de cinzas e proporção de cascas.

Densidade energética. Muito afetada pelo poder calorífico útil, teor de umidade e densidade a granel do resíduo.

Teor de contaminantes. São em geral as cinzas presentes na composição do resíduo, uma parte constituída de elementos minerais intrínsecos de sua composição química e outra parte (em geral, maior) resultantes de contaminações desse resíduo com terra, areia e pedras. A contaminação externa é facilmente afetada pelo manuseio, transporte estocagem e processos logísticos (tecnologias e operações).

Fala-se muito em poderes caloríficos dos resíduos florestais, quase sempre se referindo aos poderes caloríficos dos tipos superior (PCS) e inferior (PCI). Na verdade, esses poderes caloríficos são muito similares para a maioria dos resíduos (madeira, galhos, ponteiros, raízes). Existem apenas diferenças para a casca das árvores (em média entre 8 a 10% menor em PCS e PCI que os da madeira) e para as folhas (em média 10% superiores aos da madeira).

O fator mais crítico para o abaixamento do poder calorífico útil de uma biomassa florestal é então o seu teor de umidade.

O segundo e grande desafio é manter em nível adequado a densidade energética do resíduo. Isso se consegue de duas formas: 1 - Uso de tecnologias e procedimentos que não avolumem e sim compactem os resíduos; 2 – Manter os resíduos os mais secos que for possível.

Existem diversos fatores técnicos que afetam a qualidade dos resíduos e que exigem ações de gestão:

- Planejamento das operações de coleta e separação;
- Formas de manuseio e de integração dos diversos resíduos;
- Tecnologias empregadas (para picar, classificar, limpar, manusear, secar e transportar);
- Formas e tipos de estocagem;
- Condições climáticas (época da colheita, tempo de secagem no campo, etc.);
- Eficiência nas operações;
- Continuidade operacional;
- Definição e cumprimento de especificações;
- Etc.

Nos capítulos 43 e 44 do Eucalyptus Online Book eu apresentei alguns conceitos sobre as qualidades e formas de valorização de qualquer tipo de biomassa florestal, válidos inclusive para os resíduos de processos de industrialização e para os resíduos da colheita florestal. Apresentei para isso no capítulo 44 duas novas unidades de valoração de resíduos florestais, que foram as seguintes:

Metros Cúbicos Equivalentes de Lenha: que nada mais é do que uma comparação da densidade energética de uma biomassa florestal em relação a uma biomassa referencial, no caso, a lenha de toras de eucalipto com um determinado teor de umidade. Através desse

conceito, é possível se ter uma noção clara do valor que se pode dar a cada unidade de volume de cada tipo de biomassa florestal combustível. No caso em questão, o volume que se considera é o que se chama de volume a granel, ou seja, o volume ocupado pelas peças de biomassa quando amontoadas ou empilhadas.

Toneladas Equivalentes de Lenha: que se trata de uma comparação da quantidade útil de energia por peso tal qual de uma determinada biomassa em relação a uma biomassa referencial, que é a lenha de eucalipto com um determinado teor de umidade. Como a base de comparações é a quantidade de energia útil por cada tonelada úmida tal qual de uma biomassa combustível, estamos na verdade comparando poderes caloríficos úteis entre as biomassas e referenciando isso com o poder calorífico útil de uma tonelada de lenha com certo nível especificado de umidade.

Removendo excesso de areia da biomassa casca para agregação de valor a ela

Acredito que tenha ficado claro pelo que foi discutido até o momento nessa seção, que existem diversos fatores críticos que podem dar maior ou menor valor a uma biomassa florestal. No capítulo 43, eu procurei fazer um apanhado de todos os principais e mais valiosos parâmetros para definição da qualidade de uma biomassa florestal. Já no capítulo 44, procurei descrever procedimentos de avaliação

comparativa para a qualidade das biomassas, de forma a poder remunerar as cargas de biomassa existentes e disponíveis nos mercados de compra/venda.

Já no capítulo atual (45), a temática sobre valor energético dos biocombustíveis acabou migrando para um grupo muito variado de biomassas florestais, que são os inúmeros tipos de resíduos florestais, tanto os gerados como resíduos de processos de fabricação, como os resíduos da área florestal, em geral de sua colheita.

A maior parte dos resíduos de base florestal constitui materiais volumosos e com teor muito variado de umidade. Podemos ter resíduos muito secos, como os pós de lixamento de móveis ou de painéis de madeira (com 10 a 15% de umidade), bem como resíduos altamente úmidos, como os recolhidos nas áreas de lavagem de toras nos processos de preparação da matéria-prima florestal para o processo.

Em situações tão amplas como essas, nada é mais natural do que cada tipo de resíduo tenha o seu próprio valor. Esse valor precisa ser conhecido e mantido nos processos de comercialização de cada biomassa energética florestal.

Mesmo que o resíduo seja consumido internamente à fábrica geradora do mesmo, o valor do resíduo precisa ser conhecido em relação a outras fontes de bioenergia que estejam sendo usadas e/ou compradas.

Além do próprio valor energético em si, o preço de cada resíduo florestal depende de outros fatores extra energéticos, que são os fatores agregadores de custos nas diversas etapas de sua produção:

- Custos de extração, coleta e segregação;
- Custos de manuseio de materiais de baixas densidades a granel;
- Custos de transportes de materiais volumosos e que encarecem conforme as distâncias a percorrer;
- Custos de estocagem;
- Custos de secagem no campo ou nas fábricas;

- Custos de preparação do material (picagem ou fragmentação, classificação granulométrica, limpeza, secagem, etc.);

- Custos das perdas de material por deterioração durante estocagens;

- Valor a ser atribuído ao resíduo na sua própria origem. Por exemplo, se for um resíduo da colheita florestal, porque não incluir em seu custo as quantidades de nutrientes que ele está exportando e que deverão ser incluídas pela silvicultura em operações de fertilização mineral? Já se for um resíduo de madeira que se perdeu como refugo em um processo de fabricação, esse resíduo vale como se fosse madeira de processo "que foi perdida sem querer ou querendo" pelos operadores ou pelas máquinas.

Entretanto, nem sempre esses parâmetros são suficientes para definir o valor real do resíduo e se ele deve ou não ser usado como material energético.

Existem casos onde um resíduo de base florestal é usado como bioenergia apenas para que a fábrica "dê um sumiço ambiental e ele". É o caso da queima em caldeiras de lodos muito úmidos da estação de tratamento de efluentes.

Há outras situações onde a aceitação de um resíduo para algum uso se torna impeditiva, não por causa de seu valor energético, mas pela presença de contaminantes perigosos à saúde com a sua queima, como óleos lubrificantes, preservativos de madeira (fungicidas e cupinicidas), bem como resinas formaldeídicas usadas na fabricação de alguns tipos de painéis de madeira.

A qualidade do resíduo florestal energético não é definida apenas pelo gerador do mesmo, mas principalmente pelo seu usuário. Existe uma ampla gama de usuários de resíduos florestais, seja para os resíduos de processos industriais de fabricação ou de resíduos da colheita florestal. É por isso que existem tantos comentários e pontos conflitivos e de ajustes em relação à biomassa florestal de origem residual.

O usuário deseja ter preços baixos e bons desempenhos e estabilidade nas operações em que usar os resíduos. Já o produtor dos resíduos quer simplificar suas operações, pois para muitos deles, os resíduos são apenas resíduos - eles não conseguem ver os mesmos como valiosos subprodutos de suas florestas ou fábricas. Ainda falta

muito diálogo e muitas adequações conceituais em relação a esses resíduos de origem florestal. Até mesmo a conscientização que tudo isso precisa ser tratado de maneira gerencialmente mais responsável e até mesmo negocial/empresarial e não apenas ambiental.

Por tudo isso, serão variáveis os valores econômicos que possam ser criados e gerenciados para cada tipo de resíduo. Cada caso é um caso, como já lhes mencionei algumas vezes.

Muitas vezes, o valor econômico de um resíduo florestal só pode ser adicionado e tornar o mesmo mais valioso por operações na preparação do resíduo, tais como:

- Lavagem ou limpeza do material (caso dos tocos e raízes);
- Picagem ou trituração para homogeneização de materiais muito variados;
- Classificação granulométrica para eliminação de lascas e toretes de madeira e fitas de cascas;
- Prensagem do material para remoção do excesso de água livre (por exemplo, de cascas removidas na lavagem de toras);
- Compactação, para formação de pacotes ou fardos de biomassa com maior densidade a granel;
- Densificação, para dar valor energético a uma biomassa difícil de ser comercializada como tal (exemplo: pó fino ou muinha de carvão vegetal).

Para favorecimento dos balanços econômicos e justificar o uso produtivo dos resíduos, muitos gestores acabam só computando como valor do resíduo os custos incorridos em sua coleta, picagem, limpeza, manuseio, transporte e estocagem. Deixam assim de dar o valor real que o resíduo possa apresentar por ser uma biomassa florestal obtida pela fotossíntese de árvores que foram plantadas.

Por essas razões, o valor de uma biomassa florestal precisa ainda incluir os seguintes valores adicionalmente aos custos relativos à coleta, manuseio, transporte, etc. etc.:

- O valor real como produto gerado pela floresta, em termos de peso seco de biomassa florestal;

- O valor que se gastaria para se dispor de forma segura e conforme as preconizações de licenciamento para disposição final de resíduos industriais;

- O valor que se gastaria para reposição de nutrientes no solo florestal, para compensar as exportações desses valiosos elementos minerais nutritivos com a remoção de cada tipo de biomassa florestal;

- O valor que essa biomassa deixaria de agregar ao solo como material humificado e como carbono orgânico aos solos florestais;

- O valor economizado que a retirada de resíduos da colheita florestal promove nas operações subsequentes da silvicultura nas áreas florestais;

- O valor economizado em sistemas de prevenção adicional de incêndios e em perdas de áreas de florestas queimadas pela presença de excessiva biomassa seca e inflamável nas áreas de florestas, após colheita e secagem dos resíduos da colheita;

- O valor recebido pela venda dos resíduos, por quaisquer que tenham sido os preços de venda desses resíduos.

Portanto amigos, o valor de um resíduo florestal é muito mais complexo do que o simples somatório dos custos aplicados a ele em operações florestais, industriais e ambientais.

Outros temas bastante importantes na gestão do valor dos resíduos florestais envolvem:

- Inventários e estimativas corretas na geração de cada tipo de resíduo;

- Definições claras sobre os tipos e formas de aproveitamento, seus custos, sistemas e valores;

- Definições claras sobre as melhores e mais viáveis especificações para cada tipo de resíduo florestal, de forma que os processos de comercialização sejam seguros, confiáveis e claros.

Os mercados para os resíduos de biomassa florestal já são bastante amplos e deverão se tornar ainda maiores. Isso se deve ao fato de que existem outras utilizações para a biomassa florestal, além da mera combustão para liberação de energia.

Os principais usos esperados e objetivados para os resíduos de biomassa florestal incluem:

- Combustão direta, queima ou incineração;
- Gaseificação para produção de gás de síntese ou gás combustível;
- Pirólise rápida para produção de bioóleo;
- Torreificação ou torrificação;
- Carbonização;
- Briquetagem;
- Peletização;
- Biodeterioração anaeróbica e produção de biogás; etc.

Além desses usos potenciais reconhecidos e admirados, existem outras possibilidades valiosas para utilização dos resíduos de base florestal, não com finalidades energéticas, mas como matéria-prima para manufatura de:

- Compósitos de cimento-madeira ou plástico-madeira;
- Painéis de partículas e de tiras/fitas orientadas de madeira (MDP – "Medium Density Particleboard" e OSB – "Oriented Strand Board")
- Painéis colados;
- Artesanatos;

- Compostagem e produção de adubos organominerais; etc.

Existe na literatura um grande número de textos, artigos e teses acadêmicas mostrando e demonstrando o valor energético de inúmeros resíduos de origem florestal. Pretendo lhes trazer algo parecido, colocando em um quadro os valores energéticos de diversos tipos de biomassas florestais, tanto da colheita florestal, como de resíduos de processos de manufatura industrial madeireira.

Esse quadro que estarei lhes criando é autoexplicativo, sendo que ele procurou comparar diversos tipos de resíduos florestais com base em seus poderes caloríficos úteis e com base em suas densidades energéticas. Procurei inserir no quadro duas biomassas florestais referenciais, que seriam as seguintes:

- ✓ Lenha de toras de eucalipto com casca;
- ✓ Cavacos de madeira de eucalipto obtidos da picagem de toras de troncos de árvores eucalipto, contendo a casca.

Os poderes caloríficos inferiores de cada resíduo ou cada biomassa florestal foram obtidos a partir de dados da literatura e os poderes caloríficos úteis foram derivados da fórmula proposta pelo professor Dr. José Otávio Brito:

<u>Fórmula do Dr. José Otávio Brito (1993):</u>

PCÚtil = PCI x [(100 – U)/100] – 6 . U

Onde:

U = Teor percentual de umidade base peso úmido

PCI = Poder Calorífico Inferior (Mcal/tonelada absolutamente seca)

PCÚtil = Poder Calorífico Útil na umidade tal qual (Mcal/tonelada tal qual)

Conheçam então alguns valores de PCI base seca das diversas biomassas florestais utilizadas nas comparações – valores médios da literatura:

- ➔ Pó de carvão vegetal de eucalipto = 7.400 Mcal/t a.s.

- ➔ Madeira eucalipto sem casca - 7 anos de idade na colheita florestal = 4.400 Mcal/t a.s.

- ➔ Madeira de *Pinus*, contendo casca = 4.500 Mcal/t a.s.

- ➔ Casca de eucalipto = 3.900 Mcal/t a.s.

- ➔ Madeira de eucalipto contendo casca (material de tronco de árvores com 7 anos) = 4.300 Mcal/t a.s.

- ➔ Madeira de eucalipto contendo casca (material de tronco de árvores de plantios adensados com 24 meses de idade) = 4.100 Mcal/t a.s.

- ➔ Serragem de eucalipto = 4.350 Mcal/t a.s.

- ➔ Tocos/raízes de eucalipto = 4.300 Mcal/t a.s.

- ➔ Galharia da copa das árvores de eucalipto, contendo folhas e casca = 4.550 Mcal/t a.s.

- ➔ Resíduo de pó de lixamento e de corte de chapas duras de eucalipto = 4.600 Mcal/t a.s.

- ➔ Briquetes de eucaliptos = 4.300 Mcal/t a.s.

Observem que o quadro que lhes apresento nesse texto a seguir é deveras ilustrativo, pois mostra os efeitos causados pela densidade a granel, pelo poder calorífico útil e pelas características da densificação da biomassa florestal.

Os resíduos bem secos, como briquetes (e seria também o caso de péletes), pós de lixamento e pós de carvão vegetal são mais energéticos e valiosos, principalmente para comercialização com base em peso tal qual.

Entretanto, alguns desses resíduos, quando expressados em base de sua densidade energética, perdem bastante valor, pois apresentam muito baixos valores de densidade a granel e, portanto, de densidade energética. É o caso do pó de lixamento, alguns tipos de serragem e outros materiais similares, cuja principal característica seria a baixa densidade a granel (materiais muito volumosos e leves). Em alguns desses casos, pode ser interessante ao produtor proceder à densificação desses resíduos, exatamente para valorizar os mesmos com o novo formato.

Outro fator relevante a se observar é que os poderes caloríficos inferiores na base seca, mostrados anteriormente, não são muito diferentes para muitos desses resíduos florestais. Por isso, os teores de umidade e as densidades a granel passam a serem os fatores mais diferenciais para valorização de cada tipo de resíduo, pois essas propriedades afetam o poder calorífico útil e a densidade energética de cada um dos resíduos que estamos tratando.

Apesar de ser um resíduo bastante comum no setor de base florestal, a casca do eucalipto não se mostra como sendo um biocombustível muito energético, em função de seu elevado teor de cinzas, inerente à sua composição química estrutural; potencialmente alta umidade; alto teor de contaminantes como terra e areia; baixos valores de densidade a granel base seca e baixos poderes caloríficos úteis. Entretanto, nada que seja impeditivo e que possa influenciar negativamente o seu uso energético. Bastam alguns cuidados e procedimentos em sua preparação que a casca pode ganhar reconhecimento como um excelente biocombustível.

Veremos em outra seção mais adiante, que através da preparação adequada da biomassa florestal, como pode ser o caso da casca das árvores, pode-se elevar a qualidade da mesma para melhores desempenhos energéticos.

Resumidamente, os mercados estarão sempre atentos às características energéticas dos diferentes resíduos de base florestal. O que lhes apresentei de forma simplificada no quadro a seguir mostra apenas os ingredientes que os interessados em biomassa florestal valorizam para compor as suas receitas de biocombustíveis.

Enfim, essas receitas de *mixes* são simples e os ingredientes também. O difícil é fazer com que as coisas aconteçam nos sentidos e ritmos desejados.

Comparando biomassas florestais com 30% de umidade (30%U)
(* Exceto briquetes, pó de lixamento e pó de carvão vegetal com 12%U)

	Densidade a granel base seca	Densidade a granel a 30%U	**PCÚtil a 30% U**	**Densidade Energética**	*Ranking* de Densidade Energética
Unidades	t a.s./m³ t a.s./st	t /m³	Mcal/t a 30%U	Mcal/m³	
* Pó de carvão vegetal 12% U	0,12	0,136	6.440	**876**	**3º**
Lenha de eucalipto com 7 anos – com casca	0,325	0,464	2.830	**1.313**	**2º**
Cavacos de eucalipto com 7 anos – com casca	0,17	0,243	2.830	**688**	**4º**
Cavacos de eucaliptos de plantios adensados – 24 meses	0,15	0,214	2.690	**576**	**5º**
Casca de eucaliptos com 7 anos	0,13	0,186	2.520	**469**	**10º**
Cavacos de toras de *Pinus* desbastados	0,13	0,186	2.970	**552**	**7º**
Serragem de eucalipto	0,12	0,171	2.835	**485**	**8º**
Tocos e raízes fragmentadas de eucalipto	0,14	0,200	2.830	**566**	**6º**
Galharia de copa contendo folhas	0,11	0,157	3.005	**472**	**9º**
* Pó de lixamento de chapas duras a 12%U	0,10	0,113	3.976	**450**	**11º**
* Briquetes de eucalipto a 12%U	0,65	0,738	3.712	**2.739**	**1º**

12%U = 12% Umidade; 30%U = 30% Umidade

==========

RESÍDUOS DAS INDÚSTRIAS DE BASE FLORESTAL

Resíduos florestais – uma das potenciais utilizações energéticas dos eucaliptos

Os processos de industrialização da madeira costumam ser fontes importantes de geração de resíduos de biomassa florestal. Há situações muito conhecidas e relatadas por todos, como é o caso da alta quantidade de resíduos gerados no desdobramento mecânico das toras de madeira nas serrarias. Em geral, mesmo em serrarias com tecnologias no estado-da-arte, esse processamento de serrar as toras

acaba convertendo mais da metade do peso das mesmas em resíduos lenhosos.

No passado não muito remoto, era muito comum se encontrarem em muitas das fábricas do setor de base florestal, enormes pilhas de resíduos de casca, serragens, lâminas, refilos, toretes de lenha muito sujos, etc., etc. Todos ficavam estocados ou largados ao tempo em algum lugar muito feio, aguardando não se sabia bem o que, nem o por quê? Se não se colocasse um pouco de atenção, essas pilhas adquiriam dimensões e formatos que lembrariam cenas de filmes de terror ou paisagens lunares de desolação.

Com o crescimento da indústria, tamanho desperdício seria lamentável, pois se gerariam passivos ambientais difíceis de serem gerenciados. Por isso, a indústria de base madeireira acabou adotando diversos procedimentos e tecnologias que permitiram a redução dessa geração, embora sem conseguir eliminação completa.

Os seguintes procedimentos foram assim criados:

- ✓ Redução da geração de resíduos na origem, nos locais dos processos onde o resíduo está sendo gerado ou criado pela primeira vez;
- ✓ Reutilização de um resíduo gerado por um processo no mesmo processo, ou em outro processo industrial dentro da mesma unidade produtiva.
- ✓ Venda dos resíduos como subprodutos da linha de fabricação, destinando-os para diversas utilizações, sendo a principal orientação as de fins energéticos.

Mesmo os processos reconhecidos como grandes geradores de resíduos, como era o caso das serrarias e operações industriais beneficiadoras da madeira (laminação, marcenarias, produção de móveis, etc.), já não possuem mais quantidades significativas de resíduos para disposição final em aterros de resíduos sólidos. Isso se deve ao fato que a maioria das empresas conseguiu equacionar a problemática dos resíduos, transformando aquilo que era um enorme problema em novas oportunidades de negócios e de geração de receitas econômicas.

Quase todas as indústrias da base florestal geram resíduos que podem representar entre 5 a 50% da quantidade ingressante de

madeira ou da biomassa florestal associada à madeira (casca, por exemplo).

Existem diversas razões para que as perdas de biomassa e geração de resíduos sejam elevadas nas fábricas do setor:

- As toras de madeira costumam ser recebidas com a casca em muitos processos industriais, sendo que o processamento implica na remoção dessa casca, que acaba sobrando como resíduo. Como a casca chega a representar 10 a 20% do volume e entre 6 a 9% do peso das toras, é fácil verificar que a contribuição da casca para gerar resíduos pode ser muito grande e muito significativa.

- As toras das árvores são materiais com uma forma que lembra a um cilindro afunilado, enquanto muitos procedimentos exigem que se extraiam peças com formatos com seções retangulares ou quadradas (serrarias, laminadoras, etc.). Isso representa a geração de enormes quantidades de refilos e costaneiras, que são produzidas apenas para mudar o formato das peças e o *design* dos produtos.

- Muitas empresas ainda possuem tecnologias antiquadas, com baixos níveis de automação e de sistemas inteligentes que permitam um melhor aproveitamento das toras de matéria-prima florestal.

- Muitas empresas possuem gestão pouco ecoeficiente, com seus técnicos e gestores "acostumados" com a geração de resíduos, não se preocupando ou não enxergando soluções técnicas e econômicas para esses resíduos.

- As tecnologias de processo, mesmo as mais ecoeficientes, implicam em modificações na forma das toras para outros formatos como cavacos, partículas, pós, fibras, etc. A cada transformação da madeira e derivados sempre acabam se formando resíduos ou materiais desclassificados, ao quais precisam ser removidos como resíduos para se conseguir manter as especificações de produtos e processos.

- As toras de madeira não são uniformes em: formato, constituição, morfologia, sanidades, danos mecânicos, etc. Sempre existem madeiras defeituosas (nós, madeiras apodrecidas, madeira esfacelada, etc.), que precisam ser recolhidas e descartadas.

- Os processos industriais sempre geram produtos desclassificados (refugos) que não atendem às especificações desejadas pelos clientes e que acabam engrossando a geração de resíduos.

Quando ocorrer a reabilitação desses produtos "off-grade", a geração de resíduos pode diminuir. Entretanto, na maioria das vezes, os produtos desclassificados não são convertidos em produtos vendáveis de segunda categoria, pois as empresas não gostam de vender seus produtos desclassificados por dois motivos principais:

1. Para evitar macular a imagem ou a marca de seu produto bom e fabricado dentro dos rígidos padrões de qualidade.

2. Para não criar uma competição indesejada dos produtos desclassificados com os produtos fabricados dentro das especificações. Muitos clientes costumam preferir pagar menos por um produto pior, e isso acaba criando uma competição do fabricante com ele mesmo.

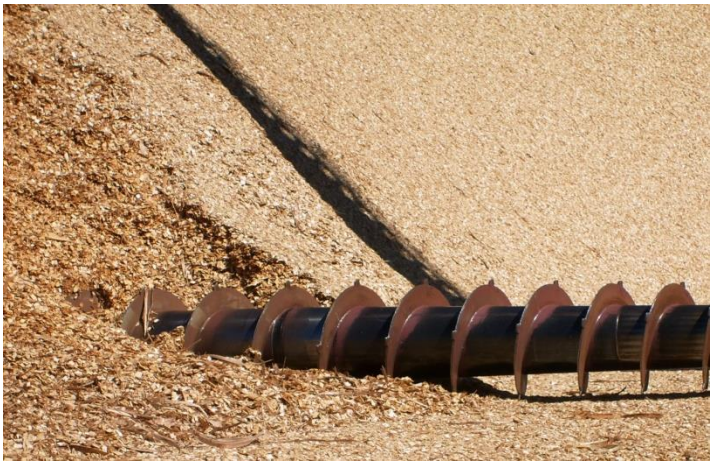
Costaneiras de eucalipto vendidas para fabricação de cercas e páletes de segunda qualidade

Refilos de serrarias, marcenarias e fabricantes de móveis

Os principais resíduos de biomassa florestal que são gerados pela indústria de base florestal são os seguintes:

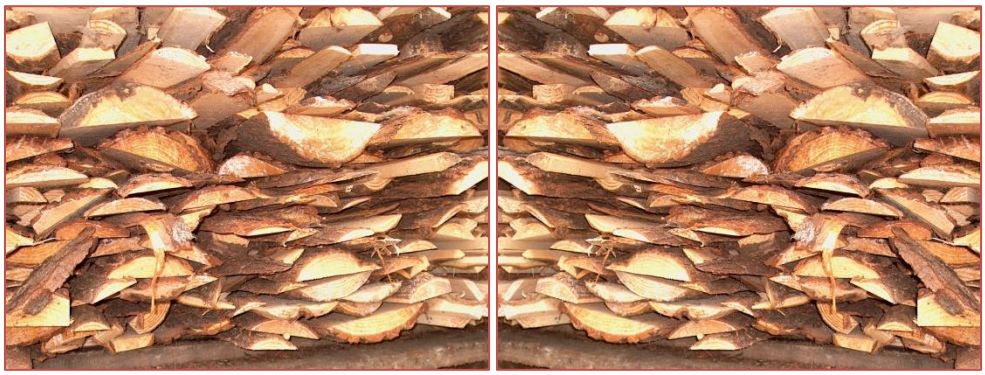
- CASCA, que normalmente é comercializada após peneiramento e picagem, sendo eventualmente prensada para remoção do excesso de água ou para aumentar a densidade a granel e a densidade energética.

- CAVACOS DE MADEIRA COM CASCA, que normalmente são cavacos resultantes de sobras de processo industrial ou que são produzidos pela picagem ou trituração de outros tipos de resíduos (como os cavacos de serrarias).



- SERRAGENS, que podem ser obtidas na classificação dos cavacos (fração de menor granulometria) ou no beneficiamento mecânico das toras pelo seu seccionamento ou traçamento.

- COSTANEIRAS, que são fatias de madeira geradas na mudança do formato cilíndrico das toras para formatos retangulares ou paralelepipédicos. As costaneiras podem ser vendidas como tal, principalmente para produção de cercas, páletes, galpões rurais, caixotes de frutas, etc. Nesse caso, há necessidade de se selecionarem as peças, para uniformização de qualidade. Para simplificação de procedimentos, muitas serrarias convertem as costaneiras em cavacos de madeira com ou sem casca, ou de forma separada ou misturadas com outros tipos de resíduos, tais como: lascas, toretes, destopos, sobras de processo, etc.
  Existe também um mercado muito atrativo para cavacos obtidos somente de costaneiras, principalmente de costaneiras obtidas de madeiras sem casca de *Pinus* ou *Araucaria*. Isso se deve ao fato de que as costaneiras são principalmente constituídas de madeira de lenho tardio, que possuem fibras de paredes mais espessas e madeiras com maior densidade básica. Esses cavacos de costaneira são muito demandados pelas fábricas de celulose de fibras longas que produzem papéis de embalagem, onde as resistências ao rasgo e tração são críticas e que podem ser melhoradas pelas fibras das costaneiras.



- REFILOS, que são seções de madeira retiradas para enquadramento das peças em dimensões pré-fixadas. Refilos são também extraídos quando se removem porções de madeira com defeitos (resinas, nós, doenças, apodrecimento, etc.). Os refilos podem ser vendidos na forma como coletados para marcenarias ou artesãos, ou também convertidos em cavacos.

- MARAVALHAS, PALHAS OU CEPILHOS, que são fitas pequenas de madeira (pequenas lâminas) obtidas no processo de aplainamento das tábuas ou ajustes de dimensões de peças. Trata-se de material bastante leve e volumoso, muito desejado pelos produtores rurais em granjas de aves e suínos. São usados como camas de aviário ou de suínos, podendo depois serem biodegradados e vendidos como compostos orgânicos. Entretanto muitas maravalhas são contaminadas com outros resíduos e a serrarias acabam também as vendendo como energéticos.

- LÂMINAS DE MADEIRA, normalmente produzidas como resíduos na laminação das madeiras para fabricação de móveis e compensados. O destino usual é a conversão em cavacos para finalidades energéticas.

- PÓS DE LIXAMENTO OU FARINHAS DE MADEIRA, produzidos nos processos de lixamento de móveis, painéis do tipo MDF, tábuas, peças de esquadrias, etc. Em geral, são bastante energéticos, pois quase sempre são partículas muito secas. Entretanto, apresentam o defeito de serem resíduos muito volumosos e leves, com baixa densidade a granel e baixa densidade energética. Quando classificados, podem ser destinados à fabricação de produtos mais nobres como compósitos de madeira/cimento ou madeira/plástico. Podem também serem matérias-primas para fabricação de calçados, palmilhas, solados internos, etc. Podem ter ainda utilizações ambientais, como adsorventes de poluentes em tratamento de efluentes, na contenção de vazamentos de óleos, etc. Como são partículas muito finas, sofrem deterioração microbiológica rápida, podendo ser também usados na compostagem de resíduos orgânicos, mas para isso é interessante que se façam ajustes na relação Carbono/Nitrogênio do material sendo compostado.

- REFILOS DE PAINÉIS OU DE CHAPAS DE MADEIRA, que são resíduos gerados nas fábricas de móveis e de painéis de madeira dos tipos MDF ("Medium Density Fiberboard"), MDP ("Medium Density Particleboard"), chapas duras ("Hardboard") e OSB ("Oriented Strand Board"). Conforme a dimensão das peças, esses refilos podem ser usados para produção de forros, páletes, caixotes e outras peças de madeira. Podem também ser triturados em fragmentos de madeira que são também vendidos como cavacos energéticos.

- RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL, que se constituem de misturas irregulares de diversos tipos de produtos madeireiros que sobram como resíduos em processos da construção civil, como tábuas, escoras, estacas, chapas e painéis, etc. Esses materiais podem ser vendidos em peças maiores ou fragmentados como cavacos. Podem mostrar níveis variados de contaminações com cimento, terra, etc.

- RESÍDUOS DE FÁBRICAS DE CELULOSE, que podem ser uma variedade grande de resíduos, alguns fibrosos, outros na forma de cavacos irregulares e desclassificados por dimensões ou

contaminações, e até mesmo resíduos do cozimento dos cavacos de madeira. São quase sempre queimados nas próprias fábricas de celulose e papel como fontes de energia nas caldeiras de biomassa.

- RESÍDUOS DE FÁBRICAS DE PAPEL, que costumam serem sobras de papéis contaminados ou sujos, caixas de papelão estragadas, fibras sujas da depuração celulósica, etc. Mais comum que entrem em processos de reciclagem de fibras e cargas minerais do que como fontes de biomassas combustíveis.

- RESÍDUOS DE MADEIRA DE INDÚSTRIAS GERAIS NÃO MADEIREIRAS (alimentícia, autopeças, veículos, etc.), aparecendo em geral como peças de embalagens de madeiras, de papelão, de páletes quebrados ou defeituosos, etc. Como esses materiais contêm pregos e parafusos, é muito comum que sejam doados a ONGs – Organizações Não-Governamentais, que separam as peças de madeira para venda ou para converter as mesmas em fragmentos de madeira para fins energéticos.

- FRAGMENTOS DE PROCESSOS DIVERSOS DE INDUSTRIALIZAÇÃO MADEIREIRA. Nesse grupo se incluem inúmeros tipos de resíduos de algumas indústrias da base florestal, como os fabricantes de palitos de fósforo, de dentes ou de sorvetes, lápis, caixotes, embalagens, páletes, etc., etc. Quase sempre, esses resíduos acabam sendo utilizados como resíduos energéticos na própria unidade industrial geradora dos mesmos, para aquecimentos, secagem de peças de madeira, etc.

- RESÍDUOS DE MADEIRA DE ENTREPOSTOS LOGÍSTICOS, ARMAZÉNS, PORTOS, ETC., sendo na maioria dos casos resultantes de embalagens e páletes de madeira.

- RESÍDUOS DE PROCESSO DE COMBUSTÃO, que se constituem em fragmentos de madeira parcialmente queimadas ou de cinzas ainda contendo altos teores de carbono orgânico e que foram retiradas como resíduos das caldeiras ou fornalhas, porém, ainda podendo merecer novas oportunidades como biomassa energética.

- RESÍDUOS DE CARVÃO VEGETAL, que aparecem como materiais residuais nos processos de produção e preparação do carvão vegetal.

Além das utilizações relatadas para esses diversos resíduos de origem florestal, que aparecem em processos de industrialização da madeira, existem outros que deverão surgir com maior amplitude, quando os novos processos das biorrefinarias de base florestal se tornarem mais comumente aplicados em operações industriais como: gaseificação, torrefação, pirólise rápida, etc.

A carbonização de resíduos para produção de carvão vegetal e a peletização e briquetagem estão em franco processo de crescimento no Brasil, principalmente os sistemas de densificação de resíduos de biomassa florestal, inclusive de resíduos carbonizados.

Essas novas tendências estão se comprometendo a oferecer produtos de biomassa florestal energética de maior qualidade, mais densos, mais caloríficos e mais secos.

A vantagem de uma carbonização prévia de resíduos para convertê-los em péletes ou briquetes, de forma integral com o material carbonizado, ou misturado a outros tipos de biomassa, é a grande agregação de qualidade energética aos produtos de biomassa florestal. Outra vantagem da carbonização prévia é que ela acaba se constituindo também em um processo de secagem da biomassa, pois a água da madeira se perde em grande parte durante a decomposição térmica da madeira, ou seja, na sua carbonização.

A gestão dos resíduos industriais de origem florestal apresenta alguns desafios a serem gerenciados, alguns de cunho legal, outros administrativos e outros logísticos. Existem ainda os aspectos ambientais e o de registro e licenciamentos dessas atividades.

Qualquer resíduo industrial, para ser comercializado, precisa de uma autorização ou licença ambiental a ser obtida junto aos órgãos de licenciamento e controle estadual. Se o produto for para uso doméstico ou agrícola, outros registros podem ser necessários junto a entidades municipais e federais, como pode ser o caso do Ministério da Agricultura.

Quando a casca das árvores chega à fábrica, ainda do lado de fora do portão de entrada, ela é considerada como casca pelos órgãos ambientais. Entretanto, depois que ela entra, sofre modificações de dimensões, umidades ou outros tipos, ela se converte como em um passe de mágica em um resíduo industrial, o qual deve obedecer todas as recomendações da licença ambiental concedida para funcionamento da atividade industrial. Isso porque o resíduo de casca ou de outra biomassa florestal pode apodrecer, liberar chorumes ácidos, se incendiar espontaneamente ou propositadamente, etc. O órgão ambiental precisa sempre ser ouvido no caso de se desejar dispor um resíduo para fora da empresa, em um local diferente do aterro industrial. Isso é válido mesmo que seja para espalhar a casca sobre o solo florestal, como matéria orgânica retornando ao ambiente florestal.

Chorume ácido liberado por uma pilha de cavacos de madeira

Outro tema de natureza sanitária e ambiental consiste na utilização das madeiras de embalagens, que são originadas do exterior. Como existe sempre o risco de pragas quarentenárias, existe todo um processo legal para incineração ou expurgo dessas madeiras. Algo a ser olhado e obedecido com atenção e cuidados.

Quanto aos desafios a serem gerenciados na comercialização de resíduos, podemos citar os relacionados a:

- Coleta;
- Segregação;
- Limpeza e classificação;
- Armazenamento e estocagem;
- Misturas para equalização
- Transporte e logística;
- Atendimento às especificações;
- Controle de qualidade e quantidades.

Cavacos de serraria sendo descarregados para combustão em caldeira de força

Cavacos de serraria contendo maravalhas e fragmentos de lâminas de madeira

Como cada caso é um caso específico, não há como se definirem regras gerais ou processos padronizados. Tudo vai depender das condições locais, da homogeneidade dos resíduos gerados ou coletados, da intensidade de sua geração, etc.

Muitas vezes, existem diversos pontos geradores de resíduos florestais em uma região, que pode ser um polo moveleiro, um polo madeireiro, etc. Nesses casos, pode haver interesse em um esforço concentrado de trabalho cooperativo integrado entre produtores e consumidores para orquestrar a comercialização desses resíduos na região, com estabelecimento de procedimentos, especificações e licenciamentos.

Outras vezes, impera a desorganização. Cada empresa quer se livrar do seu resíduo o quanto antes, começando assim uma disputa comercial entre elas, o que acaba aviltando os valores de venda e prejudicando a oportunidade de se venderem produtos de maior valor e qualidade.

Quase sempre, as empresas que compram biomassa florestal energética são grandes consumidoras de combustíveis. Elas precisam de muita biomassa, pois suas centrais termelétricas demandam por muita matéria-prima energética. Como grandes quantidades estão envolvidas, isso pode significar oportunidades de melhorias nos processos logísticos nessa cadeia de suprimento, com melhoria de resultados para todos os atores envolvidos nessa comercialização.

Qualquer resíduo de biomassa florestal de origem industrial tem alguns requisitos qualitativos a obedecer, os mesmos já comentados para todas as biomassas florestais:

- ✓ Homogeneidade;
- ✓ Densidade energética;
- ✓ Poder calorífico útil;
- ✓ Teor de umidade;
- ✓ Densidade a granel;
- ✓ Teor de cinzas contaminantes.

Maravalhas de madeira de eucalipto obtidas em madeireira

Como as empresas geradoras podem possuir e gerenciar diversos tipos de resíduos, pode-se considerar que existem duas opções básicas a elas:

- Venda de cada tipo de resíduo em separado, segregando assim os seus processos de manejo dos resíduos;

- Dispor de uma central de preparação dos resíduos, onde cada resíduo pode ser preparado (picado, classificado, limpado, secado, prensado, etc.) e depois até mesmo misturados proporcionalmente de maneira a se ter um produto homogêneo e mais constante em desempenhos e qualidades.

Cavacos de madeira com casca ao lado de resíduos de serragem

Processo de mistura dos dois resíduos acima

Quando a empresa geradora não segrega ou prepara seus resíduos para venda, ela atua apenas na venda tal qual de seus resíduos brutos, sem agregação de valor a eles. A empresa compradora se acha no direito de pagar o menos possível por esses materiais, pois são resíduos industriais e nada mais. Já quando a empresa qualifica seus resíduos de biomassa florestal, ela está na verdade produzindo novos produtos para seu portfólio de produtos vendáveis, que ela pode comercializar como tipos especiais de biomassa energética renovável.

Conhecendo seus diversos resíduos, ela pode compor *mixes* de resíduos conforme as necessidades dos compradores, dando homogeneidade, qualidade e atendimento a especificações para esses produtos de seu negócio em bioenergia. Com isso, a empresa compradora terá maior efetividade nos seus processos de combustão e geração de calor, vapor e eletricidade, obtendo melhores rendimentos, eficiências e resultados econômicos. É tudo uma questão de cálculos, estudos e compromissos. Com isso, a empresa produtora desses materiais de biomassa energética pode, através dos dados e quantidades disponíveis de cada resíduo, estabelecer fórmulas ou receitas que permitam calcular as quantidades de resíduos a serem misturadas, para dispor de produtos mais uniformes e valiosos.

Mesmo que os resíduos tenham valores de densidade a granel diferentes entre eles, o "mix" pode ajudar nessa homogeneização, ou até mesmo podem ser agregados processos de densificação das misturas de resíduos para tonar o combustível ainda melhor. Com isso, a empresa se verticaliza e agrega mais valor às suas matérias-primas. Logo, a empresa geradora deixa de ser uma gestora de resíduos para se converter em uma produtora de biocombustíveis com qualidades admiradas e com garantias de suprimento.

Enfim, alternativas existem e elas estão disponíveis para reflexões e ações. Basta se ter, estudar, querer, fazer e fazer bem, respeitando os argumentos e as necessidades dos mercados compradores.

Casca energética obtida de toras de *Pinus*

Algumas considerações sobre a geração de resíduos de biomassa industrial por tipos de setores produtivos

➔ Setor de celulose e papel

Os principais resíduos orgânicos florestais gerados por uma fábrica de celulose são os seguintes:

A. Casca do descascamento e limpeza das toras

Casca combustível

Casca fragmentada - Um combustível renovável muito usado e mesmo comercializado pelo setor

Em geral, a casca do descascamento das toras é bastante "contaminada" com madeira (entre 10 a 20% de seu peso seco), devido à quebra de toretes de madeira fina, que se rompem e saem dos descascadores a tambor junto com as fatias arrancadas de casca.

Esse material é relativamente seco e não é muito difícil a separação da terra e areia, em função de que a maior parte dessas partículas minerais não está muito aderida na casca.

Mesmo assim, o resíduo de casca apresentará elevados teores gravimétricos de cinzas (entre 3 a 8% base peso seco), pois a própria casca é rica em elementos minerais em sua constituição química.

Casca seca e limpa separada na classificação dos cavacos

Outro tipo de casca comum nas fábricas de celulose é a casca suja, que possui altíssimos teores de umidade (acima de 50%) e de cinzas (acima de 10%). A casca suja se libera nos pátios de toras de madeira, onde pedaços de casca caem sobre o piso, que em geral não é pavimentado e se sujam pela contaminação com terra e pela passagem de veículos sobre eles. Também surgem de forma intensa na seção de lavagem das toras. Como isso é feito com jatos fortes de água, elas se molham e se sujam com a terra e resíduos de galhos e folhas, que são removidos das toras pela lavagem das mesmas.

Existe uma interessante literatura sobre a casca das árvores e sobre a casca suja, que foram capítulos de nosso Eucalyptus Online Book, que podem ser obtidos para leitura em:

Resíduos sólidos industriais do processo de fabricação de celulose e papel de eucalipto. Parte 04: "Casca Suja". C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 21. 100 pp. (2010)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT21_CascaSuja.pdf

Casca da árvore do eucalipto: aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de celulose e papel. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 01. 109 pp. (2005)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_casca.pdf

A quantidade total de casca (muito contaminada com madeira) gerada como resíduo em uma fábrica de celulose de mercado pode variar entre 2 a 15% do peso total de madeira comprada, dependendo das particularidades de cada fábrica e formas de gerenciar as perdas, as contaminações e as associações de madeira junto à casca. Percebe-se que se trata de quantidades significativas.

Algumas empresas fazem o descascamento das toras na própria floresta (parte das toras, ou todas elas). Isso reduz a entrada de casca nas fábricas, porém como esse descascamento nas florestas não é muito eficiente, uma certa e impactante quantidade de casca ainda entra nas fábricas e vai se concentrar quase que totalmente como casca suja. Em geral, a eficiência de descascamento das máquinas de colheita atingem no máximo 80 a 90%, ou seja, entre 10 a 20% da casca das árvores acaba permanecendo para a maior parte virar resíduo nas fábricas de celulose.

Toras sujas que trazem terra e galharia para sujar a casca removida pelos descascadores

Pátio do resíduo “casca suja”

B. Serragem da classificação dos cavacos

Trata-se de um material de excelente qualidade, embora possa conter areia em sua constituição. Costuma ser vendido ou como biomassa energética ou para fábricas de aglomerados de madeira.

A quantidade gerada de serragem varia entre 0,5 a 2% por peso seco de madeira consumida pelo processo de fabricação de celulose. Ela pode ser segregada em dois tipos de serragem: fina e grosseira, essa última pode conter pequenos gravetos ou palitos de madeira.

C. Cavacos sobre dimensionados, lascas e fitas de madeira contendo casca

Trata-se de material com excelente valor energético, bastando que se melhore a sua granulometria usando algum triturador específico para redução de dimensões e homogeneização. Os cavacos grandes que forem repicados podem retornar ao processo de fabricação de celulose ou serem consumidos ou vendidos como material para a bioenergia.

D. Rejeitos do cozimento e depuração

Consiste de material orgânico descartado pela depuração das fibras de celulose, contendo altas quantidades de licor residual do

processo de polpação. Em geral, o excesso de licor causa problemas de percolação de um chorume escuro e de odor muito desagradável. O material deve ser reutilizado no processo, pois seu valor energético é baixo, em função da elevada umidade e teor de elementos minerais cáusticos do licor de cozimento. Entretanto, quando a geração é pequena, em fábricas mais modernas, esse material acaba sendo direcionado para mistura com a biomassa combustível e segue para a queima nas caldeiras de força.

E. Madeira descartada nos pátios de estocagem de toras

Esse material é rico em toras quebradas, esfaceladas, apodrecidas e perdidas pelas máquinas que operam nesses pátios de madeira. Em geral, apresentam-se muito contaminadas com terra, pedras, cascas, umidade e outros materiais residuais dessas operações. Essa madeira pode ser lavada, picada e retornar ao processo ou ao pátio de estocagem de biomassa combustível, para uso energético. Raramente esse tipo de material retorna ao processo principal de produção de celulose.

F. Lodos das estações de tratamento de efluentes

São materiais muito úmidos, com baixa agregação energética pela sua combustão, que são mais queimados por se considerar a queima uma forma de se eliminá-los como resíduos, do que como fontes energéticas.

Lodo orgânico

Lodo orgânico misturado com serragem para facilitar a sua queima de caldeira de biomassa

As fábricas de papel também geram resíduos de biomassa, que podem ter outros destinos, além daqueles para combustão em caldeiras de força; até porque eles podem conseguir utilizações capazes de pagar mais por eles do que as empresas usuárias de bioenergia florestal.

Os principais resíduos de biomassa de uma fábrica de papel são os seguintes:

A. Lodos da fabricação do papel

Normalmente são materiais ricos em fibras e em cargas minerais, que costumam ser utilizados pela indústria cerâmica, por olarias, pela indústria de cimento, etc. Ao mesmo tempo em que fornecem energia, podem também prover cargas minerais como caulim e carbonato de cálcio ao usuário.

B. Resíduos da depuração de fibras

São normalmente vendidos como fibras de segunda qualidade para fabricantes de papéis de embalagem e papéis sanitários, ou purificadas e reutilizadas pelo próprio sistema de fabricação de papel.

C. Aparas de papel

Também vendidas para a indústria de papéis reciclados, ou recicladas como fibras internamente à fábrica geradora.

Algumas poucas empresas fabricantes de celulose e papel costumam coletar alguns desses resíduos fibrosos de seus processos e os incineram nas caldeiras de força, misturados a outros tipos de biomassas florestais energéticas. Em geral, dão preferência a queimar resíduos que teriam que descartar em aterros, tais como aparas contaminadas de papel, lodos, etc. Na verdade, o que se busca é uma espécie de co-combustão desses resíduos com outros tipos mais energéticos de biomassas florestais.

Algumas vezes, a queima de alguns resíduos precisa ser devidamente autorizada pelos órgãos ambientais competentes, pois eles podem colocar restrições a esses tipos de queima, uma vez que o que se está querendo fazer na verdade está mais para uma incineração de lixos industriais do que de combustão energética de ricos e valiosos combustíveis.

O poder calorífico útil de resíduos da industrialização do papel depende muito do teor de umidade e do teor das cinzas minerais presentes nos mesmos. Não podemos nos esquecer de que muitos papéis são produzidos com altas quantidades de cargas minerais em sua composição, como caulim e carbonato de cálcio, sendo que esse último inclusive pode sofrer decomposição térmica dentro das fornalhas, convertendo-se em cal virgem.

➔ Setor de desdobramento de toras e de peças de madeira

As serrarias, marcenarias e madeireiras são reconhecidas como grandes geradoras de resíduos, como já mencionado anteriormente. É comum se encontrarem dados que mostram que uma serraria pode rejeitar praticamente 50% do material que recebe na forma de toras para desdobrar.

Até certo ponto, dá para entender um pouco esse grande desperdício, pois as serrarias costumam receber toras com casca, e só esse material pode representar mais de 15% do volume das toras, conforme a espécie florestal e as dimensões das peças. Como a casca não interessa para a produção de tábuas e artefatos de madeira, já começa ai a enorme geração de resíduos.

De maneira geral, pode-se dizer que uma serraria tem o potencial de gerar entre 40 a 60% de resíduos em relação ao volume total de toras recebidas. A proporção usual de resíduos sendo gerados nesse tipo de desdobro e processamento mecânicos de toras é a seguinte:

- ✓ Costaneiras – 20 a 25%
- ✓ Aparas, refilos, toretes e destopos – 30 - 35%
- ✓ Casca – 15 a 25%
- ✓ Serragens, maravalhas, cepilhos – 15 a 20%

A qualidade e a pureza de cada tipo de resíduo dependem das tecnologias de processamento, dos procedimentos operacionais e da qualidade das toras. Há serrarias que não descascam as toras e as costaneiras saem como peças contendo a casca, outras preferem serrar toras bastante úmidas, outras descartam muita madeira defeituosa pela qualidade baixa dos insumos que adquirem, etc. Enfim, existem muitas singularidades e particularidades nesses tipos de processamentos.

Por essas razões, dá para se afirmar que as serrarias não apresentam uma uniformidade de quantidade de resíduos ou de qualidade dos mesmos. São comuns misturas de diversos tipos de espécies, principalmente de madeiras de *Eucalyptus* e de *Pinus*. Enfim, as situações são bastante variadas.

Essas variações de qualidade acabam impedindo que os resíduos ganhem utilizações mais nobres, acabam sendo destinados para processos de combustão, mesmo que se encontrem misturados e sejam

irregulares em qualidade. A combustão é bem mais tolerante a essas variações em qualidade e composição, embora os que a utilizam prefeririam comprar resíduos mais uniformes e secos.

Entretanto, essa variação desmesurada acaba por prejudicar os preços comerciais desses resíduos energéticos: sendo baratos, até que a procura aumenta e até mesmo são disputados, em algumas regiões.

Alguns resíduos são considerados mais interessantes para comercialização, pois podem ser orientados a mercados mais nobres. É o caso das maravalhas, serragens e pós de lixamento. Esses resíduos encontram usos dentro do agronegócio (como camas em granjas), para fábricas de painéis de madeira e para a indústria de compósitos com madeira e plástico ou madeira e cimento.

As costaneiras de *Pinus* e de *Araucaria*, quando isentas de casca, são um prato cheio para a fabricação de celulose de fibra longa destinada a papéis de embalagens, como já visto.

Resíduo misto de cascas e serragem originado de indústria madeireira

Atualmente, praticamente todas as serrarias possuem trituradores de resíduos para fabricar os conhecidos "cavacos de serraria". Esses trituradores, fragmentadores ou picadores são colocados nos processos de preparação dos resíduos em função das

peças que devem fragmentar e das dimensões desejadas no cavaco pronto.

Os cavacos de serraria são obtidos pela fragmentação de costaneiras, tocos, destopos, refilos, toras finas, madeiras defeituosas, etc. Podem conter quantidades significativas de casca, mas isso não inviabiliza de forma alguma o seu uso energético. Entretanto, as fábricas de celulose que compram costaneiras picadas para fabricar celulose não toleram a presença da casca, mas se fosse para uso energético, isso não seria problema.

Cavacos de costaneiras e refilos de serrarias

Os principais clientes dos cavacos de serraria são as centrais termelétricas ou processos fabris que os utilizam para produção de calor ou vapor. Cavacos energéticos de serrarias normalmente abastecem empresas industriais do setor de celulose e papel, painéis e chapas de madeira, empresas do agronegócio para secagem de grãos e de folhas, bem como empresas de serviços e de produtos cerâmicos (hospitais, restaurantes, olarias, etc.).

Atualmente, está também acontecendo a verticalização de serrarias ou de consórcios de produtores de biomassa energética residual para a produção de péletes ou briquetes para fins energéticos mais nobres, com melhores desempenhos e valores econômicos. Com isso, conseguem melhorar o problema de desuniformidade dos seus diferentes tipos de biomassa florestal. Conseguem principalmente melhorar a densidade a granel e a densidade energética de seus

resíduos, agora não mais resíduos, mas valiosos biocombustíveis renováveis.

Uma das causas para a baixa densidade a granel dos resíduos de serrarias é a alta proporção de madeiras de *Pinus,* que em geral possuem uma madeira com densidade básica bem inferior à madeira do eucalipto (0,35 a 0,38 g/cm³ para as de *Pinus* contra 0,48 a 0,52 para as de *Eucalyptus*).

➔ **Setor moveleiro**

Painéis de madeira MDF para fabricação de móveis

Atualmente, grande parte dos móveis vem sendo produzida principalmente de chapas e painéis de madeira (MDP, MDF, compensados e chapas duras), com alguma participação de peças de madeira sólida.

O processo de produção de móveis costuma gerar proporções significativas de resíduos, sendo os principais os refilos, a serragem, os pós de lixamento e as maravalhas.

Em quase todos os casos, estamos falando de resíduos de madeira seca, com altos valores de poder calorífico útil e baixos teores de umidade, a menos que esses resíduos sejam estocados ao tempo e tomem chuvas.

Os pós de lixamento e maravalhas são resíduos muito procurados para fins energéticos, apesar de suas baixas densidades a granel. São

também interessantes para outros usos nos agronegócios, como já visto.

Já os refilos, retalhos, peças defeituosas e sobras de processo acabam sendo triturados e convertidos em cavacos para comercialização.

Refilos de chapas de madeira da fabricação de móveis

Sobras de chapas de madeira da fabricação de móveis

Todos os resíduos da fabricação de móveis merecem atenção especial quanto à potencial presença de pregos, parafusos, braçadeiras e outras peças plásticas e metálicas.

Quando a geração de resíduos da indústria moveleira for significativa, o que acontece em cidades que são polos moveleiros (Bento Gonçalves/RS, Ubá/MG, Itatiba/SP, etc.), pode existir o interesse de se converter esses interessantes resíduos em péletes e briquetes. Como esses materiais já são bem secos, a fabricação desses produtos densificados é favorecida, pois se economiza a onerosa secagem dos resíduos para o processo de densificação.

Entretanto, a maioria das fábricas de móveis é constituída de pequenas e médias empresas, com geração não tão significativa de resíduos.

➔ Setor da construção civil

Apesar da grande quantidade utilizada de madeiras, a indústria da construção civil tem mudado bastante o seu gerenciamento desses resíduos, dando ênfase na reutilização, reaproveitamento e venda de peças utilizadas. Existem muitas empresas nesse setor que eram conhecidas por sua grande geração de resíduos até há pouco tempo e agora são citadas como exemplos de recicladoras e de práticas ecoeficientes de gestão de resíduos.

Os principais produtos de madeira que costumam sobrar como resíduos na construção civil são:

- ✓ Painéis de madeira (OSB, chapas duras, etc.);
- ✓ Estacas, escoras, tábuas, andaimes, etc.;
- ✓ Embalagens de produtos;
- ✓ Páletes de madeira;
- ✓ Madeira tratada e preservada.

Cada caso requer uma avaliação adequada para buscar aplicações, seja na reciclagem interna ou na conversão a cavacos para

fins energéticos. O maior problema desses resíduos é a contaminação com terra, cimento, areia e com materiais preservativos de madeira.

Sobras de madeira da construção civil

➔ Setor da laminação de madeira para fabricação de painéis e chapas compensadas

Trata-se de um setor que gera grandes proporções de resíduos, pois a laminação é demandante de madeiras com alta qualidade e costuma oferecer grande quantidade de refugos. As peças refugadas podem ser comercializadas para a fabricação de painéis conhecidos

como OSB – "Oriented Strand Board", mas também podem ser fragmentadas e os resíduos vendidos para finalidades energéticas.

Aceita-se como normal que a laminação da madeira possa gerar até 40 a 50% de resíduos, em parte pela compra de madeira com casca e em parte pelas altas exigências de qualidade nas peças laminadas, caso essas peças sejam utilizadas para revestimento de móveis.

No caso da laminação estar sendo feita para produção de compensados, as tolerâncias em qualidade e defeitos são maiores e as quantidades de resíduos são bem menores.

Existem diversas maneiras de laminar madeiras (faqueamento e laminação por desenrolamento da tora). Cada uma delas pode representar quantidades variadas de resíduos, em parte devido às qualidades e formatos das toras.

➔ Setor de fabricação de painéis e chapas de madeira

Apesar do fato de alguns processos de fabricação de painéis de madeira serem bastante tolerantes à presença de casca em sua composição, ainda assim existem perdas de cascas, refilos, serragens, pós de lixamento e peças refugadas por esse tipo de industrialização.

Existem na realidade dois tipos de resíduos de base florestal nesses processos de fabricação de chapas e painéis de madeira:

- <u>Resíduos florestais úmidos originados no setor de preparação da madeira</u>: cascas, serragens da classificação dos cavacos, cavacos desclassificados por serem sobre-dimensionados, etc.

Fitas de madeira removidas na classificação dos cavacos

Fitas de cascas removidas na classificação dos cavacos

Casca energética removida das toras antes da fabricação do painel de madeira

- Resíduos florestais secos originados nos processos industriais de fabricação dos painéis: serragem do traçamento de painéis, pós de lixamento, refilos, produtos desclassificados, etc.

Pó de lixamento

Refilos do dimensionamento de chapas

Existe grande diversidade de qualidade e de quantidades de resíduos de base florestal em fábricas de painéis de madeira. O seu uso energético é recomendado acontecer na própria empresa geradora e fabricadora dos painéis de madeira. Esses sistemas industriais são demandantes de calor (para secagem das partículas), de vapor (para amolecimento da madeira para facilitar desfibramento) e de muita eletricidade. Nada mais natural que essas empresas possuam centrais termelétricas para produção de calor, vapor e eletricidade, usando os seus resíduos como principais insumos energéticos.

Também nesses resíduos há que colocar atenção em relação ao teor de umidade, conteúdo de cinzas, presença de materiais contaminantes como resinas formaldeídicas, tintas, etc.

Apesar das vantagens de excepcionais poderes caloríficos úteis em diversos dos resíduos desses processos de fabricação, há que se colocar atenção na comercialização energética dos mesmos para restaurantes, hospitais, etc. É que alguns painéis podem possuir presença de formaldeído ou de cupinicidas, que podem trazer problemas em alguns de seus usos energéticos, mas nem todos.

Biomassa combustível mista pronta para abastecer central termelétrica

Resíduos da preparação dos painéis de madeira

==========

RESÍDUOS DA COLHEITA E DO MANEJO FLORESTAL FLORESTAL

A história recente tem mostrado variados modelos para a gestão e manejo que a silvicultura tem procurado dar aos resíduos da colheita das florestas.

Até os anos 1980's, os abundantes resíduos da colheita se acumulavam de forma irregular nas áreas florestais recém-colhidas e atrapalhavam tanto a condução das brotações das cepas como as operações de tratos silviculturais para novos plantios pela reforma da área, operações que seriam realizadas pelo pessoal da silvicultura.

A solução simplista e imediata que se tinha na época era deixar que os resíduos secassem por uns 30 a 45 dias, com isso acontecendo antes da brotação das cepas, para se atear fogo nos mesmos. Tratava-se de um tipo de manejo muito pouco amigável ao meio ambiente em que as florestas viviam. Apesar da rápida mineralização da abundante matéria orgânica, convertendo-a em cinzas, desnudava-se o solo e se agredia a microbiologia do solo.

O fogo foi utilizado por muito tempo na silvicultura brasileira. Na época, as quantidades de madeira e de resíduos perdidos por hectare colhido eram proporcionalmente maiores do que no momento presente, pois as árvores eram muito irregulares em forma e dimensões, possuíam galharia mais forte e as especificações em diâmetro mínimo para enviar as toras para as fábricas eram mais rigorosas (desprezava-

se quase tudo que tivesse diâmetros inferiores a 6 a 7 cm com casca). Também eram frequentes as árvores finas e dominadas de menor diâmetro, que acabavam sendo desprezadas como madeira de processo e viravam também resíduos.

A partir de meados dos anos 1990's, o fogo foi banido por praticamente todas as empresas plantadoras de florestas no País. Inicialmente, procurou-se enleirar os resíduos da colheita nas entrelinhas da floresta sendo colhida, o que acabou se convertendo na prática dominante. Na época, ainda se praticava a colheita por sistemas semi-mecanizados e com intensa utilização de mão-de-obra rural. Havia uma necessidade enorme de muitas pessoas trabalhando na colheita da floresta, tanto para abater as árvores como para organizar a galharia (resíduos da colheita).

Algumas empresas passaram a adotar fragmentadores ou picadores de galhos, deixando os fragmentos de forma mais organizada no campo. Rolos-facas e outros tipos de fragmentadores foram também adotados. Outros equipamentos como os rebaixadores de tocos ganharam espaço.

Tudo isso visava a facilitar as operações silviculturais subsequentes, mas não se falava em remover esses resíduos. Quando muito, se recolhiam os resíduos de madeira de toretes de maiores diâmetros para venda como lenha ou para fabricar carvão vegetal.

Todos acreditavam nos conhecimentos que surgiam da ciência florestal, mostrando as enormes contribuições que esses resíduos ofereciam na ciclagem dos nutrientes que continham e na conservação da umidade e da microvida do solo.

Essas práticas conduziram a um modelo de silvicultura bastante preservador e favorável para a ciclagem dos nutrientes e humificação da matéria orgânica dos resíduos da colheita florestal. Em geral, o que acontecia pelas práticas da época era um espalhamento mais regular dos resíduos na área florestal. Esse material rapidamente se biodegradava, se acamava, trazendo enormes benefícios ao meio florestal pelo mágico processo de ciclagem dos nutrientes.

Esse tipo de prática conservacionista perdurou até princípios da década dos 2010's, quando passaram a surgir as oportunidades para novas utilizações da biomassa florestal nas chamadas biorrefinarias de base florestal e em centrais termelétricas, dois tipos de empreendimentos industriais ávidos por grandes quantidades de biomassas.

Os principais usos para essas "novas fontes" de biomassa florestal estavam como sendo direcionados como biomassa primária (incineração direta das mesmas) ou como matéria-prima para a produção de biocombustíveis de segunda geração (biogás, bioóleo, carvão vegetal, péletes e briquetes, etanol lignocelulósico) ou

biomateriais para a indústria química (lignina, hemiceluloses, xilitol, etc.).

Portanto, o que aconteceu a partir do início dos anos 2010's foi a descoberta ou a redescoberta do valor monetário desse tipo de biomassa. Aquilo que vinha sendo uma dádiva ambiental para a floresta plantada e seu ecossistema passou a ser enxergado como matéria-prima abundante e barata.

O foco inicial foi para os resíduos de maiores dimensões: toretes, árvores finas, galhos grossos. Entretanto, logo os gulosos empreendedores também vislumbraram imensas oportunidades nas galharias finas, ponteiros, folhas e até nas raízes.

Na verdade, até que se pode entender a gula por essa biomassa, pois as quantidades de resíduos da colheita florestal são expressivas. Facilmente se podem obter mais de 30 t secas de resíduos florestais por hectare sendo colhido.

Observem os seguintes dados numéricos para entenderem as lógicas por trás desse movimento em busca dessa biomassa florestal:

O tronco comercial das árvores de eucalipto em uma floresta plantada brasileira de boa produtividade e aos 7 anos de idade pode corresponder a praticamente 80% da biomassa total das árvores, incluindo as raízes. A madeira, em nosso próximo exemplo, corresponderia a 75% do peso seco de biomassa total, a casca a 5%, as folhas 3%, a galharia a 8,5% e a touça de raízes também a 8,5%.

Dessa forma, uma floresta brasileira e plantada de eucalipto, de adequado nível de produtividade, é capaz de oferecer aos 7 anos de idade as seguintes quantidades de biomassa:

Madeira de tronco = 150 toneladas absolutamente secas/hectare

Casca do tronco = 10 t a.s./hectare

Raízes (cepa ou toco mais raízes grosas) = 17 t a.s./hectare

Folhas = 6 t a.s./hectare

Galharia (galhos, ponteiros, árvores finas, toretes descartados) = 17 t a.s./hectare

Ou seja, para se produzir 150 t a.s. de madeira de tronco, a floresta também produz cerca de 50 t a.s. do que se chama de resíduos potencialmente recuperáveis da colheita florestal.

Importante percentagem das florestas plantadas de eucalipto no Brasil abastecem fábricas de celulose de mercado, pois o País é o maior produtor e exportador mundial desse tipo de fibras celulósicas. Para a fabricação desse tipo de celulose kraft branqueada, apenas a madeira das florestas interessa aos produtores, sendo que apenas uma fração pequena de casca entra nos digestores como contaminante dos cavacos. Em geral, apenas 5 a 10% da casca das toras acaba sendo também consumida na produção de celulose kraft, e isso porque as fábricas não conseguem remover toda ela da madeira, conforme as tecnologias atuais vigentes.

As fábricas modernas de celulose, em seu estado-da-arte tecnológico, são muito eficientes em geração e consumo de energia. Com isso, a necessidade de casca energética para alimentar caldeiras de biomassa tornou-se bastante reduzida. Por essa razão, grandes quantidades de casca produzidas pelas florestas de eucalipto acabaram sendo deixadas sobre o solo, em processos de descascamento realizados na própria área florestal, durante a colheita florestal.

Essa casca se mistura aos demais resíduos da colheita (galhos, folhas, ponteiros, raízes e toras de árvores finas) compondo uma "poupança natural de nutrientes e de carbono orgânico", que vem sendo ofertada aos solos das florestas. Esse modelo ainda é predominante para esse tipo de indústria e também praticado por outros tipos de indústrias da base florestal plantada, em maior ou menor intensidade.

Alguns usuários dos produtos fabricados pela floresta de eucalipto aceitam algumas proporções maiores de casca (Exemplo: fabricantes de painéis MDF e OSB). Outros recebem toda a casca dos troncos comerciais, pois ela é também utilizada como matéria-prima em seus processos de industrialização (Exemplo: fabricantes de carvão vegetal).

Vamos voltar aos números citados anteriormente e com eles procurar entender a razão pela qual os olhos dos empreendedores se fixaram sobre essa enorme e potencial fonte de biomassa residual.

Por exemplo, uma fábrica de celulose que tem como objetivo utilizar apenas a madeira produzida pela floresta de alta produtividade de eucalipto vai poder obter dessa floresta uma quantidade equivalente a 150 toneladas absolutamente secas de madeira nos troncos das árvores por cada hectare que for colhido.

Entretanto, a floresta também estará "produzindo":

10 t a.s. de casca nos troncos

17 t a.s. de raízes e tocos

23 t a.s. de galharia total, incluindo folhas, galhos, ponteiros, toretes finos, etc.

...o que fornece uma quantidade de 50 t a.s. do que se chama de resíduos potenciais da colheita florestal. Isso equivale a uma geração potencial adicional de 30% de novas biomassas em relação ao que se vem colhendo em base da madeira colhida. Mesmo que se aproveite menos que isso, por exemplo, 30 t a.s./hectare, a percentagem base madeira produzida por hectare seria de atrativos 20%.

As quantidades que podem eventualmente serem removidas pelos novos e interessados empreendedores do verde serão as correspondentes ao tipo de biomassa que se remover além da madeira dos troncos. Caso se removam apenas a casca dos troncos e uma parte da galharia grossa, a extração pode ser equivalente a 15 a 20 toneladas a.s. de resíduos da colheita por hectare. Caso se incluam também as cepas e raízes grossas, esse valor pode atingir 30 a 35 toneladas secas por hectare – com relativa facilidade, o empreendedor "ganharia tudo isso" da maravilhosa floresta de eucalipto.

Já os empreendedores mais gulosos, que queiram extrair todos os resíduos, poderiam até mesmo obter cerca de 45 toneladas de resíduos em base seca por hectare. Entretanto, não sei por quanto tempo eles estariam obtendo esses presentes da Natureza, pois estariam esgotando o solo e grandes fontes de nutrientes, colaborando para o rápido empobrecimento da área e reduzindo a produtividade das próximas gerações de florestas.

O pior é que existem interessados ainda mais gulosos em relação à biomassa produzida pelas florestas. A próxima etapa vislumbrada por eles é a rapinagem da serapilheira ou manta orgânica de folhas, galhos finos e casca que os eucaliptos lançam ao solo ao longo de seu crescimento. Essa deposição de folhas e cascas sobre o solo pode corresponder a 5 a 8 toneladas de matéria seca por hectare e por ano. Apesar da rápida decomposição que essa biomassa sofre, no momento da colheita florestal ainda existe uma capa de biomassa ou manta orgânica sobre o solo, que pode representar entre 20 a 25 t a.s./hectare.

Tenho chamado a esse processo de limpar a serapilheira das florestas para uso industrial de "rapinagem florestal", mas não posso deixar de mencionar a vocês que essa biomassa também existe nas florestas de eucalipto, e ela não é em pequena quantidade. Por isso que existem até mesmo renomados professores acadêmicos sugerindo o seu uso para bioenergia.

"Pobre floresta de eucalipto – vai acabar cedendo todas suas riquezas e suas fortalezas". Resta saber se ela terá forças para resistir a tudo isso por algum tempo, ou se passará muito cedo a sofrer impactos terríveis em relação à sua produtividade e à capacidade produtiva desse sítio onde ela está se desenvolvendo.

Já vimos no capítulo 43 que as plantações adensadas geram quantidades proporcionalmente muito maiores de resíduos de colheita, pois a madeira dos troncos representa um percentual menor em relação à biomassa total da floresta. Isso se deve às menores dimensões dessas árvores, em função de um manejo intenso para serem colhidas aos 24 a 36 meses de idade.

Resíduos ou biomassa florestal para uso industrial ou como combustível

Existem três tipos de procedimentos gerenciais que acredito possam acontecer nessa próxima etapa da história da silvicultura do eucalipto no Brasil:

- **Procedimentos com foco na ecoeficiência das operações e do planejamento florestal**

As empresas de base florestal passarão a melhorar a forma de aproveitamento do que a floresta realmente oferece como madeira, tentando também incluir como madeira de processo as árvores e toretes finos atualmente desprezados, os galhos grossos e outras biomassas ricas em madeira, até mesmo tocos/cepas/raízes grossas.

Com isso, estarão aumentando as quantidades de matéria-prima madeira que poderia ser colhida por hectare, porém deixando sobre a área florestal uma quantidade ainda apreciável de biomassa (casca, folhas, galhos finos, etc.), dando sua contribuição como poupança florestal em nutrientes e carbono orgânico.

- **Procedimentos com ampliação do escopo na coleta de biomassa do tronco das árvores**

As empresas produtoras de celulose, papel, chapas e painéis de madeira e outros produtos madeireiros passarão a receber toras de

madeira com casca até diâmetros bem menores (3 a 4 cm) para dar a elas uma destinação para seus produtos de processo e outra energética, com produção de calor, vapor e eletricidade.

- **Procedimentos com ampla ampliação da coleta e extração de biomassa para alimentação de outros tipos de negócios de base florestal**

As empresas de base florestal passariam a atuar fortemente na geração de eletricidade e bioenergéticos (péletes e briquetes), bem como de outros bens derivados da atuação das biorrefinarias, tais como bioóleo, gás de madeira, etc. Com isso, ampliarão a extração da biomassa gerada pelas florestas, procurando, espero eu, compreender e prevenir/minimizar os efeitos ambientais que essa remoção de biomassa possa causar aos solos, recursos hídricos, biodiversidade, etc.

Enfim, teremos que criar uma nova silvicultura, com conceitos e procedimentos distintos dos que são hoje adotados.

O problema maior é que esse novo modelo já começou a ser praticado antes mesmo de se terem desenvolvido os conhecimentos científicos e tecnológicos para tornar o sistema mais ecoeficiente e mais amigo do meio ambiente.

Estou contando com o bom senso e com a responsabilidade ambiental corporativa dos atores envolvidos com isso.

Acredito que os mecanismos de certificação florestal precisam desenvolver urgentes critérios para a bioenergia da base florestal plantada, para evitar danos severos na sustentabilidade florestal com esse tipo de silvicultura.

Algumas empresas, acreditando nesse potencial de geração extra de biomassa para aumento de suas receitas, estão mudando radicalmente suas operações de colheita florestal. Elas estão buscando aproveitar componentes da biomassa florestal que até há pouco tempo atrás desprezavam. Esse desprezo era benéfico para as florestas, pois significava aumento da oferta de nutrientes, de carbono orgânico, de umidade ao solo e de qualidade da microbiologia do solo, etc.

Existem relatadas vantagens para a extração dos resíduos da colheita e a principal delas é que acabam as atrapalhações que eles causam na condução das brotações e na reforma da área. Com isso, os custos com a silvicultura se reduzem, além de se obterem receitas adicionais com a venda ou uso dessa biomassa. Aqueles que estão usando a biomassa extra das florestas também reportam maior geração de empregos para os processos relacionados à coleta, preparação, manuseio e transporte dessa biomassa florestal.

Alguns cientistas que apoiam a remoção dos resíduos da colheita argumentam que essa biomassa residual não se constitui em fonte imediata de nutrientes para a nova floresta que estará substituindo a floresta recém-colhida. Isso porque, segundo eles, o processo de biodegradação é lento e os nutrientes só seriam liberados mais tarde.

Para mim, isso não se constitui em justificativa para a remoção desenfreada dos resíduos florestais. Afinal, os sistemas florestais são sistemas onde as coisas acontecem no médio e longo prazo – não estamos falando de culturas anuais, onde tudo precisa acontecer em poucos meses. Além disso, o importante nisso tudo é não esvaziar o banco de nutrientes do ecossistema florestal.

Finalmente, existem aqueles que argumentam que a extração dos resíduos da colheita minimizam os riscos de incêndios, pois esses resíduos secam rapidamente e são altamente combustíveis, em especial as folhas secas. Em parte, esses incêndios são causados por pessoas da comunidade que visitam as áreas após a colheita florestal na busca de restos de madeira, em um processo de "roubo por formiguinhas". Com a remoção da madeira que sobra nos hortos florestais após a colheita desaparecem os motivos para essas visitas inoportunas.

De qualquer forma, não existem dúvidas que as florestas de eucalipto estão mostrando um novo e atrativo potencial para ser fonte de mais biomassa florestal do que tem hoje oferecido. Será mais um presente que os eucaliptos estarão oferecendo à sociedade humana.

Se algo der errado e a exaustão dos solos acontecer em alguns sítios florestais, por favor, não culpem os eucaliptos e sim aqueles que os estão explorando sem dar o devido troco na preservação dos ecossistemas florestais habitados por essas florestas.

Acredito que as mudanças nas operações de colheita vão acontecer muito rapidamente, pois estão surgindo máquinas novas que são poderosas, robustas e eficientes para realizar os novos trabalhos. Elas até mesmo conseguem arrancar, trituras e limpar as raízes das árvores, procedimentos que não eram realizados até há pouco tempo.

Os caminhos a serem tomados em cada caso vão depender de estudos e avaliações sobre:

- Os potenciais de aproveitamento de cada tipo de resíduos (se para o processo industrial, se para a geração de energia ou se para uso como matéria-prima para as biorrefinarias);
- A viabilidade técnica dos procedimentos e operações;
- A viabilidade econômica das atividades;
- A viabilidade em desempenhos das diversas alternativas tecnológicas;
- As flexibilidades operacionais e mercadológicas;
- Os impactos ambientais e sociais e as formas de mitigação, prevenção e compensação.

Enquanto as coisas vão se ajustando para o fortalecimento de novos modelos na engenharia florestal brasileira, teremos uma mistura de diversos atores e procedimentos acontecendo em relação à colheita também dos resíduos biomássicos produzidos pela floresta plantada de eucalipto:

- Alguns sem recolher material das florestas para uso energético, limitando suas extrações à madeira dos troncos. Podem eventualmente recolher os resíduos mais grossos para venda a residueiros florestais.

- Alguns colhendo todo o tronco com casca (tronco integral) para usar a casca ou o tronco todo como biomassa energética.

- Alguns colhendo o tronco, os ponteiros e os galhos grossos, destinando a madeira para os processos industriais de conversão da madeira e a casca e os resíduos para destinação energética. Esse processo se vale inclusive de picadores e trituradores de biomassa na própria área florestal, para facilitar o manuseio e transporte dos materiais na forma de cavacos.

- Alguns já iniciando com o aproveitamento integral da floresta, inclusive dos tocos e raízes, mantendo operações diversificadas durante a colheita para dar destinações próprias a cada resíduo.

- Alguns mudando radicalmente a forma de colher as árvores, procedendo à picagem da árvore integral na própria floresta, inclusive de todos os seus componentes sendo destinados para a produção de biomassa energética. Em geral, são empresas focadas em bioenergia, que estarão se verticalizando para produção de péletes ou briquetes ou enviando os cavacos para abastecimento de centrais termelétricas de grande porte.

Todos esses tipos de operações vão demandar estudos, dados e informações criteriosas, muitos das quais ainda em processos de mensuração e avaliação. Também se nota uma enorme variabilidade dos dados disponíveis, já que quantidades, tipos e qualidades dos resíduos são muito variados.

Essa diversidade de dados se deve basicamente a fatores tais como:

<u>Dados da floresta e do ambiente florestal</u>:

- ✓ Espécie ou clone sendo colhido;
- ✓ Idade da floresta no momento da colheita;
- ✓ Ritmo de crescimento ou produtividade;
- ✓ Volume médio e amplitude de volume das árvores;

- ✓ Espaçamento entre árvores; (densidade populacional);
- ✓ Formas, procedimentos, sistemas, planejamento e gestão da colheita florestal;
- ✓ Topografia do local da colheita;
- ✓ Condições climáticas
- ✓ Entendimento das relações ecológicas, fisiológicas, edáficas e hídricas;
- ✓ Exportação de nutrientes;
- ✓ Características da biodiversidade do local e suas interações;
- ✓ Etc.

Dados sobre os resíduos:

- ✓ Teor de madeira em relação aos demais constituintes dos resíduos;
- ✓ Teor de casca em relação aos demais constituintes;
- ✓ Quantidade aproveitável de cada tipo de resíduo;
- ✓ Formas de coletar, preparar, limpar, armazenar e transportar os resíduos;
- ✓ Teor de umidade dos resíduos;
- ✓ Teor de contaminantes (pedras, terra, etc.);
- ✓ Densidade aparente dos diversos tipos de resíduos;
- ✓ Disponibilidade de maquinários especializados para extração e preparação dos resíduos;

- ✓ Disponibilidade de recursos humanos qualificados para as operações;

- ✓ Definição de especificações factíveis para os diversos resíduos e para eventuais misturas de resíduos;

- ✓ Definição de sistemas logísticos eficientes para a coleta, separação, preparo, manuseio, formas e distâncias a transportar e armazenamento dos resíduos;

- ✓ Disponibilidade de mercados;

- ✓ Definição de sistemas industriais eficientes para os consumidores desses resíduos, incluindo o recebimento, descarregamento, estocagem, limpeza, secagem, classificação, abastecimento de unidades de conversão, etc.

Os aspectos qualitativos também são críticos, pois os resíduos da colheita florestal são muito variáveis em dimensões de partículas, formatos, origens, teores de umidade e níveis de contaminações com terra e pedras.

O potencial energético dos resíduos em termos de poder calorífico útil são surpreendentemente parecidos entre os diferentes tipos de resíduos. Com exceção das folhas, que possuem alto poder calorífico inferior (cerca de 5.000 Mcal/t seca, e alto teor de umidade, pois se secam rapidamente) e da casca (que possui mais baixo poder calorífico inferior – 3.900 Mcal/t seca e mais alto teor de cinzas), todos os demais resíduos apresentam poderes caloríficos inferiores na base seca relativamente similares.

Em geral, os especialistas em resíduos florestais definem que os poderes caloríficos inferiores na base absolutamente seca desses resíduos variam entre 4.000 a 4.200 Mcal/t a.s., sendo que se podem ajustar valores em função da constituição da mistura de resíduos com a qual se está trabalhando.

Em geral, a casca pode ser o principal constituinte da mistura de resíduos, especialmente quando ela fizer parte dos processos de remoção da mesma e incorporação no *mix* de resíduos da colheita florestal. Entretanto, é justamente a casca das árvores do eucalipto que apresenta os valores mais baixos de poder calorífico inferior e os mais altos teores de cinzas em sua constituição química.

Por isso mesmo, a qualidade final do resíduo como biomassa energética vai depender bastante da proporção de casca que ele vier a conter em sua proporção base peso seco. Quando se incluir as raízes e as cepas, o teor de cinzas também poderá aumentar e o poder calorífico útil diminuir, pois as raízes costumam ser muito contaminadas com terra (teor de cinzas entre 2 a 4%).

Em média, as empresas que estão interessadas na exploração do resíduo composto da colheita florestal estão considerando que as características médias desse resíduo misturado podem ser as seguintes:

- Poder calorífico inferior base peso seco = 4.000 a 4.200 Mcal/t a.s.
- Teor de umidade = 35 a 45%
- Poder calorífico útil = 1.900 a 2.900 Mcal/t tal qual;
- Teor de carbono = 44 a 46%
- Teor de hidrogênio = 5,5 a 6%
- Teor de cinzas = 1,5 a 4%
- Densidade a granel = 110 a 150 kg a.s./m³ empilhado ou amontoado

As diversas situações observadas e relatadas para o eucalipto também acabam se repetindo para as florestas plantadas de outras espécies florestais, como as do gênero *Pinus*, *Tectona*, *Acacia*, etc. Existe uma grande similaridade entre as práticas florestais e os conceitos técnicos desenvolvidos para a colheita de resíduos para aplicações em bioenergia.

Em todos os casos, estaremos falando em grandes gerações de volumosos resíduos a serem colhidos e convertidos em materiais para usos energéticos, com necessidade também aqui de adequados sistemas de conservação e proteção ambiental dos recursos desses ecossistemas.

Resíduos da colheita espalhados pela área da floresta de *Pinus*

Resíduos da colheita de biomassa florestal de *Pinus* sp.

Cada uma das situações deverá apresentar suas peculiaridades próprias, seus índices técnicos e formas e procedimentos específicos para ela. Por exemplo, os resíduos de biomassa florestal do *Pinus* também costumam incluir toras de árvores desbastadas. Também a densidade a granel dos resíduos do *Pinus* costumam ser menores, em função da menor densidade básica da madeira do *Pinus* em relação à do eucalipto, como já mencionado.

Mais uma vez reforço o que eu já disse antes: cada caso é um caso particular e único que deve ser avaliado sob as luzes da ciência, da tecnologia, da economia e da ambiência para que se possam atingir níveis de sustentabilidade em todos os fatores chaves de sustentabilidade e eficiência técnica e ecológica.

Trata-se de algo desafiador, não restam dúvidas. Mas também intrigante e motivador. Afinal, as florestas plantadas merecem novas oportunidades para mostrar mais valor para a sociedade e ao mesmo tempo, serem cada vez mais sustentáveis.

Resíduos da colheita do *Eucalyptus*

==========

RESÍDUOS DA PODA URBANA DE ÁRVORES

Praticamente todas as grandes cidades possuem processos de arborização urbana em suas ruas, parques e praças. Essas áreas verdes costumam ser manejadas ao longo do ano, resultando em inúmeros e variados tipos e quantidades de resíduos de biomassa. Essas biomassas surgem da poda ou desbaste de árvores e arbustos, remoção de árvores mortas e doentes, corte de gramados, etc.

A produção e remoção da biomassa florestal em grandes centros urbanos não são pequenas e na maioria das vezes se transformam em um problema de disposição para as municipalidades, que têm dificuldades em arranjar utilizações para esses materiais. Algumas vezes, e não são poucas, esse rico material acaba sendo despejado em lixões ou aterros de lixo urbano, perdendo seu rico valor energético. Outras vezes, são picados e compostados, conseguindo-se no longo prazo um composto para ser usado pelas próprias municipalidades.

Também são comuns projetos de parcerias entre usuários de biomassa energética e as prefeituras. Algumas empresas, que precisam e querem biomassa para mover suas caldeiras ou energizar suas fábricas, acabam recebendo esse material e com eles produzem cavacos para queima e geração de vapor e eletricidade.

A tendência mais comum é o estabelecimento de entrepostos de fragmentação desses resíduos, convertendo-os em cavacos para serem compostados ou vendidos a preços irrisórios como biomassa energética. O que acontece é que os departamentos ambientais municipais se querem ver livres desses materiais e aceitam baixos valores ou até doam os mesmos para que alguém os receba e use.

Quando se fizer uma compostagem anaeróbica é possível se produzir biogás, que é um excelente biocombustível gasoso para uso local. Obtém-se ainda no final da degradação um composto orgânico e fertilizante para uso nos mesmos parques e jardins.

Os resíduos da floresta urbana de árvores são muito variados em qualidade. O poder calorífico útil costuma ser baixo, pois as árvores assim que cortadas ou podadas geram resíduos que todos têm pressa de passar adiante. Uma batata quente que precisa achar um usuário – e logo. As composições são irregulares, pois as espécies são muito variadas em tipos e idades de árvores: flamboyant, guapuruvu, pau-ferro, angico, ligustro, jacarandá, pau-Brasil, abacateiro, seriguela, carvalho, plátano, sibipiruna, jamelão, mangueira, eucalipto, araucária, *Pinus*, etc.

Os custos das coletas, manuseio e estocagem são elevados, pois a geração é muito fragmentada, com pequenas gerações de biomassa por ponto de atividade. Com isso, não se podem esperar lucros com isso tudo – o que se quer é evitar prejuízos e encontrar soluções mais amigas do meio ambiente, como a reciclagem, a compostagem e a utilização energética. Como se tratam de processos verdes para o embelezamento das cidades, as comunidades costumam olhar com bons olhos e se agregam como parceiras em algumas dessas atividades.

Quando os materiais são convertidos em cavacos para facilitação de manuseios, fica mais fácil encontrar usuários para essa biomassa energética, tais como olarias, restaurantes, cerâmicas, hospitais, etc.

É claro que não se podem exigir especificações e muita qualidade de biomassas energéticas, que acabam tendo poderes caloríficos variados entre 1.600 a 3.000 Mcal/tonelada úmida. Os teores de umidade podem variar entre 15 a 50%, mas todos conhecem as regras do jogo.

Em algumas municipalidades se criam entrepostos associados de biomassa de base florestal, fragmentando também outros tipos de resíduos de madeira que surgem e sobram como lixos nas cidades: materiais de embalagens em madeira, páletes, caixotes, postes, madeiras de demolições, restos de madeira da construção civil, etc. Com isso, as ofertas de biomassa de base florestal aumentam e começam a serem mais atrativas.

Tudo depende de vontade de fazer, estudar como e colocar esforço para que as coisas aconteçam.

==========

PROCEDIMENTOS PARA PREPARAÇÃO DOS RESÍDUOS PARA USO ENERGÉTICO

Os resíduos de biomassa florestal costumam possuir alta variabilidade em termos de dimensão, teor de umidade, densidade a granel e teor de contaminantes. Eles podem ser gerados em operações industriais e diretamente das florestas, principalmente nas operações de colheita florestal.

Já lhes apresentei os principais tipos de resíduos florestais que podem se constituir em materiais para usos energéticos.

Na maioria dos casos, os resíduos florestais não costumam ser utilizados diretamente como recolhidos, pois as condições em que se encontram não se compatibilizam com o uso tal qual do mesmo como combustível.

As principais operações a que os resíduos florestais costumam ser submetidos para adaptação de seu valor para os clientes de suas energias primárias costumam ser as seguintes:

Adequação granulométrica, que consiste na trituração, fragmentação, picagem e classificação dos resíduos com objetivos de dar uma uniformidade às partículas que serão entregues para combustão ou queima (ou a outros processos de cunho energético).

Limpeza e purificação para eliminação de constituintes indesejáveis aos consumidores, tais como cinzas, terras, pedras, plásticos, metais, etc.

Compactação e prensagem com dupla finalidade: remoção do excesso de água e aumento da densidade a granel ou aparente do material.

Secagem, também com a dupla finalidade de reduzir o teor de umidade a aumentar o poder calorífico útil do resíduo.

Manuseio e transporte, com a finalidade de aperfeiçoar os sistemas de produção e entrega do produto para utilização pelas áreas clientes.

Estocagem, para garantir suprimento adequado e em tempo hábil aos consumidores, bem como para oferecer uma qualidade compatível com as especificações requeridas.

Pretendo discorrer sobre alguns pontos chaves desses procedimentos operacionais, de forma que se possam ser observadas as vantagens, desvantagens, oportunidades e gargalos dos principais deles.

Como já visto, existem três tipos principais de resíduos florestais:

- Aqueles gerados nas florestas;
- Aqueles gerados nas operações industriais;
- Aqueles gerados na poda de árvores urbanas.

Em quase todos os casos, algumas das operações válidas para um tipo de resíduo são também requeridas ou válidas em outros tipos, apenas com adequações, mas a operação e o fenômeno tecnológico são os mesmos. Existem apenas diferenças entre a forma e as características com que cada resíduo é oferecido para ser preparado para utilização energética.

Por exemplo, em alguns casos já temos o material picado ou triturado, bem como pode estar relativamente seco. Em outros casos, o material ainda está na forma bruta, virgem e úmida. Muitas vezes o resíduo está sujo e úmido, demandando esforços enormes para ser limpo e com redução de seu teor de umidade. Outras vezes, e isso é

bastante comum, o resíduo compreende uma mistura de diferentes tipos de resíduos, como por exemplo: casca, madeira, folhas, galhos, etc.

Independentemente de onde estejamos e com que resíduo estamos tratando, sempre existirá a necessidade de:

- Entender a sua geração;
- Encontrar formas de se reduzir sua geração, quando a mesma representa perdas ou desperdícios;
- Calcular o valor desse resíduo e quais os custos máximos que poderemos aplicar sobre ele, para lhe dar melhores características de uso ou de comercialização;
- Encontrar maneiras de melhorar a sua qualidade quanto à homogeneização, granulometria, teor de umidade, nível de limpeza, densidade a granel, densidade energética e poder calorífico útil.

Em muitos casos, os procedimentos se encerram com a secagem de um ou mais dos resíduos disponíveis e a mistura seletiva de alguns deles para se garantir uma mistura mais constante e uniforme do produto para melhorar seu desempenho energético.

Os processos de otimização energética dos resíduos de base florestal costumam ser exigentes em alguns fundamentos, já citados, mas que é bom que sejam repetidos:

- Garantia de homogeneidade do material;
- Evitar que o material preparado se suje;
- Evitar que o material preparado se molhe e perca valor energético;
- Evitar estoques de resíduos preparados na floresta, em locais não pavimentados e ao ar livre, pois isso tenderá a prejudicar os itens anteriores.

- Dispor de estoques estratégicos nas proximidades dos locais de consumo;

- Garantir uniformidade do *mix* de resíduos quanto às suas características fundamentais e críticas de valor energético.

- Focar em custos competitivos para os resíduos florestais energéticos, pois só mantendo os custos baixos e os preços de venda competitivos é que se poderá dar vantagem competitiva aos biocombustíveis de biomassa florestal em relação a outros combustíveis mais tradicionais, como os combustíveis fósseis.

- Focar em operações ecoeficientes, com mínima geração de perdas e de resíduos. Gerar resíduo a partir de um resíduo é algo difícil de aceitar como prática ecoeficiente, não é mesmo?

- Focar em gestão responsável, com índices técnicos e especificações a serem atingidas. Se as coisas ficarem livres, sem orientações, objetivos e índices de qualidade e desempenho, dificilmente serão atingidos os padrões de sucesso e de excelência almejados.

Na preparação dos resíduos, em praticamente todos os casos na atualidade estaremos tratando com equipamentos robustos e caros, com tecnologias variadas e em alguns casos ainda em evolução. Esses equipamentos costumam ser especializados para resíduos florestais e possuem características e conceitos típicos que precisam ser muito bem entendidos e observados, pois eles são:

- Custosos em termos de investimentos e de custos operacionais;

- Robustos, pesados e possantes;

- Consumidores de energia (óleo diesel ou eletricidade);

- Consumidores de trabalho humano especializado;

- Exigentes em continuidade operacional e utilização máxima de sua carga;

- Demandantes por manutenção rápida e qualificada;

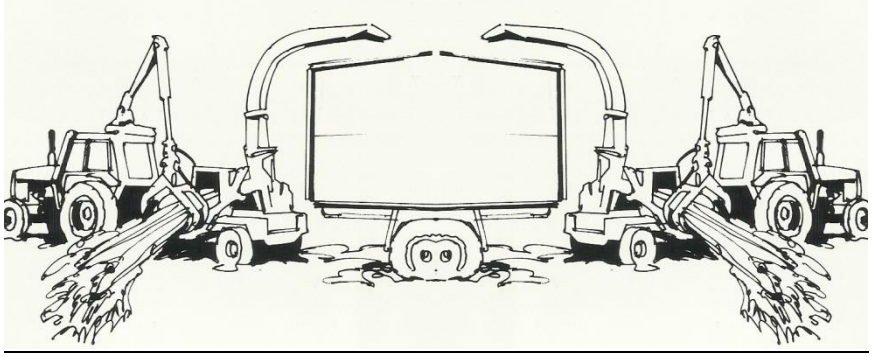
- Demandantes de transportes de um local para outro;

- Exigentes em termos de condições variadas de trabalho: condições acidentadas, terrenos úmidos, terrenos arenosos, trabalho noturno, etc.;

- Demandantes de operações seguras aos operadores;

- Exigentes em altos índices de eficiência operacional e de desempenho tecnológico.

Em resumo, são equipamentos para alta performance e não brinquedinhos para os técnicos se divertirem ou reclamarem quando as coisas não dão muito certo.



✓ Fragmentação, trituração e picagem dos resíduos

As operações de fragmentação dos resíduos florestais em partículas menores, que se ajustem melhor uma com as outras e que permitam assim uma facilitação maior do manuseio e transporte desses materiais podem ser realizadas:

- Na área florestal, em geral por equipamentos móveis e movidos com combustível líquido (óleo diesel, na maior parte das vezes);

- Nas próprias fábricas, em geral em equipamentos fixos e alimentados por eletricidade.

Nas duas situações, os objetivos são os mesmos, mas os tipos de equipamentos, os consumos energéticos e os indicadores de eficiência variam, algumas vezes, bastante.

Nas fábricas, não é o fragmentador de resíduos que corre atrás dos resíduos e sim os resíduos que são movimentados até ele.

Nas florestas, o fragmentador se move em direção até onde os resíduos estão acumulados e estocados, esperando pela operação de picagem ou trituração. Ali, esses resíduos são fragmentados e recebidos em um silo, baú ou carreta, que vai ser transportado diretamente ao consumidor ou para a próxima fase operacional.

Em todos os casos, os fragmentos gerados resultam em materiais de baixa densidade a granel (grande volume por unidade de peso seco ou pouco peso seco por unidade de volume de partículas). Os fragmentos sempre demandam por operações de manuseio e transporte subsequentes à sua geração.

Os resíduos fragmentados facilitam as operações de manuseio e transporte dos biocombustíveis, sejam elas por via pneumática, por esteiras ou correias, por pás carregadoras, por caçambas, caminhões, trens e até mesmo por navios.

As maiores dificuldades costumam acontecer nas florestas, em função das condições locais de clima, acesso, topografia, sequenciamento operacional, etc. Muitas vezes, acabam surgindo

complicadores graves para o transporte desses materiais do local de origem até o local de próximo processamento ou de armazenamento.

Existe uma espécie de regra clássica na fragmentação de quaisquer tipos de produtos. A fragmentação facilita a acomodação das partículas, mas colabora para o surgimento de muitos novos espaços vazios entre as partículas, que tiveram sua área superficial tremendamente aumentada. Portanto, ao se fragmentar a biomassa em partículas menores, estamos colaborando para uma diminuição da densidade a granel do novo formato de biomassa. Por exemplo, um metro cúbico de toras empilhadas de madeira (um estéreo) ao ser convertido em cavacos gera aproximadamente dois metros cúbicos de partículas ou cavacos, ou seja, a mesma quantidade de peso seco de madeira dobra de volume com a fragmentação. Com isso, a densidade a granel base peso seco de um estéreo de madeira de eucalipto, que poderia ser igual a 0,325 t a.s./st, passaria a ser de 0,163 t a.s./m³ de cavacos.

Ganha-se bastante em facilidade de manuseio, mas perde-se em densidade a granel e em densidade energética, obviamente.

Os equipamentos de fragmentação de biomassa florestal podem ser de dois tipos:

Picadores de discos, com facas afiadas para fatiar a biomassa em cavacos. Os picadores são mais utilizados para picar toras de madeira, com ou sem casca, com diâmetros acima de 3 cm. Sua robustez permite converter as toras até mesmo de árvores inteiras em fragmentos denominados de cavacos com dimensões próximas a 20 mm x 30 mm x 5 mm, que se acomodam muito bem em qualquer recipiente ou volume, mostrando densidade a granel entre 0,15 a 0,2 t a.s./m³.

Trituradores a tambor ou a martelos, que possuem a finalidade de triturar de forma violenta os resíduos lenhosos em partículas menores. Esses trituradores podem ser utilizados tanto nas florestas, picando toras e galharia, bem como nas fábricas, onde quebram os resíduos dos processos de produção de serrarias, painéis de madeira, móveis, madeiras da construção civil, páletes, etc.
Esses trituradores costumam mostrar excelentes eficiências, são verdadeiros "papa-tudo", quebrando páletes, dormentes, estacas, móveis, madeiras de embalagem, etc. Há que se ter o cuidado para remoção de pregos, parafusos, dobradiças e outras peças

metálicas e plásticas, senão elas serão fragmentadas também. Quando esses contaminantes têm suas dimensões reduzidas e ficam inseridos dentro das partículas de madeira, dificilmente se vão conseguir sistemas eficientes para a remoção posterior dos mesmos. Os trituradores são tão robustos e fortes que acabam triturando outros materiais que possam eventualmente acompanhar a biomassa florestal, como pedras, tijolos, peças plásticas, etc.

Cavacos de árvores inteiras ou integrais de *Pinus* contendo madeira, casca, folhas, galhos e eventualmente raízes

Os picadores ou trituradores podem ser fixos (localizados nas fábricas ou em entrepostos florestais para processamento de biomassa) ou móveis (acompanhando os resíduos conforme os locais onde são gerados).

Picadores são mais sensíveis a pedras, pedaços de metal e outros contaminantes de maiores dimensões, devendo se evitar o seu uso quando a biomassa for muito irregular e contaminada. Nessas situações, deve-se dar preferência aos trituradores de tambor ou martelos.

Picador móvel de pequeno porte, mais indicado para resíduos da poda de árvores urbanas

Transportando biomassas florestais fragmentadas

Como existem muitas opções de equipamentos, localizações, tipos de biomassa, adequações entre máquinas e resíduos, tipos de máquinas para manuseio e transporte, dá para dizer que cada situação vai merecer uma avaliação particular e criteriosa para eleição das máquinas corretas, que possam reduzir investimentos e custos e maximizar os resultados, a qualidade e eficiências.

Portanto, os gestores de biomassa florestal precisam eleger entre:

- O que picar ou fragmentar?
- Picadores ou trituradores?
- Picar no campo ou na fábrica;
- Conjuntos de equipamentos?
- Quantidades, fluxos e sistemas de produção?
- Especificações dos produtos recebidos para fragmentar e especificações da biomassa fragmentada?
- Momento adequado para fragmentação, em função do teor de umidade do material?
- Logística para manuseio, transporte e estocagem?
- Localização dos entrepostos ou centrais de operação em relação aos mercados consumidores?
- Custos incorridos por atividades?
- Preços de venda?

Os processos de fragmentação nas fábricas são bastante interessantes por permitirem:

Produtividades elevadas;

Baixos custos operacionais;

Melhor controle operacional;

Melhores controles de qualidade dos produtos resultantes;

Melhor sintonia entre a fragmentação e outros procedimentos relevantes para a preparação da biomassa florestal: classificação, limpeza, lavagem, prensagem, secagem, etc.

Melhor aproveitamento da capacidade produtiva das máquinas, pois não existem deslocamentos e perdas de tempo com *set-up* das máquinas em novos locais de atuação;

Utilização de eletricidade e não de óleo diesel para mover os equipamentos;

Manutenção mais rápida e fácil;

Etc.

Entretanto, o processo de picar a biomassa nas fábricas também possui limitações importantes, a maior de todas está na própria necessidade de se ter que levar até as fábricas os resíduos gerados nas florestas. Quando se tratar de resíduos gerados nas operações fabris, isso não traz inconveniências, só vantagens. Mas trazer árvores inteiras ou galharia volumosa e tocos disformes para as fábricas para fragmentação pode se tornar inviável em muitos casos – ou na maioria deles.

Tocos, cepas, touças e raízes grossas contaminadas com terra

Em geral, a fragmentação da biomassa florestal nas fábricas só costuma acontecer quando o resíduo de biomassa for gerado nas próprias fábricas (em serrarias, setor moveleiro, fábricas de painéis de madeira, etc.).

Triturador de biomassa
Fonte – Máquinas Bruno

Eventualmente, isso pode ser feito também em entrepostos de produção de cavacos de madeira, onde produtores rurais de madeira levam toretes de lenha ou de resíduos da colheita para que sejam processados pela empresa produtora de cavacos energéticos.

Lenha energética

A maioria das operações de picagem de biomassa energética de origem florestal acaba sendo realizada nas próprias florestas. O material a ser picado pode ser de resíduos da colheita

florestal, um material muito variado e volumoso. Outras vezes, a produção de cavacos se dá a partir da árvore integral, que é puxada em feixes ou molhos de árvores até os picadores, que as devoram rapidamente, transformando tudo em cavacos, pois são máquinas grandes e possantes.

Teremos em breve um capítulo sobre o aproveitamento integral das árvores do eucalipto em nosso Eucalyptus Online Book, no que se costuma denominar de processamento "whole-tree", "full-tree" ou "complete-tree". Trata-se da sonhada e perigosa operação de aproveitamento integral da árvore, um conceito que está ganhando terreno e espaço, tanto para a produção de energia, como de painéis de madeira (por exemplo: MDF e OSB) e celulose e papel, nas operações e produtos que sejam menos sensíveis à qualidade da madeira. Ou ainda, em situações de matéria-prima fibrosa escassa e cara.

Picar ou fragmentar os resíduos na própria área florestal agrega muita flexibilidade nas operações, facilita o transporte e a logística de estocagem. Evita também que as fábricas tenham que gerenciar novos resíduos gerados desse processamento (terra, galhos sujos, casca suja, folhas úmidas, barro, etc.). Todos esses novos tipos de resíduos desse processamento acabam ficando na floresta mesmo, quando o material for lá picado – fato pelo qual a floresta deve agradecer, com certeza.

São comuns as operações híbridas, onde parte da biomassa é picada nas fábricas em picadores estacionários e parte é picada nos florestas, com picadores móveis. A operação híbrida dá maior garantia de suprimento e aumenta a flexibilidade operacional, principalmente em

dias de chuva, quando às vezes se torna impraticável a movimentação desses equipamentos pesados e robustos pelo sistema viário florestal.

Também existem equipamentos semi-estacionários, que podem operar em entrepostos de produção de cavacos nas próprias florestas. São máquinas muito robustas, difíceis de serem transportadas, por isso se limita a sua movimentação a poucas viagens. Essas máquinas pesadas, se operarem nas florestas podem compactar os solos e danificar brotações das cepas dos eucaliptos. Dessa forma, são criados os entrepostos de resíduos ou de produção de cavacos, que podem ser utilizados de médio até longo prazo, ou até o momento em que não existir mais biomassa para ser ali processada. Nesse momento, a solução é mover as máquinas para outra localização.

Em áreas mais simples e de fácil acesso, as empresas se valem de máquinas leves, com maior grau de integração com as outras operações da logística florestal.

Entreposto de cavacos energéticos

Os picadores semi-estacionários ou "processadores" podem possuir alguns equipamentos anexos que são importantes para melhorar a qualidade das operações e dos produtos. Por exemplo, podem possuir mesas de alimentação da biomassa, que faz uma agitação ou

chacoalhamento da biomassa, o que ajuda a que essa biomassa perca sujeiras de terra, pedras, etc.

Em alguns casos, os cavacos picados antes de serem alimentados aos caminhões ou carretas passam por um sistema de remoção de gravetos, lascas e cordas de casca, fazendo assim uma pré-seleção do material que sairá do entreposto.

Esses picadores ou processadores podem fazer parte de um conjunto de operações denominadas "Road-Side", onde muita coisa acontece na beira de estradas da área florestal, ocupando alguma área de bordadura da floresta recém-abatida. As máquinas pesadas se localizam na beira da estrada e outras máquinas leves vão buscar a biomassa dentro do talhão e se ocupam também de outras operações de manuseio, transferências e baldeios.

Quando o material do talhão se torna escasso, as máquinas se movem pela própria estrada em direção a outro talhão que esteja sendo ou que já tenha sido colhido, e onde estão ricos resíduos ou produtos da colheita florestal, esperando o processamento. Muitas vezes, quando o efetivo de maquinário chega ao novo ponto de atuação, já encontra pilhas de biomassa florestal na beira da estrada, esperando o início das operações. Durante esse tempo, o material fica secando naturalmente no campo, perdendo alguma umidade.

A regra é não perder tempo algum, em operações conhecidas como realizadas a quente, ou com bafo-na-nuca. São sinônimos de operações sequenciais rápidas e efetivas.

Apesar de alguma espera para que os resíduos percam umidade, o objetivo das máquinas ao chegarem ao local é processar a biomassa e remover os cavacos produzidos o mais rápido possível, por três razões:

- Facilitar as operações subsequentes da área de silvicultura, em sistemas de gestão com altos níveis de integração;
- Não ter que trazer essas máquinas difíceis de serem movidas de novo ao mesmo talhão, em caso de serviços incompletos;
- Redução dos riscos de incêndios em função de que essa biomassa florestal volumosa e seca é de fácil ignição.

Colheita e resíduos florestais em plantação de *Pinus*

Um dos fatores limitantes nas operações "Road-Side" é o enchimento dos "*bins*", que são as carrocerias ou silos-transportadores onde se colocam os cavacos prontos. Deve ser muito eficiente o planejamento de troca desses *bins*, para evitar ter que se parar os picadores/processadores. Cada *bin* pode armazenar e transportar entre 3,5 a 5 toneladas de cavacos úmidos. Além dos *bins*, existem sistemas maiores conhecidos por *vans*, que são enormes caminhões que podem transportar entre 20 a 25 toneladas de cavacos na umidade tal qual, por carga. Isso pode significar algo como 50 a 70 m³ de cavacos ou de fragmentos de biomassa florestal por carga.

Colheita gerando enormes quantidades de resíduos da colheita florestal

Os picadores ou processadores do tipo “Road-Side” são muito eficientes, produtivos e são mais facilmente controlados ou mantidos em condições operacionais. Eles possuem alta disponibilidade e excelente continuidade operacional.

Apesar dessas vantagens, nem sempre se desejam operações “Road-Side”, pois essas operações se têm mostrado mais eficientes para picagem de árvores inteiras ou de resíduos ricos em toras de madeira.

Quando se quiser picar o complexo misto de resíduos da colheita florestal com alta proporção de galhadas, ponteiros e cascas, muitas empresas preferem atuar com picadores móveis e mais leves, em operações conhecidas como “Off-Road”, ou “longe da estrada”, ou “no interior dos talhões”.

Ponteiros ou “tops” – resíduos da colheita do eucalipto

A principal vantagem das operações “off-road” é que não se acumulam resíduos em pontos localizados da área florestal. Os resíduos das operações desses picadores acabam ficando espalhados no interior do talhão, o que melhora a ecoeficiência.

Já os picadores “Road-Side” são grande acumuladores de resíduos nas beiras das estradas e nas áreas de bordadura da floresta, muitas vezes trazendo enormes dificuldades para a área de silvicultura

que irá receber o talhão recém-colhido para realizar os próximos serviços florestais. Esse acúmulo de resíduos pode inclusive prejudicar a brotação das cepas desses locais, que ficam totalmente cobertas de resíduos dessas operações.

Acúmulo de resíduos em beira de estradas florestais

A operação "Road-Side" tem mostrado alguns problemas com o acúmulo de resíduos sobre partes localizadas da floresta e isso tem trazido conflitos com outras áreas do setor florestal. Muitas vezes, o acúmulo é tal que se tem que criarem operações extras para o espalhamento dos resíduos sobre o solo. Entretanto, para mim tudo é questão de planejamento e eficiência: não faz sentido uma operação destinada a processar resíduos de biomassa perder tanto resíduos a ponto de criar situações conflitivas em seu relacionamento.

A operação "Off-Road" tem a vantagem de ir atrás dos resíduos, até mesmo dos tocos e cepas, quando esses materiais forem removidos como biomassa. Seu grande mérito é tentar transformar e resolver o problema do resíduo onde ele está sendo gerado.

As máquinas leves podem se deslocar mais rapidamente (sem necessidade de ajuda externa), deslocam-se de um local para outro sem dificuldades.

Operação com processamento de resíduos mostrando adequado nível de planejamento operacional

Entregando o resíduo picado para ser transportado

Atualmente, tem existido uma tendência de se dar preferência a máquinas mais leves e mais móveis, que permitem operações mais flexíveis e trocas rápidas de procedimentos.

Os picadores de maior mobilidade, atualmente são fabricados por diversas empresas nacionais e internacionais.

Na maioria das vezes, os fabricantes atribuem a esses picadores as seguintes vantagens:

- Versatilidade de operações, pois podem fragmentar resíduos mistos (conhecidos como "slash"), toras de árvores, ponteiros, etc.;

- Podem operar como sistemas "Road-Side" ou "Off-Road", podendo até mesmo serem deslocados para operações nas fábricas, aterros e em áreas urbanas, onde fazem serviços variados e eficientes;

- Conseguem aumentar a quantidade extraída de biomassa por área de floresta colhida, pois são "caçadores de resíduos" - correm atrás deles para processá-los;

- Entregam a área colhida uniformemente mais limpa para que o setor de silvicultura possa trabalhar com mais efetividade e segurança;

- Espalham mais uniformemente os resíduos que geram sobre a área, deixando um manto de folhas, galhos finos, ponteiros finos, terra e outros contaminantes que se soltam e se desprendem – tudo isso acaba ficando por lá na floresta, reduzindo um pouco a exportação de nutrientes pela remoção da biomassa;

- Reduzem os riscos de incêndios florestais;

- Oferecem uma biomassa florestal picada e fragmentada;

- Apresentam baixos custos de produção por tonelada de resíduo processado;

- Podem ser usados para produção de cavacos de processo e não apenas de cavacos energéticos;

- Etc.

Entretanto, nem tudo são vantagens desses picadores móveis, pois eles são, de alguma forma, impactantes sobre a sustentabilidade da capacidade produtiva do sítio florestal, já que:

- Ajudam a remover grandes quantidades de resíduos, e com isso conseguem aumentar a exportação de nutrientes; apesar de que muitos digam que isso "não seja tão verdadeiro", ou até mesmo, afirmam o contrário;

- Ao se movimentarem nos talhões, agridem a manta orgânica da serapilheira, compactam os solos e promovem maior risco de erosão dos solos;

- São mais susceptíveis a pedras, o que é algo comum de se encontrar nos resíduos da colheita;

- São muito susceptíveis ao teor de umidade da biomassa florestal, preferindo picar resíduos mais úmidos, pois os mais secos dificultam o rendimento e a qualidade da fragmentação;

- Como a manutenção precisa ser realizada na própria área florestal, isso pode significar perdas de eficiência operacional e dificuldades nos processos de reparos. Entretanto, as empresas atualmente parecem que já resolveram em muito essa dificuldade com oficinas volantes de excepcionais desempenhos e eficiências.

Mais uma vez preciso lhes lembrar, que cada situação é uma situação particular. Não existe uma tecnologia ou um procedimento universal, que sejam mais adequados e mais eficientes em todas as situações.

Podem existir situações de relevos muito diferentes para uma mesma empresa.

Por exemplo, a empresa brasileira Fibria Celulose, que produz celulose de mercado de eucalipto tem uma unidade fabril no município de Três Lagoas/MS, onde o relevo é bem pouco acidentado. Entretanto, essa mesma empresa tem outra unidade na cidade de Jacareí, no Vale do rio Paraíba do Sul no estado de São Paulo, onde o relevo é bastante acidentado. Logo, os processos de fragmentar os resíduos em uma e outra situação podem e devem ser específicos e particulares.

Também existem fortes integrações entre as máquinas que colhem as árvores ("feller bunchers" e "harvesters") com as máquinas que processam os resíduos deixados na floresta.

Finalmente, há empresas que produzem toras descascadas na floresta e querem aproveitar o máximo dos resíduos, recolhendo do

campo tudo o que puderem como biomassa florestal para fins energéticos. Já existem outras, que se contentam em trazer as toras do tronco com a casca para as fábricas e produzirem a casca energética na própria fábrica, além de cavacos de madeira para seus processos.

Sumarizando essa nossa conversa: existem muitos fatores que afetam o desempenho das operações de fragmentação da biomassa florestal. Eles foram evidenciados e relacionados até o momento nesse nosso texto.

Entretanto, achei salutar elaborar uma longa lista dos mesmos, mesmo que ela possa ser um pouco repetitiva com o que já lhes mostrei. Assim, posso lhes oferecer mais alguns pontos para reflexão e ação em relação a esses fatores críticos para desempenho técnico e ambiental.

Biomassa energética a caminho de seu uso

<u>Fatores que afetam desempenhos</u>:

- Tipo de resíduo florestal (umidade, densidade a granel, espécie florestal, idade, dimensões das peças, etc.);

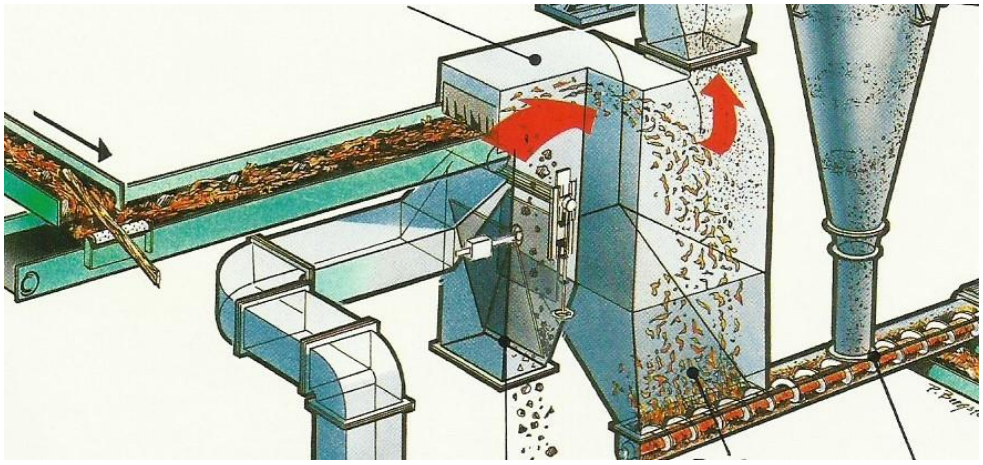
- Época do ano (clima, principalmente temperaturas e chuvas);
- Sujeiras e contaminações;
- Fluxos de alimentação dos equipamentos-chaves (velocidades, entupimentos, desconexões);
- Densidade dos materiais alimentados (em peso seco por unidade de volume alimentado);
- Distâncias entre as áreas geradoras dos resíduos e as áreas processadoras;
- Distâncias percorridas por cada máquina em suas operações rotineiras;
- Tipos de máquinas processadoras de resíduos;
- Disponibilidade dos equipamentos;
- Nível de utilização das disponibilidades dos equipamentos (eficiências);
- Manutenção dos equipamentos (facas, martelos, tratores, motores, etc.);
- Consumo energético específico (eletricidade ou óleo diesel);
- Custos totais operacionais (por tonelada de biomassa processada e pronta);
- Preços de venda da biomassa processada;
- Economias trazidas nas operações de outras áreas (ambiental, silvicultural, etc.);
- Custos com a necessidade de reposição do banco de nutrientes do solo devido exportações de nutrientes;

- Tipos e procedimentos da colheita florestal (equipamentos, planejamento, disposição das toras, disposição dos resíduos, etc.);
- Planejamentos inadequados das operações;
- Eficiências em cada operação e no conjunto sequencial de operações;
- Conscientização e responsabilidade dos técnicos e gestores;
- Qualificação do pessoal.

Enfim, quem melhor planeja as coisas, muito antes de a floresta ser colhida ou até mesmo antes dela ser plantada sairá em vantagem nesse jogo competitivo pela biomassa energética de base florestal.

Eu não tenho dúvidas sobre isso.

✓ Limpeza, classificação e padronização das partículas de biomassa florestal



Limpador de cavacos de biomassa florestal

Fonte - Bahco

Qualquer que seja o resíduo de biomassa florestal, ele merece uma preparação adequada para atender às especificações para seu uso como material na bioenergia. Se isso não acontecer e se não houver especificações a serem preenchidas, o resíduo passará a ser tratado pelos operadores como um problema de lixo gerado no processo e que precisa ser descartado "a algum usuário maluco que vai consumi-lo por causa de um preço de venda simbólico, até doação em muitos casos".

Essa é uma péssima aproximação conceitual, pois não gera compromissos com a qualidade dos resíduos. Por isso, sempre advoguei que qualquer resíduo precisa de uma especificação e que essa especificação esteja inserida como um procedimento auditável pelo sistema ISO 9001, do sistema de gestão da qualidade da empresa.

A especificação para o resíduo não precisará ser muito complexa. Bastam três parâmetros críticos:

- Composição do resíduo em percentual aproximado de cascas, folhas, madeiras, tocos, etc.;
- Teor de umidade médio;
- Teor de contaminantes minerais (cinzas) ou de qualquer outro tipo de contaminação indesejável.

Caso haja um foco responsável nesses três itens de qualidade, o desempenho energético do resíduo aumentará bastante e o seu potencial preço de venda também poderá ser maior. Mesmo que o cliente seja a própria fábrica geradora, o resíduo passará a ser admirado e requisitado e não será mais algo sobre o qual as reclamações eram constantes.

É comum que o resíduo recém-picado, ou mesmo antes de ser fragmentado, esteja com conteúdo variável e até alto de diferentes materiais contaminantes, dependendo isso de sua origem e procedimentos adotados anteriormente na coleta, manuseio, etc.

Os resíduos podem conter frações variadas de terra, pedras, plásticos, metais (pregos e parafusos, chapas metálicas), tintas, resinas formaldeídicas, cupinicidas, fungicidas, etc. Por essa razão, a eliminação desses contaminantes indesejáveis deve começar na origem do resíduo, onde cada tipo de resíduo surge nos processos. Nessa hora, pode-se tentar separar os materiais indesejados e não se diluir o mesmo na somatória de resíduos que forem sendo criados.

Por exemplo, peças de madeira contaminadas com plásticos poderiam ser removidas em processos similares aos utilizados em sistemas de coleta seletiva de lixo.

A contaminação com terra e areia pode ser muito melhorada através de uma melhor gestão da coleta, disposição e manuseio do resíduo.

Enfim, cada caso deve ser observado, entendido, trabalhado e otimizado na origem, onde as coisas se iniciam e não apenas no final, quando tudo está sujo e altamente misturado.

Em geral, todos os que trabalham com resíduos sonham com centrais de reciclagem, ricas em sistemas de limpeza e descontaminação dos resíduos. Acabam se surpreendendo com o nível de investimentos, pois querem tratar todos os resíduos nela, quando a central deveria ser algo para resolver apenas os problemas impossíveis de serem resolvidos pelos procedimentos mais simples de gestão do processo de formação de cada um dos resíduos.

Uma lástima isso: bastaria se conversar com cada resíduo em seu processo de formação para descobrir formas simples e inovativas para melhoria de sua qualidade.

Um exemplo clássico da biomassa gerada em fábricas de celulose e de painéis de madeira e que traz uma série enorme de inconvenientes para quem quer e precisa usar o resíduo é a conhecida "casca suja", resíduo do processo de lavagem das toras e da limpeza dos pátios de toras. Essa biomassa residual é muito suja, muito úmida, possui terra, pedras, algumas vezes até paralelepípedos do calçamento de ruas misturados a ela. Também possui grande percentual de madeira, que se mistura à casca suja na forma de toretes, lascas, fitas, madeira esfacelada, etc. Tudo muito difícil de ser depois trabalhado para purificar e padronizar o resíduo.

Casca suja

Escrevi um capítulo todo em nosso Eucalyptus Online Book sobre a casca suja. Já lhes referenciei isso, mas apreciaria reforçar para que leiam o mesmo:

Resíduos sólidos industriais do processo de fabricação de celulose e papel de eucalipto. Parte 04: "Casca Suja". C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 21. 100 pp. (2010)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT21_CascaSuja.pdf

Às vezes, essa casca está tão suja, úmida e irregular que não pode sequer ser picada e classificada. Nem mesmo lavada ou prensada. Acaba sendo enviada ao aterro industrial como um lixo indesejado e até mesmo odiado.

Algumas empresas conseguem autorização do órgão ambiental controlador e licenciador para espalhar a casca suja sobre áreas florestais, para que possam compostar naturalmente no longo prazo e ofertarem seus nutrientes para o solo. Em geral, a disposição sobre o solo florestal não é feita de forma organizada e planejada com base em balanços de nutrientes: quase sempre se faz isso de forma irracional e sem maiores critérios. Tudo é visto apenas como uma forma de se livrar do lixo indesejado.

Um resíduo como esse precisa de uma preparação adequada para que assim possa se converter em uma biomassa energética valiosa. Ou então, em um produto não energético para uso agrícola: composto organomineral, por exemplo.

Os sistemas de preparação e valorização de uma biomassa florestal são constituídos por alguns tipos de operações, tais como:

- Lavagem e limpeza do material;
- Classificação granulométrica;
- Regularização das dimensões de partículas;
- Prensagem ou secagem para remoção do excesso de água;
- Manuseio e estocagem até envio para usuário final.

Em resumo, o que se deseja é dar ao resíduo uma qualidade uniforme e uma qualidade que permitam que ele se converta em um biocombustível viável. Nada mais se deseja fazer do que limpar,

classificar e remover sujeiras e água do resíduo. Com isso, ele pode se transformar em uma biomassa combustível mais efetiva e útil.

Já que estou lhes reforçando o exemplo da casca suja, aproveito para lhes lembrar de que muitas fábricas que usam madeira sem casca em seus processos possuem a geração de dois tipos de resíduos conhecidos como casca:

- A casca suja, que é um material sujo que se forma em operações de limpeza das toras e em sobras dos pátios de toras de madeira.

- A casca limpa, removida no setor de descascamento das toras e que possui alguma presença de madeira.

Esse segundo tipo de casca residual é quase um combustível pronto. Ela está mais limpa e mais seca e seu processo de preparação é relativamente simples, com uma fragmentação em partículas, uma limpeza para remoção de terra e uma classificação para remoção de pedaços maiores que resistiram à fragmentação. Assim, a casca limpa se transforma em um combustível que pode ser entendido como um novo produto da fábrica. Ela também pode ser enviada com segurança para a caldeira de força da própria empresa geradora desse resíduo, como biomassa combustível confiável e de qualidade assegurada.

O curioso disso tudo é que a indesejada casca suja e a casca energética limpa recém-mencionada são irmãs, originadas das mesmas partes das árvores que entram nas fábricas. Quem produziu nelas as modificações que inviabilizaram ou dificultaram o uso de uma delas foram as pessoas. Os responsáveis foram os humanos e não as árvores ou toras dos eucaliptos. Também as tecnologias e a maneira como essas tecnologias são operadas são grandes responsáveis por essa deterioração da qualidade da casca suja.

Casca suja ou casca limpa – resultados da forma de tratar a casca

Por isso, mais uma vez reforço: o problema do resíduo florestal começa a ser solucionado no local onde ele é gerado, conversando com os processos e com os resíduos em suas rotas de formação. Trata-se de um processo de entender como o resíduo é construído para poder atuar sobre esse processo.

A limpeza de qualquer resíduo de biomassa florestal deveria ser preferencialmente realizada por processos a seco, pois a adição de água pode até limpar melhor, mas irá prejudicar sensivelmente o poder calorífico útil dessa biomassa.

Existem diversos sistemas a seco que são simples, como as mesas receptoras de toras, que permitem que a terra se solte das toras e seja recebida em bandejas inferiores para que se possa descartar essa terra de novo nas florestas, ou mesmo usada em operações de fechamento de células de aterros de resíduos.

Também existem tambores rotativos com telas perfuradas, por onde escapam partículas de terra e areia, quando a biomassa fragmentada é colocada para circular por dentro deles. Quanto mais seca estiver a biomassa, melhor acontece essa limpeza, pois a terra e areia não irão se aderir na biomassa devido à umidade excessiva.

Lavar a biomassa também é uma forma efetiva de limpeza, mas deverá exigir depois algumas operações para retirada do excesso de água (prensagem), ou mesmo de secagem dessa biomassa em secadores com ar quente, para viabilizar o uso energético da mesma. Existem diversos sistemas para limpeza com o uso de água, como aplicação de jatos fortes de água, flotação, decantação de partículas, peneiramento a úmido, etc.

Na preparação de todos esses materiais devem também se colocar detectores de metais e eletroímãs, para impedir que peças metálicas entrem e possam danificar as máquinas, sejam as processadoras de resíduos de biomassa, sejam as caldeiras e fornalhas usuárias finais da biomassa combustível.

A sujeira mineral nas cascas sujas pode chegar a atingir em alguns casos valores acima de 30% do peso seco do material. Essa alta contaminação acontece principalmente em fábricas onde os pátios de toras e cavacos não são pavimentados.

Porém, essa não é a principal contaminação de terra nos resíduos de biomassa, mas sim a terra que é enviada às fábricas com as toras. As máquinas de colheita florestal são brutas e poderosas. Se forem operadas sem muitos cuidados e sem orientação dos gestores, os operadores agarram as toras com suas gruas e junto a elas vem muito do solo florestal, onde as toras se depositavam. Também se juntam à terra a serapilheira, galhos, folhas e muitos outros resíduos que vão chegar à fábrica sem terem sido solicitados.

Essa terra e a serapilheira acabam deixando a floresta, onde seriam desejadas e úteis, indo para as fábricas como contaminantes, ou seja, resíduos dos resíduos – triste destino a algo maravilhoso das florestas. Por terra, vamos entender uma mistura de areia, argila, húmus, fragmentos de serapilheira e algumas pedras.

Muitas fábricas possuem sofisticadas áreas para preparação da biomassa energética, onde se podem localizar picadores, trituradores, peneiras classificadoras e sistemas de limpeza da biomassa. Cada fábrica procura compor um sistema desses equipamentos de forma a mais apropriada que achar que deva para seus tipos de biomassas.

O curioso é que a maior parte das empresas procura comprar sistemas de preparação de biomassa quando o problema já adquiriu dimensões estratosféricas, ou seja, quando as pilhas de biomassa suja e acumulada estão enormes, lembrando uma desoladora paisagem de filmes de terror.

Mais uma vez relembro: antes de saírem comprando uma enorme estação de preparação e limpeza da biomassa energética, procurem seguir os passos de cada um desses resíduos para tentar solucionar problemas na origem deles e assim reduzir a quantidade a ser enviada para tratamento nessa central de preparação de biomassa. Tentem

primeiro ver o que podem fazer para reduzir a geração ou para melhorar a limpeza, umidade ou homogeneidade desses resíduos.

Cada resíduo de biomassa tem uma rica história para contar, onde podemos descobrir as principais mazelas que estão sendo responsáveis pela sua geração e deterioração em qualidade. Conhecidas as rotas de geração, é possível se adotarem medidas preventivas e técnicas e procedimentos novos nesses processos de gestão e resíduos.

Quando assim procedermos, deslocaremos muito da gestão de resíduos da fábrica para a gestão dos resíduos na área florestal, onde se podem encontrar ricas oportunidades e sinergias para serem trabalhadas em conjunto.

As oportunidades podem estar relacionadas a:

- ✓ Sistemas de coleta e manuseio dos resíduos de biomassa;
- ✓ Troca de procedimentos ou de tecnologias sendo empregadas;
- ✓ Picagem ou trituração na própria área florestal;
- ✓ Limpeza prévia das partículas ou das toras;
- ✓ Locais e formas de estocagem das toras com casca e dos resíduos da colheita;
- ✓ Implantação de especificações técnicas e de padrões técnicos a serem obedecidos;
- ✓ Implantação de controle de qualidade das operações de geração de resíduos e dos próprios resíduos florestais;
- ✓ Redução dos teores de resíduos nos resíduos;
- ✓ Estabelecimento de uma logística estudada cuidadosamente para mínimos impactos nas florestas e nas qualidades das biomassas geradas como resíduos;

- ✓ Estabelecimento de sistemas que permitam controlar a homogeneidade da composição dos resíduos, através de procedimentos de segregação e controles;

Em resumo, não se deve sair misturando de forma estabanada e inadequada tudo que for biomassa florestal, sem critérios e controles: essa é definitivamente a mais inadequada das formas de se trabalhar com resíduos de base florestal para se converter os mesmos em biomassas energéticas.

Segregando resíduos nas fábricas

✓ Transporte e manuseio dos resíduos nas florestas e nas fábricas

Atualmente, existem muitas máquinas especialmente desenhadas para recolher, amontoar, compactar, movimentar e transportar os resíduos de biomassa florestal.

Nas florestas, os sistemas podem ser mais simples para fazer esse manuseio, pois pode se desejar basicamente recolher os resíduos e os conduzir a um picador ou triturador de campo, ou o encaminhar para a fábrica. Entretanto, estão surgindo máquinas poderosas especialmente desenhadas para a remoção, a movimentação, a trituração e a limpeza e classificação prévia do material da biomassa na própria área florestal - cada máquina sendo específica ao tipo de biomassa.

Tratam-se de tecnologias em plena evolução tecnológica, que procuraremos discutir com maior profundidade em nosso próximo capítulo do Eucalyptus Online book (Capítulo 46), quando debaterei com vocês o conceito de aproveitamento da árvore integral dos eucaliptos, seja para energia ou para conversão a diversos produtos da base florestal plantada.

Também estão se tornando comuns os sistemas de compactação da biomassa, para permitir a redução do volume desses materiais para facilitar as operações de transporte desses produtos, em geral extremamente volumosos e de baixa densidade a granel. Algo similar aos conhecidos caminhões dos lixos urbanos, que conseguem prensar e compactar o lixo nas carrocerias especializadas de caminhões especialmente criados para isso.

Processadora de tocos e preparação da biomassa de tocos/raízes
Fonte: Vermeer e Eldorado Brasil

Nas fábricas, a biomassa energética costuma ser movimentada e manejada por esteiras, raspadores, roscas, correias, vibradores e sopradores pneumáticos.

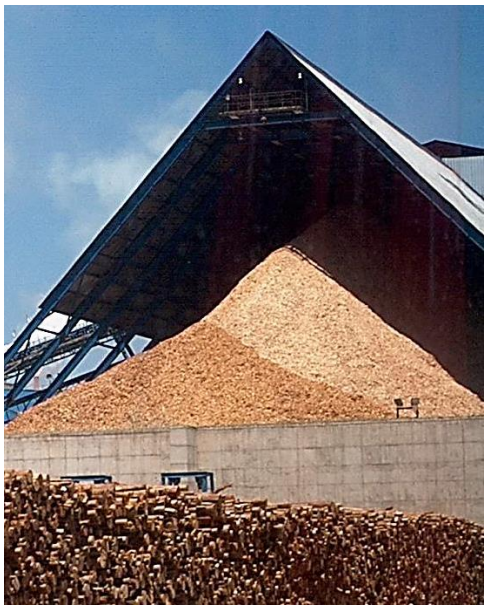
Cada uma dessas tecnologias apresenta vantagens, desvantagens e especificidades características para cada tipo de biomassa. Deve-se buscar a real adequação de cada um desses sistemas ao tipo de biomassa que se deseja mover ou remover. Existem sistemas de manuseio que se adaptam muito bem a cavacos de madeira, mas já não conseguem operar tão bem com a casca, entupindo ou tendo problemas de embuchamento.

Os sistemas pneumáticos, que são bastante eficientes para transportar e até mesmo limpar as partículas de biomassa, são mais sensíveis à presença de pedras e de areia, que lhes trazem problemas sérios de erosão das paredes das tubulações, em especial nas curvas.

No passado, os resíduos eram manuseados com altas aplicações de trabalho humano, fossem nas florestas ou nas fábricas. Essa época já passou, pois as fábricas e as florestas cresceram tanto em suas dimensões que já não é mais possível se encontrar a quantidade requerida de trabalhadores rurais e florestais, para operações como as do passado recente. Se isso ainda estivesse acontecendo, as empresas teriam que gerenciar "exércitos enormes de pessoas", com maiores riscos à segurança, e ainda tendo baixos níveis de produtividade, altos custos e altas incidências de faltas, atrasos e movimento de pessoas a serem gerenciados.

O desenvolvimento de máquinas florestais e industriais tem permitido mecanização de quase todas as operações com resíduos de biomassa. Entretanto, a mecanização mais uma vez não será universal – algumas vezes um equipamento funciona muito bem em certo tipo de condições e não em outros. Há que se conhecer muito bem o que se vai manusear, quanto, como, onde e para quê?

✓ Armazenamento e estocagem dos resíduos de biomassa florestal energética



O valor energético de uma biomassa florestal armazenada pode ser perdido com o tempo de estocagem em função de: deterioração da massa seca da biomassa e umidificação das partículas pelas chuvas.

A biomassa florestal pode ser armazenada de maneira espalhada no campo (resíduos da colheita) ou em pilhas, como lenha.

Resíduos da colheita do *Pinus*, após secagem natural na floresta

No início desses processos de uso energético da biomassa, deixar a biomassa no campo por certo tempo ajuda a que ela perca umidade por secagem natural. Essa secagem é inicialmente muito rápida, principalmente se a biomassa estiver sofrendo efeito de forte insolação e de ação de ventos.

Entretanto, se a biomassa úmida for convertida em cavacos ou em fragmentos de madeira contendo casca e folhas, podem acontecer fenômenos acelerados de decomposição microbiológica, pois as cascas e folhas fornecem nutrientes para favorecimento do ataque de fungos e bactérias, que possam ser microrganismos apodrecedores de lenho e de casca. Para que isso seja potencializado, há a necessidade de umidade alta nas partículas.

As pilhas altas de biomassa florestal contendo galhos finos, casca e folhas costumam ser formas usuais de estocagem de biomassa energética. Essas pilhas podem ser dispostas em áreas pavimentadas e cobertas, ou a descoberto e diretamente sobre o solo. Em ambos os casos, teremos chances de desenvolvimento microbiológico, embora as situações mais favoráveis a isso aconteçam com as pilhas deixadas ao tempo.

A presença de organismos decompositores de biomassa florestal é abundante, pois a biomassa é colhida na floresta, em contato com o solo, uma das mais ricas fontes de inóculos de organismos decompositores de material orgânico.

Nas próprias fábricas, a biomassa florestal também sofre biodeterioração, pois o acúmulo de materiais em diferentes estágios de deterioração sempre é fonte contínua de novas inoculações de organismos decompositores.

As pilhas de fragmentos triturados ou cavacos de biomassa mostram as seguintes particularidades em relação ao fenômeno de biodeterioração:

- A água das chuvas penetra para o interior das pilhas e depois ela tem dificuldades para escapar para a atmosfera, pois fica bloqueada dentro da pilha;
- A umidade se perde de forma diferente: as laterais das pilhas secam mais rapidamente e as partes de baixo e o centro se mostram sempre mais úmidas;

- A pilha se aquece com a biodeterioração e a umidade presente favorece a hidrólise ácida e a volatilização de compostos orgânicos menos resistentes como alguns extrativos em água, hemiceluloses, etc.

- As perdas de matéria seca são inevitáveis e são maiores em pilhas maiores e mantidas em estoque por mais tempo.

Pilhas de biomassa florestal contendo casca, madeira, serragem

O tamanho do estrago da biodeterioração nas pilhas de biomassa fragmentada ou cavacos depende de:

- Forma e tipos das partículas ou dos fragmentos de biomassa (cavacos, fragmentos triturados de "hogged fuel", costaneiras, serragem, pó de madeira, etc.);

- Teor de umidade da biomassa armazenada;

- Área onde esteja estocada a pilha;

- Condições climáticas locais;

- Gerenciamento da deposição ou retirada de material da pilha;
- Volumes envolvidos de biomassa sendo estocada;
- Sazonalidade;
- Controles e acompanhamento pela área de operação;
- Relações adequadas entre produção e consumo de biomassa;
- Etc.

Os diferentes tipos de estocagem dão muita ênfase em tipos, consumos, composições e formatos das partículas. A partir desses dados é que se decide sobre pavimentar ou não o piso e cobrir ou não as pilhas.

Tipo de piso inadequado para pilhas de biomassa

As situações ideais são aquelas onde:

- ✓ Os pisos são pavimentados com concreto;
- ✓ As pilhas são cobertas em pátios, silos, *bins*, etc.;

- ✓ Cada tipo de biomassa merece um tipo mais específico de armazenamento para permitir misturas ("mixes") mais qualificadas e de melhores desempenhos energéticos.

A mistura ao mesmo tempo de resíduos secos e úmidos cria a falsa ideia de que isso possa melhorar a qualidade da biomassa, oferecendo sempre uma umidade média criada pela mistura de coisas muito diferentes em teor de umidade. Entretanto, sabe-se que essa prática não é muito adequada, pois se criam condições muito variadas na combustão: as partículas secas queimam rapidamente e as úmidas não, além dessas últimas criarem muito vapor no interior das fornalhas.

O melhor e mais sábio gerenciamento consiste na segregação das diferentes biomassas, controle e ajustes para cada uma delas, para quando se criar a mistura, se estejam misturando materiais próximos e não muito distantes em qualidades e desempenhos.

Causas para a biodeterioração da biomassa florestal estocada

A biomassa estocada pode sofrer perdas de peso que podem variar entre 3 até 15% ou mais, conforme as condições e o tempo de estocagem. Existem artigos e relatórios na literatura demonstrando que as pilhas de cavacos de processo ou de bioenergia podem perder entre 5 a 12% de seu peso seco, que se tratam de perdas dramáticas e inconcebíveis de se deixar acontecer.

As causas para essas perdas são as seguintes, relatadas para que se possam trabalhar sobre cada uma delas:

- Espécie florestal, já que algumas espécies possuem menos extrativos fenólicos e taninos, o que favorece os ataques de microrganismos pela falta de proteção natural;

- Tamanho das partículas, pois quando mais finas e menores forem as partículas, maior será a área superficial para ser atacada pelos fungos invasores e colonizadores da biomassa;

- Tamanho das pilhas, o que conduz a diferenças gritantes de umidade e temperatura internamente às pilhas;
- Formas de estocagem (pátio, manuseio, etc.);
- Teor de umidade da biomassa estocada;
- Condições climáticas;
- Sazonalidade de comportamento microbiológico (menos atividade no inverno frio);
- Tipos de microrganismos presentes e facilidade com que se inoculam nas pilhas;
- Etc.

Curiosamente, as partículas de casca do eucalipto não perdem muito peso seco logo no início da estocagem, isso porque elas são ricas em extrativos que dão um tempo de proteção natural. Entretanto, a casca é rica em nutrientes, que se deslocam na pilha através do chorume, um líquido que percola através da pilha de biomassa levando nutrientes e inóculos. Com isso, ocorre uma homogeneização da relação Carbono/Nitrogênio e a decomposição natural da biomassa se intensifica.

Material de biomassa florestal em processo de decomposição natural

A espécie florestal, cuja biomassa está sendo estocada como material energético, tem muita influência na prevenção ou na aceleração da biodegradação, a começar pela dificuldade ou facilidade que ela apresenta para a colonização por fungos e bactérias. As altas proporções de parênquimas e de elementos de vaso, bem como os componentes químicos como carboidratos celulósicos e amido, facilitam a entrada dos fungos apodrecedores e a colonização das partículas de madeira.

A maior idade da floresta também tem efeito preventivo na degradação, devido ao aumento do teor de extrativos e da densidade básica da madeira, em muito pela formação de cerne em árvores mais velhas.

O tamanho da pilha influencia no teor de umidade da biomassa e na temperatura no interior da pilha. Esses dois fatores podem facilitar o ataque microbiológico e a degradação química por hidrólise ácida de carboidratos. Mesmo nas regiões de mais altas temperaturas, como no meio da pilha, temos ataques severos causados por fungos termofílicos bastante agressivos.

Quando as partículas de biomassa forem grandes e a densidade a granel for baixa, ocorre maior penetração de ar no interior da pilha, bem como são favorecidas as trocas de ar e calor da pilha com a atmosfera exterior.

Por outro lado, quando a pilha se compacta e se acama, o ar que está dentro da pilha tem dificuldades de sair dela, e com isso, as trocas térmicas diminuem e a expulsão do calor interno fica dificultada. Isso conduz ao aumento da temperatura e a degradação passa a ser mais química do que biológica a partir de temperaturas acima de 65 a 70ºC.

Para minimização da perda de peso seco de biomassa florestal estocada na forma de cavacos, deve-se:

- Estocar biomassa a mais seca possível;
- Estocar por curtos períodos de tempo;
- Evitar grandes proporções de casca e folhas em mistura aos cavacos de madeira, pois esses materiais apodrecem logo e fornecem nutrientes aos microrganismos biodegradadores.
- Acompanhar o nível de compactação da pilha, pois a compactação tem efeito adverso sobre o teor de umidade e sobre as trocas térmicas.

- Evitar criar excesso de partículas muito pequenas nessa biomassa florestal a ser estocada como cavacos, pois elas ajudam na compactação, são mais facilmente atacadas devido à maior área superficial e se aquecem rapidamente com a liberação de calor pelas reações químicas e biológicas que são exotérmicas.

- Deve-se evitar estocar biomassa florestal na forma de cavacos contendo muitas folhas. Se isso acontecer, deve-se monitorar continuamente a pilha, para evitar as reações indesejáveis de perda de peso pela biodegradação.

- Procurar sempre ter pátios de cavacos pavimentados e/ou cobertos.

- Deve-se sempre buscar tirar água da pilha e não agregar.

Finalmente e a título de reflexão, pensem no seguinte: "as perdas de peso de matéria seca por biodeterioração são importantíssimas, mas a autoignição do material, que é outras das consequências do mau gerenciamento da estocagem de cavacos, essa sim é catastrófica".

✓ Secagem da biomassa florestal

A água que acompanha a biomassa como teor de umidade é um dos principais problemas de qualidade e desempenho energético das biomassas florestais, por três razões principais:

- Quanto mais úmida for uma biomassa, maior é a perda de poder calorífico dessa biomassa, pois parte da energia desse poder calorífico será desperdiçada para aquecer e evaporar a água da umidade. Essa perda de energia útil corresponde a no mínimo 600 Mcal/tonelada de água contida na biomassa.

- Quanto mais úmida for a biomassa, maiores serão os gastos com manuseio dessa biomassa mais pesada pela quantidade de água que ela possui para cada unidade de peso seco.

- Os desempenhos energéticos dos equipamentos queimadores que consomem biomassas muito úmidas ficam muito prejudicados, pois os rendimentos caem por inúmeros motivos. Para uma mesma quantidade de calor líquido que uma caldeira tenha que produzir, ela tem que consumir muito mais peso de biomassa e perde também muito calor que se esvai devido à água da biomassa.

Remover o excesso de água o máximo que se puder de forma eficiente e a custos competitivos é o objetivo de todos os que produzem ou utilizam a biomassa florestal energética.

O controle do teor de umidade começa na própria área florestal, onde a biomassa é colhida e manuseada pela primeira vez como produto energético. Deve-se evitar que a biomassa se molhe, bem como se deve favorecer para que ela seque o mais que puder.

A secagem prévia da biomassa na área florestal costuma ser a primeira tentativa de redução da umidade da mesma. Com isso, ao mesmo tempo em que se melhora a qualidade energética da biomassa, se estará reduzindo o peso úmido de biomassa a ser manuseado, transportado e estocado.

Sabe-se que o teor de umidade da biomassa florestal recém-colhida pode variar entre 45 a 60%. Esses valores podem ser até maiores, caso a biomassa já cortada e estocada sofrer com a incidência de chuvas fortes, que vão colocar muita água livre sobre a mesma.

As operações fabris também podem umedecer a biomassa, principalmente as operações de lavagem das toras, que coloca jatos abundantes de água sobre as toras e a casca que acompanha as toras de madeira.

Nos capítulos 43 e 44 apresentei diversos problemas acerca de cálculos, mostrando os efeitos da umidade da biomassa sobre o poder calorífico útil e sobre o desempenho dos equipamentos geradores de calor, vapor e eletricidade. Por essa razão, caso tenham interesse em conhecer mais sobre isso, sugiro a leitura cuidadosa desses dois capítulos, que podem ser obtidos conforme a seguir:

Utilização da biomassa do eucalipto para produção de calor, vapor e eletricidade. Parte 1: *Biomassa Florestal & Florestas Energéticas*. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 43. 239 pp. (2016)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT43_Florestas_Energeticas_Eucaliptos.pdf

Utilização da biomassa do eucalipto para produção de calor, vapor e eletricidade. Parte 2: *Geração de Calor, Vapor e Eletricidade*. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 44. 264 pp. (2016)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT44_Geracao_Calor_Vapor_Eletricidade.pdf

A orientação inicial é que se proceda a uma pré-secagem da biomassa na própria área florestal, buscando induzir condições que favoreçam a perda de água pela biomassa que permanece sobre o solo

florestal, em espera para ser manuseada e transportada. O material bem espalhado na área florestal, ou empilhado na beira das estradas, costuma perder água e peso por secagem natural. O período usual desse tipo de secagem varia entre 30 a 60 dias, ou no máximo 90.

Inicialmente, a perda de umidade é muito rápida, pois:

- Existe ainda muita água livre nas partes do corpo da árvore cortada, sendo que essa água livre facilmente sai da biomassa por capilaridade e graças à força da gravidade.

- Diferentemente dos animais, muitas das células da árvore, como da casca, das folhas, do câmbio e do xilema não morrem quando a árvore é abatida. Elas continuam vivendo por certo tempo e consumindo água, nutrientes e energia metabólica, na forma de açúcares livres, etc.
  Esse consumo "pós-abate" colaborará para a secagem das folhas, da casca e em menor proporção da madeira.
  É comum que as folhas, quando se secam por efeito da perda de água, se desprendam dos galhos e da copa, caindo no solo, o que é muito favorável para que não sejam levadas para fora da área florestal, exportando seus valiosos nutrientes, como o nitrogênio.

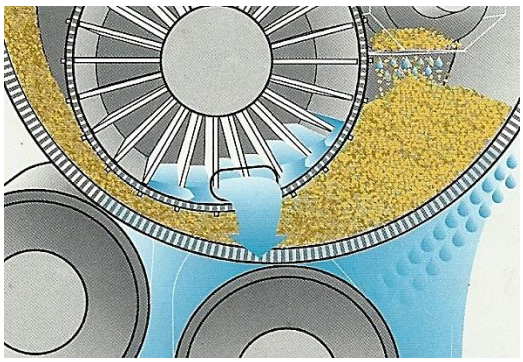
Tem-se como meta, que o teor de umidade da biomassa florestal se reduza a valores abaixo de 35%, pois quando isso é atingido, fica mais difícil a reidratação dessa biomassa, mesmo em dias de muita chuva. Isso acontece mais para biomassas florestais na forma de toras, toretes, tocos e galhos.

Já a biomassa picada e com altos valores de área superficial não desfruta tanto dessa vantagem e se reidrata mais facilmente.

Para evitar que os cavacos se reidratem, recomenda-se estocagem em áreas cobertas e bem ventiladas, como silos, galpões, armazéns, etc. Até mesmo a cobertura da biomassa com mantas plásticas pode ser realizada.

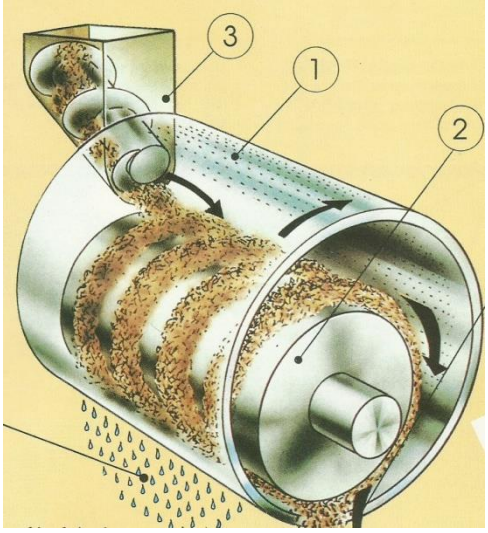
Quando a biomassa florestal estiver bem úmida, como é o caso da casca suja, que sofreu grande reidratação devido ao processo como é gerada, pode-se adotar um sistema de prensagem da casca, mas que pode ser usado também com outros tipos de biomassa.

Essa operação de prensagem não seca a biomassa, apenas retira um excesso de água livre por pressão ou compactação.



Prensagem de casca
Fonte: Kone Wood

A prensagem da casca consegue reduzir o teor de umidade de uma casca encharcada de água, com cerca de 60 a 65% de teor de umidade, para algo como 45 a 50%. Não é uma secagem, trata-se apenas de uma maneira de remoção da água livre e não da água adsorvida ou da água capilar dessa casca.



Desaguador de casca
Fonte: Saalasti Ou

Para continuação da secagem, a teores de umidade entre 10 a 25%, recomenda-se a secagem com ar quente, em secadores especialmente desenhados e construídos para operarem com biomassas.

Existem inúmeros tipos de secadores de biomassa, alguns com muita sofisticação, usando inclusive condições simultâneas de calor e vácuo para expulsar a água da biomassa. O objetivo é se promover a

evaporação da água com aplicação de calor. Nessas condições, as moléculas de água escapam da biomassa e devem ser retiradas do secador.

Os secadores mais simples são sistemas de aquecimento com algum tipo de calor residual de algum processo próximo, como os gases de exaustão de caldeiras, as sobras de vapor das turbinas, etc.

A secagem desses materiais biomássicos não se trata de algo tão simples como se possa acreditar. Existem condições a serem preenchidas para promover efetiva troca térmica, para saída de gases úmidos e para minimizar os riscos de explosões e de incêndios. Em parte isso se consegue pelo controle dos gases e ares e pelo uso de atmosfera pobre em oxigênio.

Os gases de exaustão das caldeiras e queimadores são muito interessantes por essas razões, já que são gases muito quentes e pobres em oxigênio.

Secadores de biomassa energética podem representar significativos ganhos econômicos, já que se pode ganhar produtividade e produção adicional nas operações com esse combustível mais seco.

Muitas vezes, a produção de uma fábrica de base florestal está sendo limitada pela produção de vapor ou de eletricidade. Com a secagem da biomassa, podem ser atingidos ganhos de 3 a 5% na combustão e nos rendimentos das caldeiras. Isso significa maiores quantidades de vapor e de eletricidade sendo geradas pelo mesmo sistema de equipamentos energéticos, apenas usando um combustível de melhor qualidade. Com a maior fabricação de produtos vendáveis e maiores margens brutas de contribuição, acabam sendo obtidos valores favoráveis de "pay-back", que incentivam a implantação dos secadores de biomassa.

Existe uma ampla gama de secadores de biomassa em termos de tipos, formatos, níveis de eficiência, conceitos de troca térmica, etc.

Existem secadores muito simples, com a movimentação da biomassa por uma esteira transportadora através de um túnel metálico onde ar quente se movimenta em contracorrente em relação à biomassa.

Também existem secadores mais sofisticados, desenhados para secar partículas finas de biomassa, como pós ou serragens.

Quanto mais finas forem as dimensões das partículas, mais rápida e mais eficiente é a secagem. Isso se deve ao grande aumento da área superficial da biomassa, o que favorece a expulsão da água de dentro das pequenas partículas.

A maior parte dos secadores é alimentada com vapor ou ar quente, que pode ser gerado por calor irradiante.

As condições exigidas para todos os secadores de biomassa são as seguintes:

- ✓ A secagem deve ser segura, com ausência de riscos de incêndios e explosões;
- ✓ A secagem deve procurar utilizar o máximo possível de calor recuperado de outras áreas.
- ✓ Os ares quentes e úmidos resultantes da secagem da biomassa precisam encontrar alguma utilização útil nas proximidades.
- ✓ A operação de secagem deve ter baixos consumos de eletricidade.
- ✓ O desenho dos secadores deve privilegiar unidades compactas e próximas aos locais de utilização ou de estocagem da biomassa a ser queimada, para redução dos riscos de reidratação;
- ✓ O consumo de calor para secagem deve ser o mais baixo possível por tonelada de água evaporada;
- ✓ As perdas de calor por radiação devem ser mínimas;
- ✓ O controle das operações e o atingimento dos índices técnicos e de especificação devem ser exemplares;
- ✓ A secagem não deve ser feita com uso de ares ou vapores muito quentes, pois isso pode resultar em perda de peso da biomassa por reações de decomposição térmica (pirólise ou torrefação);

- ✓ A água evaporada pode ser condensada e aproveitada como água quente de processo.

As quantidades de água evaporada por tonelada de biomassa seca não é pequena.

Vejam a seguir, um exemplo singelo para uma operação de secagem de uma biomassa florestal úmida com 50% de umidade para atingir um nível de umidade de 20% ao final da secagem. Vamos considerar como valor referencial uma situação onde estejamos secando uma quantidade de material equivalente a uma tonelada absolutamente seca de biomassa, tendo isso como base referencial para nossos cálculos.

Base referencial: Uma tonelada absolutamente seca de biomassa florestal, que equivale a 2 toneladas úmidas de peso inicial oferecido ao processo de secagem

Peso úmido de 1 tonelada a.s. de biomassa a 50% umidade = 2 t úmidas

Peso úmido de 1 tonelada a.s. de biomassa a 20% umidade = 1,25 t úmidas

Peso de água evaporada por tonelada a.s. de biomassa = 0,75 t água/t a.s. casca

Peso de água evaporada por tonelada de biomassa inicial = 0,375 t água/t biomassa a 50%U

Poder calorífico da biomassa a 50%U = 1.900 Mcal/t tal qual a 50%U

Poder calorífico da biomassa a 50%U (base seca) = 3.800 Mcal/t a.s. de biomassa seca equivalente a 50%U

Poder calorífico da biomassa a 20%U = 3.400 Mcal/t tal qual a 20%U

Poder calorífico da biomassa a 20%U (base seca) = 4.250 Mcal/t a.s. de biomassa seca equivalente a 20%U

Ganho em quantidade de calor pela secagem = 1.500 Mcal/t tal qual de biomassa

Ganho em quantidade de calor pela secagem = 450 Mcal/t a.s. de biomassa

Quantidade de calor requerida pela água para ser evaporada = 450 Mcal/0,75 t água evaporada = 600 Mcal/t água evaporada

Ganho em redução de peso da biomassa para facilitação de manuseios, transportes, etc. = 0,75 t/t a.s. ou 0,375 t biomassa por tonelada inicial (ou seja, 18,75% de redução de peso da biomassa)

Ao se proceder a secagem da biomassa nas condições mostradas se ganhariam 1.500 Mcal/t úmida e 450 Mcal/t a.s. dessa biomassa. Também se conseguiu uma redução de 18,75% do peso tal qual da biomassa.

Os rendimentos da secagem não são estequiométricos. Para aumentar o poder calorífico em 450 Mcal/t a.s. de biomassa se irá gastar mais energia na secagem do que esse ganho, talvez algo entre 550 a 750 Mcal/t a.s. de biomassa. Isso significa que gastaremos mais calor do que será ganho como energia adicional na biomassa.

É exatamente por essa razão que a secagem da biomassa deve ser realizada utilizando fontes de calor residual, exatamente de tipos de energia que a fábrica estiver perdendo ou desperdiçando, mas que poderão se converter em oportunidades de se tornarem úteis e efetivas.

Caso a fábrica não tiver fontes de energia residuais, ela até pode consumir combustíveis especialmente comprados para uso nos secadores. Porém nesses casos, o resultado econômico da secagem deve ser garantido pelo aumento de fabricação de produtos vendáveis e de margens brutas de contribuição, que justifiquem tanto o investimento como os custos operacionais adicionais com a secagem.

Tipos de secadores de biomassa

1. Secadores que utilizam os gases de combustão das caldeiras

A biomassa se seca pelo contato direto ou indireto de suas partículas com os gases quentes que são liberados de uma câmara de combustão. A temperatura do ar de secagem é ajustada pela mistura do gás de combustão com ar ambiental.

Esses secadores podem ser de diferentes e variados tipos:

A – Secadores de tambor rotativo:

O material da biomassa florestal é alimentado pela parte de cima de um tambor inclinado, movendo-se em contracorrente em relação ao fluxo de gases quentes. Alguns desses secadores estão associados a processos de limpeza da biomassa, pois conforme a biomassa seca, fica mais fácil a soltura dos contaminantes de areia, terra, etc.

B – Secadores tipo "flash dryer":

O material de biomassa florestal é alimentado em tubulações, sendo carregado pelo ar quente até um ciclone separador das partículas do ar quente e úmido.

C - Moinhos secadores:

A secagem e a trituração da biomassa florestal acontecem simultaneamente, em um moinho tipo de martelos. Conforme a biomassa vai sendo fragmentada, as suas partículas se aquecem e perdem água.

D – Mesas secadoras:

A biomassa caminha no interior de uma câmara mudando de uma mesa transportadora para outra, em um tipo de cascateamento. O ar quente da secagem encontra a biomassa diversas vezes, conforme ambos transitam nessa câmara fechada. A biomassa entra pela parte superior da câmara e o ar pelo lado inferior, por onde sai a biomassa. Portanto, quando ele encontra a biomassa pela primeira vez está bem quente e seco. Ao sair, o ar está menos quente e muito mais úmido.

E – Secadores de esteiras ou correias transportadoras:

As esteiras de transporte das partículas de biomassa caminham dentro de tubulações metálicas. O ar quente e seco entra pela extremidade de saída da biomassa e sai pelo terminal de entrada da biomassa, logo caminham em contracorrente.

O sistema é simples, robusto, seguro e de fácil construção e operação. Apresenta boa resistência às contaminações de terra e pedras das biomassas florestais. As eficiências dependem das dimensões das partículas e dos teores de umidade iniciais da biomassa.

2. Secadores a vapor

Esses secadores se valem de vapor para aquecimento de ar de secagem. São usados para aproveitar sobras de vapor na fábrica, algo que é comum em centrais termelétricas com turbinas de condensação. As eficiências são boas, mas deve-se garantir que as trocas térmicas entre vapor e ar e entre ar e biomassa sejam as melhores possíveis. Também são mais desenhados para biomassas em forma de partículas finas, como pós e serragens.

O vapor liberado pela secagem da biomassa é recolhido, reaquecido e novamente utilizado na secagem, junto a certa proporção de vapor vivo.

Problemas ambientais com os secadores de biomassa

Como se poderia esperar, o tipo de secagem de biomassa com contato direto com o ar pode resultar em alguns tipos de contaminantes, tais como:

- ✓ Particulados de biomassa, que podem ser facilmente removidos e descontaminados por ciclones separadores e lavadores de gases;
- ✓ Emissão de compostos orgânicos voláteis (hidrocarbonetos, extrativos, terpenos, fenóis, formol, etc.);

Essas gerações de poluentes voláteis são muito dependentes das temperaturas de trabalho e das velocidades dos gases. Quanto maior a temperatura, mais rápida é a secagem, porém a emissão de voláteis é maior. Também se deve cuidar para não se obter algum tipo de degradação térmica da biomassa, que pioraria o problema, com liberação de compostos ácidos e voláteis formados pela decomposição dessa biomassa pelo calor.

Grande parte desses compostos voláteis pode ser recolhida pela condensação dos gases quentes e úmidos, ficando esse material orgânico retido em efluentes líquidos para tratamento. Entretanto, existem alguns compostos voláteis que não se condensam e se necessita monitorar para prevenir essa perda para o ar ambiental. Em algumas situações, se as perdas são grandes, esse ar contaminado deve ser tratado por incineração.

No caso da água condensada e que virou efluente, deve-se monitorar a presença de DBO – Demanda Biológica de Oxigênio e de DQO – Demanda Química de Oxigênio. Esses índices de qualidade hídrica e a relação entre eles vão mostrar o tipo de tratamento que se deve dar ao efluente, na maioria das vezes, um tratamento biológico para degradar os poluentes orgânicos pela ação microrganismos.

Há também que se avaliar a ecotoxicidade desses condensados, pois eles podem eventualmente terem algum tipo de impacto sobre a saúde da biota dos tratamentos biológicos de efluentes.

Deve-se monitorar a formação de compostos orgânicos voláteis para perceber se está ocorrendo algum tipo de decomposição térmica da biomassa. Isso se percebe pelo aumento da geração de compostos voláteis e de seus tipos.

Essa decomposição térmica de biomassa pela operação de secagem não interessa a ninguém, pois isso favorece:

- ✓ Geração de poluentes aéreos e líquidos;
- ✓ Riscos de explosões e incêndios;
- ✓ Perda de peso da biomassa florestal;
- ✓ Perda de calorias úteis que poderiam ser usadas;
- ✓ Resultados econômicos piores;

- ✓ Desbalanceamentos de quantidades nos balanços mássicos das operações da empresa.

Cada situação precisa ser bem estudada e otimizada – a regra é quase sempre essa – nada vem pronto e tem utilidade universal.

Biomassa da colheita florestal distribuída para secagem natural no campo

Lenha de eucalipto estocada em pilhas que favorecem a perda de água

==========

DENSIFICAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL

Biomassa densificada

A maior parte dos combustíveis de biomassa florestal possuem baixa densidade aparente ou densidade a granel, com base na matéria seca contida por unidade de volume. Os valores para a densidade a granel da biomassa na forma bruta ou natural varia entre 0,1 a 0,38 t a.s./m³ de biomassa empilhada, sendo que os tipos que apresentam os valores mais baixos são as biomassas mais finamente divididas (partículas finas como pós e serragens).

Já a lenha, na forma de toretes ou toras empilhadas pode ter valores de densidade a granel entre 0,3 a 0,38 t a.s./estéreo ou metro cúbico empilhado.

Esses baixos valores de densidade a granel podem limitar muito os negócios comerciais com venda de biomassas florestais energéticas na forma bruta, principalmente quando as distâncias a serem percorridas pela biomassa forem muito grandes.

É onerosa e difícil a exportação de toras ou cavacos de madeira para fins energéticos, sendo que quando isso acontece é pela simples razão de que a biomassa florestal é um produto barato e consegue assimilar os enormes custos de logística que estão envolvidos nessas operações. Com o preço baixo da biomassa, devido às altas taxas de produtividade florestal, algumas operações de exportação acontecem. Caso o preço de venda da biomassa fosse mais alto, dificilmente os elevados custos de logística iriam permitir muitas dessas operações de comercialização.

Uma tecnologia economicamente viável que passou a ser muito praticada para solucionar essa problemática da baixa densidade a granel da biomassa florestal tem sido a dos processos de densificação da biomassa. Com isso, é possível se aumentar a densidade a granel e a densidade energética desses biocombustíveis.

O processo de densificação começa com a redução da biomassa a partículas pequenas, que podem depois serem mais fácil e economicamente secadas até teores de umidade entre 8 a 15%. Posteriormente, essas partículas, já secas, são compactadas fortemente até se converterem em pequenos cilindros densos, sólidos, secos e ricos em energia e em densidade energética, conhecidos como pellets, péletes e briquetes.

Pellets ou péletes
Fonte – Dorival Pinheiro Garcia, 2010

As principais vantagens da densificação da biomassa florestal são as seguintes:

- Aumento significativo da densidade a granel da biomassa em base seca de combustível;

- Redução do volume de cada unidade de peso da biomassa florestal;

- Produção de uma biomassa combustível significativamente mais seca, o que lhe confere maior e mais estável poder calorífico útil;

- Aumento substancial da densidade energética por duas razões: maior poder calorífico útil e maior densidade a granel;

- Redução significativa dos custos de manuseio e estocagem em função da menor ocupação de volume para um mesmo peso de biomassa combustível;

- Facilidade logística em função das dimensões uniformes das peças e do fato delas poderem ser comercializadas na forma de sacos embalados.

- Regularidade nas dimensões, que são padronizadas;

- Combustão fácil e rápida;

- Menores custos na geração de energia;

- Menor geração de fumaças;

- Aparência ecológica e higiênica na estocagem e manuseio;

- Produtos renováveis;

- Produtos industrializados, embalados e disponíveis o ano todo;

- Possibilidade de se associar a queima com outros biocombustíveis como lenha, carvão vegetal, etc.;

- Pouco ou nenhum uso de aglomerante ou preservativo químico perigoso;

- Substituição de outros combustíveis, inclusive os de origem fóssil, sendo assim uma tecnologia que converte resíduos em produtos úteis para a sociedade.

Na verdade, todas essas vantagens podem ser sumarizadas em uma vantagem principal, que é a significativa maior densidade energética da biomassa densificada.

A densidade energética, como já explicada em situações anteriores, consiste na quantidade líquida ou útil de energia que está disponível para liberação de cada unidade de volume dessa biomassa florestal energética.

Vejamos agora, para explicar melhor isso, o exemplo comparativo onde quatro tipos de biomassa energética de origem florestal são avaliados numericamente em relação aos seus potenciais energéticos, quais sejam:

A. Lenha de toras de madeira com casca de eucalipto;

B. Serragem de madeira com casca obtida de biomassa eucalíptica;

C. Briquetes de madeira de eucalipto contendo casca;

D. Briquetes de madeira de *Pinus*, contendo casca

Para as biomassas referidas como A a C, derivadas dos eucaliptos, se definiu que o poder calorífico inferior de cada uma delas seria o mesmo e igual a 4.200 Mcal/t absolutamente seca. Já a biomassa D, derivada do *Pinus,* foi considerada com tendo um ligeiramente melhor poder calorífico inferior, sendo esse de 4.500 Mcal/t a.s., em função dos maiores teores de lignina e extrativos dessa biomassa.

A - <u>Lenha de toras de madeira com casca de eucalipto com 30%Umidade</u>

Poder calorífico útil da biomassa da lenha seca = 4.200 Mcal/t a.s.

Teor de umidade = 30%

Poder calorífico útil da lenha com 30%U = 2.760 Mcal/t a 30%U

Densidade a granel da lenha seca = 0,325 t a.s./estéreo

Densidade a granel da lenha a 30%U = **0,465 t a 30%U/estéreo**

Densidade energética da lenha a 30%U = **1.283 Mcal/estéreo**

B - Serragem de madeira com casca obtida de biomassa eucalíptica com 30% Umidade

Poder calorífico útil da biomassa de serragem seca = 4.200 Mcal/t a.s.

Teor de umidade = 30%

Poder calorífico útil da serragem de eucalipto com 30%U = 2.760 Mcal/t a 30%U

Densidade a granel da serragem seca = 0,135 t a.s./m³

Densidade a granel da serragem a 30%U = **0,193 t a 30%U/m³**

Densidade energética da serragem a 30%U = **533 Mcal/m³**

C - Briquetes de madeira de eucalipto contendo casca, com 10% Umidade

Poder calorífico útil da biomassa madeira de eucalipto contendo casca = 4.200 Mcal/t a.s.

Teor de umidade = 10%

Poder calorífico útil biomassa madeira de eucalipto contendo casca = 3.720 Mcal/t a 10%U

Densidade a granel do briquete de madeira de eucalipto contendo casca na base seca = 0,7 t a.s./m³ de briquete empilhado

Densidade a granel do briquete de madeira de eucalipto contendo casca a 10% de umidade = **0,778 t a 10%U/m³**

Densidade energética do briquete de madeira de eucalipto contendo casca a 10% de umidade = **2.894 Mcal/m³ de briquete empilhado**

D - Briquetes de madeira de *Pinus* contendo casca, com 10% Umidade

Poder calorífico útil da biomassa madeira de *Pinus* contendo casca = 4.500 Mcal/t a.s.

Teor de umidade = 10%

Poder calorífico útil biomassa madeira de *Pinus* contendo casca = 3.990 Mcal/t a 10%U

Densidade a granel do briquete de madeira de *Pinus* contendo casca na base seca = 0,7 t a.s./m³ de briquete empilhado

Densidade a granel do briquete de madeira de *Pinus* contendo casca a 10% de umidade = **0,778 t a 10%U/m³**

Densidade energética do briquete de madeira de *Pinus* contendo casca a 10% de umidade = **3.104 Mcal/m³ de briquete empilhado**

A partir desses cálculos se torna possível estabelecerem relações de densidade energética entre esses tipos de biomassa, considerando a densidade energética da lenha com 30% umidade como referencial e igual a 1.

Ficamos então com as seguintes relações entre densidades energéticas:

Briquete de madeira de *Pinus* contendo casca =	**2,42**
Briquete de madeira de eucalipto contendo casca =	**2,26**
Lenha de madeira de eucalipto contendo casca a 30%U=	**1**
Serragem de madeira com casca de eucalipto =	**0,42**

Como se pode observar, a densificação da biomassa permite concentrar energia útil por unidade de volume desse combustível, tanto pelo menor teor de umidade, maior poder calorífico útil e maior densidade a granel. Cálculos similares podem ser feitos com diversos outros tipos de biomassas florestais. Será possível se perceber, que em todos os casos, a densificação e a prévia secagem da biomassa colaborarão para uma melhoria substancial da qualidade da biomassa florestal como material combustível.

A densidade aparente base seca de cada peça sólida de pélete ou de briquete costuma atingir valores acima de 1 t a.s./m³ sólido e o teor de umidade varia entre 8 a 15%.

Quanto mais seco e mais denso for o material densificado, maior serão os seus valores para densidade energética.

Entretanto, tanto os briquetes como os péletes são comercializados na forma a granel (em sacos de 50 kg cada, ou a granel mesmo). A densidade a granel desses dois tipos de materiais, quando empilhados, variam então de 550 a 750 kg a.s./m³ empilhado. Por isso, os péletes e os briquetes, quando empilhados, possuem valores de energia útil disponível que estão entre 2.400 a 3.100 Mcal/m³.

Já a lenha do eucalipto costuma ter densidades energéticas que costumam ser algo entre 1.150 a 1.350 Mcal/estéreo. Esses valores são muito mais variados por duas razões: teores de umidade da lenha são muito variados (entre 25 a 45%), da mesma forma que os fatores de cubicação, que relacionam o volume de madeira sólida por volume de madeira empilhada (variando entre 0,6 a 0,7 m³ sólido/estéreo).

Por outro lado, quando os péletes e briquetes são alimentados a uma fornalha de caldeira para sofrerem combustão, o importante agora passa a ser a densidade energética do volume sólido de cada peça de material densificado, ou seja, com cerca de 1 a 1,25 toneladas de densidade da peça úmida por metro cúbico sólido. Isso porque o que vale no momento da queima será a energia sendo liberada pelo volume sólido de biomassa combustível sendo alimentada (como um sólido) e não como peças a granel e empilhadas.

A densidade a granel é muito importante para as movimentações, manuseios e estocagem das peças de combustível, mas quando essas peças de biomassa entram na fornalha da caldeira o que se queima são os sólidos e não os espaços vazios entre as peças.

Vamos, portanto, comparar agora as toras sólidas de uma lenha de eucalipto a 30% de umidade com as peças sólidas de briquetes a 10% de umidade, em relação às quantidades de energia disponíveis por metro cúbico sólido de cada material:

<u>Lenha de toras sólidas de madeira de eucalipto com casca e possuindo 30% Umidade</u>

Poder calorífico útil da biomassa da lenha seca = 4.200 Mcal/t a.s.

Teor de umidade = 30%

Poder calorífico útil da lenha com 30%U = 2.760 Mcal/t a 30%U

Densidade base sólida da lenha seca = 0,5 t a.s./m³ sólido de toras

Densidade lenha sólida a 30%U = **0,715 t a 30%U/m³ sólido lenha**

Densidade energética da lenha sólida a 30%U = **1.973 Mcal/m³ sólido lenha**

Peças sólidas de briquetes de madeira de eucalipto contendo casca com 10% Umidade

Poder calorífico útil da biomassa madeira de eucalipto contendo casca = 4.200 Mcal/t a.s.

Teor de umidade = 10%

Poder calorífico útil biomassa madeira de eucalipto contendo casca = 3.720 Mcal/t a 10%U

Densidade de peças sólidas de briquete de madeira de eucalipto contendo casca em base seca = 1 t a.s./m³ sólido de briquete

Densidade de peças sólidas de briquete de madeira de eucalipto contendo casca a 10% de umidade = **1,111 t a 10%U/m³ sólido**

Densidade energética de peças sólidas do briquete de madeira de eucalipto contendo casca a 10% de umidade = **4.133 Mcal/m³ sólido de briquete**

O que acaba correspondendo, nesse caso específico, a uma relação entre peças sólidas de briquete e de lenha equivalente a:

(4.133 Mcal/m³ sólido de briquete) : (1.973 Mcal/m³ sólido lenha) =

2,09 m³ sólido lenha/m³ sólido de briquete

Exatamente como está escrito nos livros textos: os materiais densificados de biomassa florestal eucalíptica possuem em geral um pouco mais do que o dobro de densidade energética da lenha relativamente seca de madeira do eucalipto.

O poder calorífico do material densificado varia de acordo com o tipo de matéria-prima e com a umidade dos briquetes. No caso de briquetes produzidos com biomassa florestal de eucalipto, eles apresentam poder calorífico útil entre 3.250 a 3.900 Mcal /tonelada tal qual, dependendo do tipo de biomassa.

Em geral, a umidade do briquete de biomassa está por volta de 8 a 15%, sendo que a densidade base peso absolutamente seco do torete sólido é de aproximadamente 1.000 a 1.150 kg/m³ sólido (ou 1.100 a 1.300 kg na umidade de 10% por m³). Isso ocorre em função da intensa densificação do material por fortíssima prensagem.

Já a densidade aparente ou a granel dos toretes empilhados do briquete está em cerca de 650 a 700 kg absolutamente secos por metro cúbico de toretes "empilhados", em função da disposição espacial dos mesmos.

Comparativamente aos cavacos de madeira de eucalipto, que têm cerca de 160 a 200 kg secos/m³ como densidade a granel, pode-se concluir que a briquetagem definitivamente agrega densidade ao combustível e reduz seu espaço físico. Comparativamente aos cavacos, estamos falando em um aumento da densidade a granel da biomassa base seca em cerca de 4 a 5 vezes, apenas em função da densificação.

Briquetes de biomassa embalados para exportação
Fonte – Luiz Vicente Bocorny Gentil, 2008

Péletes e briquetes são biocombustíveis lignocelulósicos sólidos, secos e prensados em forma de peças granulares cilíndricas, pequenas pelotas ou mini-toretes, as quais atuam como biomassa combustível para a geração de energia.

Em suas formas mais comerciais, assemelham-se muito à ração de cachorro (péletes), ou então a toretes secos (briquetes). Tanto os péletes como os briquetes podem ser produzidos a partir de diversos resíduos vegetais; entretanto os derivados de restos de madeira e florestais como galhos, cascas e madeira são os mais comuns. Podem também receber restos de materiais agrícolas, com de cascas de arroz, cacau e amendoim, palhas de cereais, etc.

Apesar da grande variabilidade de composição, os péletes e briquetes apresentam a alta densidade como característica em comum, possuindo formato geralmente cilíndrico, exceto os derivados de carvão vegetal, que são mais arredondados ou empelotados. Há briquetes que possuem formato prismático (quadrados e hexagonais em sua seção transversal).

O processo de fabricação e o tipo de matéria-prima usada ditam as formas e principalmente as dimensões dos pequenos cilindros, definindo também se é mais conveniente a produção dos péletes ou dos briquetes.

As principais diferenças existentes entre os péletes e os briquetes estão na forma de fabricação e nas dimensões. Os briquetes são pequenos toretes cilíndricos com 4 a 15 cm de diâmetro e 10 a 50 cm de comprimento; enquanto os péletes possuem 4 a 15 mm de diâmetro e comprimento de até 3 a 4 cm. O que é certo é que os péletes são os produtos de menores dimensões, enquanto os briquetes são os de maiores.

A seleção de um ou outro tipo em relação ao formato depende também das características dos mercados que se deseja atingir.

A produção de briquetes é mais fácil e as tolerâncias são maiores em relação à qualidade das partículas de biomassa. Isso porque as peças são maiores e mais sólidas. Com isso, são comuns briquetes fabricados a partir de misturas de biomassas de diferentes tipos, tais como resíduos de base florestal, cascas e palhas do beneficiamento de cereais, bagaço de cana de açúcar, resíduos de carvão vegetal, etc.

Os briquetes são considerados biocombustíveis ecológicos (ou "lenha ecológica"); pois, além de serem produzidos a partir de resíduos e desperdícios da madeira e das florestas, são considerados recursos renováveis, agregando valor a um produto antes desprezado e muitas vezes descartado de forma até mesmo ambientalmente incorreta.

A produção e utilização de biomassa densificada no mercado brasileiro são cada vez maiores, sendo usada em: abatedouros de animais, cerâmicas, cerealistas, cervejarias, fecularias, hospitais, hotéis, laticínios, lavanderias, metalúrgicas, panificadoras, pizzarias, tinturarias e residências domésticas. Também existem oportunidades em inúmeras indústrias, em geral de pequeno e médio porte e localizadas em centros urbanos.

Com o crescimento dos mercados e as oportunidades de exportação de péletes e briquetes, tem aumentado bastante os interessados em investir em negócios novos nesse tipo de produtos. Os principais interessados são os seguintes:

- Produtores de florestas plantadas, interessados em verticalização para suas florestas, para com isso terem maiores estabilidades mercadológicas e maiores taxas de retorno, fruto dessa ampliação

de escopo de sues negócios, saindo de fornecedores de matéria-prima para vendedores de insumos energéticos.

- Produtores de diversos segmentos do setor madeireiro, que estão enxergando a oportunidade de conversão de seus resíduos de processamento em produtos energéticos mais valiosos do que a biomassa florestal vendida como material residual.

- Recicladores que atuam nos mercados de resíduos, que estão vislumbrando novas oportunidades de ganhos, inclusive com a exportação desses produtos;

- Produtores rurais, que possuem grandes gerações de material de biomassa agrícola como palhas, cascas, etc.

- Investidores de fundos de investimentos, que querem garantias físicas e nem tanto virtuais para seus recursos financeiros;

- Indústria sucroalcooleira, para agregar mais valor aos produtos da cana de açúcar;

- Produtores de carvão vegetal, que podem produzir materiais densificados de extraordinário poder calorífico útil a partir de pó de carvão ou de partículas de carvão especialmente triturado para essa finalidade.

Especificações técnicas internacionais para os briquetes de biomassa densificada:

Como já visto, os briquetes são mini-toretes de biomassa densificada, que normalmente são vendidos em pacotes embrulhados com plástico, ou a granel. São peças densas e resistentes de biomassa, que resistem bem aos impactos de manuseio e transporte.

- Dimensões aproximadas dos briquetes:

Diâmetro = 4 a 15 cm

Comprimento = 10 a 50 cm

- Densidade da peça sólida e úmida de briquete = 1,1 a 1,3 t tal qual/m³ sólido

- Teor de umidade = 8 a 15%

- Poder calorífico útil = 3.450 a 3.900 Mcal/t tal qual

- Densidade a granel base absolutamente seca = 0,6 a 0,7 t a.s./m³ empilhado

- Densidade energética do material sólido do briquete = 3.500 a 4.200 Mcal/m³ sólido

- Densidade energética do material empilhado = 2.300 a 3.100 Mcal/m³ empilhado

- Teor de cinzas = 1 a 3%, podendo chegar a 4% no caso de altos teores de casca na composição de biomassa sendo utilizada

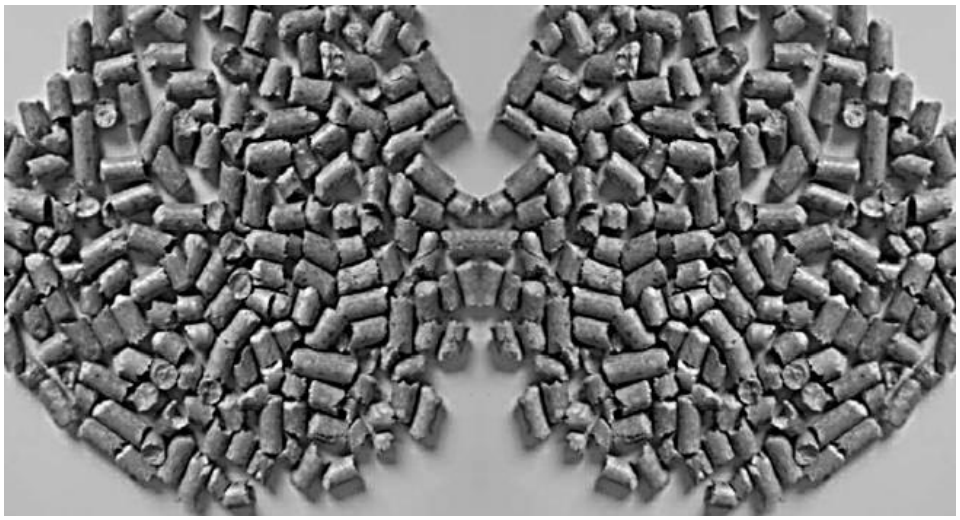
Os principais requisitos não energéticos para os briquetes estão relacionados à sua resistência física e mecânica. Dentre os testes que são feitos, podem ser destacados:

<u>Teste do arremesso do saco contendo briquetes</u>: através do qual são contados os briquetes que se quebram conforme um saco é arremessado por 0 a 7 vezes, conforme condições padrões de arremesso

<u>Teste de resistência ao esfarelamento</u>, simulando atrito do transporte;

<u>Teste de resistências estáticas das peças</u>, simulando o que possa acontecer no armazenamento e manuseio dos briquetes.

Especificações técnicas internacionais para os péletes de biomassa densificada:



Os péletes são pequenos cilindros de biomassa densificada, que mostram fácil manuseio, comercialização e aplicação energética. São muito demandados em mercados nobres e bom pagadores, como no caso da Europa e América do Norte.

- Dimensões aproximadas dos péletes:

Diâmetro = 4 a 10 mm

Comprimento = 10 a 30 mm

- Densidade da peça sólida e úmida de pélete = 1 a 1,25 t tal qual/m³ sólido
- Teor de umidade = 6 a 12%
- Poder calorífico útil = 3.500 a 4.000 Mcal/t tal qual
- Densidade a granel base absolutamente seca = 0,55 a 0,65 t a.s./m³ empilhado

- Densidade energética do material sólido do pélete = 3.500 a 4.400 Mcal/m³ sólido

- Densidade energética do material empilhado de pélete = 2.100 a 3.000 Mcal/m³ empilhado

- Teor de cinzas = 0,5 a 1,5 %

- Teor de lignina = 25 a 30%

- Teor de extrativos = 3 a 6%

O processo de densificação da biomassa florestal

A primeira patente relatada para densificação ou pelotização de materiais energéticos teria surgido em 1848, nos Estados Unidos da América, como resultado dos estudos para compactação de carvão úmido por William Easly.

O processo rapidamente floresceu, modificando-se em tecnologias, em formatos e dimensões das peças compactadas ou densificadas. Pouco tempo mais tarde surgiu a denominação de briquetes para as peças maiores e péletes para as de menores dimensões.

A grande explosão tecnológica e mercadológica para esses produtos se iniciou a partir dos anos 1930's, com a criação de máquinas de compactação mais efetivas. No Brasil, esse tipo de industrialização surgiu em 1980's tendo se usado não apenas para compactação de biomassas, mas também de outros tipos de pós (minérios, etc.).

Com relação à produção de produtos densificados de biomassa, o crescimento desse tipo de industrialização no Brasil tem sido crescente e contínuo, sendo que nessa última década parece que passou a ser um dos processos industriais mais atrativos no setor de base florestal.

Existem algumas centenas de empresas no País, produzindo biomassa densificada de madeira ou de carvão vegetal, em ambos os formatos.

Apesar de ser possível se densificar qualquer tipo de biomassa, a densificação da biomassa florestal tem sido a forma predominante de se trabalhar nessa atividade, apesar de não serem poucas as iniciativas

com biomassas agrícolas. A principal razão é não sazonalidade da biomassa florestal, que pode ser obtida o ano todo.

As principais empresas produtoras de biomassa florestal densificada se localizam nos estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Santa Catarina, Pará, Rio Grande do Sul, Goiás, dentre outros.

Já existem empresas de porte significativo produzindo péletes s briquetes de biomassa florestal, procurando atender mercados cada vez mais amplos, seja no Brasil ou no exterior pela exportação.

Os investidores são de diversos tipos: há empresas que investem em reflorestamentos para produção de matéria-prima, outras se valem de resíduos de polos industriais madeireiros, e assim por diante. Há empresas oportunistas, que seguem os resíduos onde eles estão sendo gerados, como suas máquinas móveis de peletização ou briquetagem. Quando a fonte de biomassa florestal se esgota, elas recolhem as máquinas e mudam para locais com outras fontes de resíduos de biomassa florestal ou agrícola.

Entretanto, já existem muitas empresas fixas e de maior porte, com produções acima de 15 toneladas de produtos prontos por hora de operação.

Como essa indústria no Brasil ainda está em fase de crescimento mercadológico e tecnológico, existe uma grande diversidade de volumes de produção e de qualidades e idades tecnológicas. Por essa razão, temos produtores mais do tipo extrativista, com máquinas e processos mais primitivos, voltados para atender oportunidades locais. Mas temos também empresas com adequados níveis de tecnologias, com bons índices técnicos de produtividade e de especificações de produtos.

Qualquer processo de densificação da biomassa florestal segue cinco fases tecnológicas:

A. <u>Preparação, classificação e limpeza da biomassa</u>

B. <u>Fragmentação da biomassa</u> em partículas finas e fáceis de secar. Quanto maior for a dimensão da partícula, pior é a secagem e menos compactado fica o produto densificado. As partículas costumam apresentar entre 0,5 a 3 mm de diâmetro.

C. Secagem das partículas para atingimento de teores de umidade entre 6 a 15%. Os secadores costumam aquecer o ar de secagem queimando os próprios resíduos da biomassa, ou obtendo gases quentes de outros processos associados e próximos.

D. Compactação efetiva através de prensas com altas aplicações de pressões (90 a 150 kgf/cm²) e temperaturas (140 a 250ºC). A temperatura elevada resulta em grande parte da própria ação das forças de compactação, que atuam sobre uma biomassa recém-secada e ainda quente. A elevação da temperatura acaba criando uma espécie de plastificação da lignina, formando um ligante natural, barato e de excepcionais poderes de união das partículas. Por essas razões, a maior parte dos produtos densificados de biomassa florestal não utilizam, ou usam muito pouca adição de ligantes ou aglomerantes. Quando fazem uso disso, são utilizados produtos ambientalmente adequados como amido, melaço de cana, lignina ou lignossulfonatos.

E. Empacotamento em sacos plásticos, que em geral guardam 50 kg de peças desses produtos densificados em cada um. A razão do empacotamento é para evitar perdas de uma espécie de farelo de biomassa, que pode se soltar das peças do material densificado, em função do atrito entre elas, causado pela movimentação e estocagem.

Os consumos energéticos não são pequenos, pois há muita energia requerida na secagem tão intensa das partículas de biomassa para teores de umidade tão baixos como 6 a 15%. Só a secagem consome entre 75 a 80% de toda a energia requerida no processo total de industrialização.

Estima-se que o processo de densificação consuma entre 25 a 30% da energia presente na biomassa florestal oferecida como matéria-prima. Mesmo assim, o balanço ainda é bastante favorável e justifica o uso e o crescimento produtivo e competitivo desse setor.

Existem alguns outros aditivos, que podem ser usados na composição dos produtos, conforme as especificações desejadas pelos usuários.

Serragem de madeira pode ser adicionada para dar um toque de defumado para os briquetes utilizados em restaurantes e pizzarias.

O óleo vegetal pode ser colocado para facilitar a ignição das peças.

Já a argila pode ser adicionada em pequenas quantidades para reduzir a velocidade de queima ou a formação de chamas em excesso.

O carvão vegetal em pó pode ser misturado às receitas de biomassas para aumentar o poder calorífico útil do produto.

Os produtos adensados de biomassa florestal são demandantes em seus processos produtivos por matérias-primas limpas e com poucos resíduos minerais contaminantes. Mesmo assim, o teor de cinzas na biomassa florestal pode variar entre 0,5 a 8%, muito em função da composição e dos teores de cinzas dos diversos materiais florestais e de suas eventuais contaminações com terra.

Por exemplo: o briquete feito apenas com casca das árvores do eucalipto pode atingir 3 a 6% de cinzas, enquanto o feito apenas com madeira apresenta teor de cinzas muito menor - entre 0,5 a 1%.

Um dos principais pontos negativos que os briquetes de resíduos florestais podem apresentar é a mistura desuniforme de seus componentes. Essa desuniformidade exigirá adequações nas tecnologias e no preparo e especificações da matéria-prima. Caso isso não aconteça acontecerão variações nas qualidades dos biocombustíveis em termos de cor, higroscopicidade, grau de compactação, poder calorífico útil, etc.

Densificação de biomassas florestais previamente tratadas termicamente

Estão surgindo algumas alternativas novas e atrativas para a produção de briquetes ou péletes com maior valor energético.

Algumas empresas, suportadas por pesquisas focadas em melhoria do valor energético dos materiais de biomassa florestal densificada, estão introduzindo nas receitas de seus péletes ou briquetes, certo teor de partículas de madeira torrificada ou de carvão vegetal, em percentuais variáveis, em geral entre 20 a 60% do peso seco. Há, porém, quem esteja produzindo biomassa florestal densificada somente a partir de biomassa florestal carbonizada ou torrificada.

O processo pode ser realizado de duas maneiras:

- Biomassa previamente carbonizada ou torrificada é fragmentada em pó e esse pó seco e rico em poder calorífico é introduzido em mistura com outras biomassas, elevando o poder calorífico útil do produto.

- Briquetes são produzidos a partir de biomassas florestais e depois levados para sofrerem uma rápida pirólise ou torrefação, melhorando com isso sua densidade energética. Os gases combustíveis liberados nesse processo de decomposição térmica da madeira são usados no processo de secagem das partículas de biomassa.

Nesse processo de decomposição da biomassa pelo calor, alguns compostos mais facilmente degradáveis se liberam ou se volatilizam (hemiceluloses, extrativos, ácido acético, carboidratos simples, etc.) e formam um ar quente pobre em poder de combustão.

Esse ar quente pode retornar como complemento energético de aquecimento na torrefação, carbonização ou pirólise, gerando energia para aquecer o forno e continuar o processo sucessivamente.

Na verdade, estamos procurando produzir um protótipo de carvão vegetal na forma de briquetes de biomassa. Esses briquetes contendo material carbonizado, pirolisado ou torrificado possuem maior teor de carbono fixo, são resistentes, densos, têm baixíssima umidade (menos de 5%) e concentram ainda mais a energia.

O poder calorífico útil pode atingir 4.800 até 7.000 Mcal por tonelada tal qual, muito em função da elevação do teor de carbono fixo da biomassa pré-degradada termicamente e do baixo teor de umidade nos biocombustíveis dessa biomassa.

Os rendimentos para a conversão da biomassa original em material decomposto termicamente variam entre 40 a 80%. Quanto menor o rendimento, maior a densidade energética do produto

resultante, porém a perda de peso pode ser grande e desestabilizar a estrutura do biocombustível compactado. Trata-se de mais uma oportunidade interessante para converter os resíduos florestais em excelentes e eficazes biocombustíveis sólidos.

Dentre os processos de decomposição térmica da madeira, a carbonização é o mais drástico e com menores rendimentos (abaixo de 40%). Por isso, para evitar que o briquete se desintegre e se esfarele, caso o processo térmico fosse aplicado diretamente sobre ele, recomenda-se que esse tipo de enriquecimento de energia seja feito em material separado e depois se junte o pó de carvão vegetal nas receitas da biomassa densificada. Já a torrefação e a pirólise, por serem menos drásticas, podem sim serem aplicadas sobre os briquetes de biomassa, para provocar enriquecimento energético.

Algumas empresas realizam a carbonização de resíduos da colheita da floresta (galhos, tocos, raízes, etc.) para depois usarem o carvão produzido para formação de partículas de carvão para enriquecimento de seus péletes ou briquetes.

O carvão vegetal assim produzido é bem seco e muito energético, com poderes caloríficos inferiores acima de 7.000 Mcal por tonelada tal qual. Ao se produzirem briquetes só de carvão vegetal, podem ser obtidos densidades energéticas base briquetes empilhados de quase 5.000 Mcal/m³, sem necessidade de se ter que secar a biomassa, pois a secagem da biomassa ocorre durante o processo de carbonização.

Briquetes embalados

==========

OPORTUNIDADES E AMEAÇAS PELO USO DOS RESÍDUOS FLORESTAIS

Nem tudo que parece ser verde é necessariamente de origem florestal

Nem tudo que seja realmente de origem florestal pode ser ambientalmente correto para utilização como biocombustível

Conheçam a árvore artificial "The Tree of Life"
Disney's Animal Kingdom - Walt Disney World Resort

Uma floresta plantada só pode ser considerada como uma fonte permanente de recursos energéticos quando forem respeitados os princípios conservacionistas, preventivos, mitigadores e compensatórios relativos às qualidades dos solos, recursos hídricos, ar, biodiversidade e qualidade de vida das pessoas a ela relacionadas.

A produção contínua de uma área florestal pode causar impactos acumulativos sobre os recursos naturais desse ecossistema, e com isso, prejudicar a sustentabilidade da capacidade produtiva desse sítio.

As principais causas para a redução desse tipo de sustentabilidade são as seguintes:

- Simplificação exagerada do ambiente natural (monocultivos intensivos, utilização de poucos clones extremamente domesticados, planejamento inapropriado dos ecomosaicos florestais, redução das fontes de água, mau uso do solo, etc.);

- Redução da oferta de nutrientes, água e energia para os diversos tipos e organismos vivos que vivem nesse ecossistema florestal;

- Exportação contínua das riquezas nutricionais desse ambiente, sem preocupação com a reposição adequada;

- Manejo inadequado das florestas plantadas, com intensa atividade antrópica sobre as áreas de florestas plantadas;

- Impactos drásticos sobre o mágico processo de ciclagem dos nutrientes, que apesar de conhecido e admirado, é pouco respeitado pelos produtores de florestas plantadas;

- Impactos sobre a conservação de água nas microbacias ocupadas e influenciadas pelas plantações de florestas.

Sabe-se que nos primeiros dois anos de vida de uma floresta de eucalipto, a copa das árvores representa um percentual grande do peso seco de toda a biomassa aérea da floresta, algo como 35 a 60%, dependendo das dimensões, idades e espécies dessas árvores. Na medida em que as árvores ficam mais velhas e crescem, partes significativas das copas vão sendo gradualmente lançadas ao solo na forma de uma rica e densa manta orgânica, ou serapilheira. Existe também uma constante troca de folhas e casca nas árvores, que ajudam para que essa queda de biomassa sobre os solos seja de algo em muitos casos superior a 5 toneladas de matéria orgânica base seca por ano.

Conforme a floresta cresce, formando grandes volumes de tronco, a proporção de copa diminui, atingindo valores entre 8 a 12% do peso seco da biomassa total da árvore.

Essa copa, agora proporcionalmente muito menor, é responsável por magníficos fenômenos naturais devido à fisiologia dessas árvores: fotossíntese nas folhas; bombeamento de água graças às forças exercidas pela transpiração da planta sobre os fluxos de água no interior da árvore; perda de folhas e galhos, que caem sobre o solo para serem decompostos naturalmente; captação da luz e da água das chuvas pelo poder de interceptação das copas, etc.

As folhas, os ramos mais grossos, os ponteiros e os galhos finos compõem a copa das árvores. Em uma floresta adulta de eucalipto com 7 anos, a copa pode representar algo como 10 a 15 toneladas de matéria orgânica base seca por hectare.

A casca das árvores é outro tipo de biomassa abundante, que pode representar entre 5 a 8% do peso seco da biomassa total da floresta. Da mesma forma, as raízes que se aprofundam no solo e se manifestam na superfície como a touça que permanece após a colheita, também representam grandes quantidades de biomassa florestal, algo no mesmo nível que a copa, ou seja, entre 10 a 15 t a.s./hectare quando a árvore é colhida aos 7 anos.

Todos esses componentes que se somam para formar o peso total das árvores de uma floresta de eucalipto não são estáticos. Todos eles participam de magníficos processos metabólicos, cada um deles colaborando para que a floresta cresça, desenvolva, interaja e coopere com a saúde do ecossistema em que se insere.

Um desses processos mais mágicos e notáveis é a ciclagem dos nutrientes, quando as partes que morrem e caem aos solos a partir das árvores sofrem biodeterioração pela microvida do solo. Com isso, liberam nutrientes nelas contidos para novo aproveitamento pelas plantas e animais que habitam esse ecossistema. Também o húmus, resultante dessa decomposição, se acumula nas camadas superficiais do solo, colaborando na captação e retenção de água e de nutrientes. Tudo isso dá vida ao solo – a floresta viva colaborando com a vida de outros organismos nesse ambiente maravilhoso.

Enfim, tudo é mágico em uma floresta plantada em suas interações ecofisiológicas. São diversos os autores brasileiros, que têm mostrado e demonstrado essas muitas verdades sobre as árvores das florestas plantadas dos eucaliptos. Ficam, através da menção de seus nomes, o meu reconhecimento e agradecimento pelo muito que descobriram e estão descobrindo sobre a fisiologia e ecologia das florestas de eucalipto. São eles: Fábio Poggiani; Mauro Valdir Schumacher, Walter de Paula Lima, José Leonardo de Moraes Gonçalves; José Luiz Stape, dentre muitos outros. Muito obrigado pelo muito que agregaram de conhecimento sobre essas florestas para que as possamos produzir melhor e nos beneficiar de forma sustentável e responsável dos recursos que elas criam em benefício da sociedade.

Portanto amigos, respeitar e proteger esses ecossistemas mágicos, onde muita coisa boa acontece, é nossa missão. Quanto melhor for nosso respeito e ações para a sustentabilidade desses sítios, melhor estaremos fazendo para que as futuras gerações de plantas,

animais e pessoas se beneficiem deles e sejam também produtivas e felizes.

A remoção dos resíduos florestais para utilização energética (ou outra qualquer) poderá sim apresentar maiores ou menores níveis de impactos sobre todos esses processos que acabei de lhes relatar. Conforme as partes das árvores que forem removidas como biomassa e conforme as medidas mitigadoras e protecionistas tomadas, poderemos ter níveis muito variados de impactos. Alguns podem ser plenamente absorvidos e compensados, outros jamais. Isso vai depender muito mais de nós humanos do que das árvores dos eucaliptos presentes na floresta plantada.

Dentre as medidas conservacionistas podem ser citadas as relacionadas à proteção dos solos contra a erosão, compactação, desestruturação, perda de fertilidade, etc. Também se enquadram ai as avaliações e acompanhamentos das microbacias para proteção dos mananciais e recursos hídricos.

Dentre as medidas mitigadoras e compensatórias estão a fertilização dos solos para restauração do banco de nutrientes e de carbono orgânico do solo. Até mesmo resíduos das fábricas como as cinzas residuais das caldeiras e os lodos orgânicos do tratamento de efluentes podem colaborar com essa melhoria da qualidade dos solos florestais.

Caso a medidas conservacionistas, mitigadoras, prevencionistas e compensatórias não forem realizadas (ou forem mal realizadas), os efeitos sobre o sítio florestal podem ser críticos, e isso pode acontecer em pouco tempo biológico. Bastam algumas poucas gerações de florestas sendo colhidas para que a produtividade florestal se reduza drasticamente.

Isso seria um legado perverso para as futuras gerações, pois o sítio poderá ficar até mesmo estragado para outras culturas agrícolas e florestais.

O mínimo que eu posso esperar para os usuários dessa biomassa florestal residual (casca, copa e raízes), que hoje se constitui em um banco de nutrientes, umidade e de carbono orgânico para os solos e para os organismos desse ecossistema, é que trabalhem com respeito a esses processos, buscando práticas sustentáveis em todas as suas operações.

Existe muita diversidade de formas de atuação. Alguns produtores florestais até acreditam que estão fazendo "um favor ao deixarem limpos a floresta e o solo superficial" após a colheita, pois os resíduos são por eles considerados como fatores de atrapalhação para as demais atividades florestais, inclusive para a brotação das cepas. Uma visão imediatista e pouco ambientalista ou ecológica – muitas vezes, por desconhecimento e nada mais.

A remoção dos resíduos florestais que aparecem na colheita das árvores precisa não apenas de máquinas para fazer esse serviço de forma barata. Precisa também do estabelecimento de balanços nutricionais e medidas de recomposição da qualidade e fertilidade do solo, dos recursos hídricos e da biodiversidade – pelo menos isso.

Acredito, ou melhor, tenho até certeza, de que a remoção pura e simples de toda a biomassa residual da colheita florestal, sem se repor nutrientes com base em balanços adequados, é até mesmo pior do que a queima que se fazia desses resíduos pela silvicultura de anos passados. Pelo menos com a queima, as cinzas resultantes da mineralização acelerada da biomassa ficavam no solo e não eram exportadas para longe do ecossistema.

Existem muitos outros efeitos associados com a inadequada gestão dos resíduos florestais, conforme se processam as extrações dos mesmos sem ações protecionistas e mitigadoras.

São efeitos nocivos e prejudicais sobre:

- A microflora e a microfauna dos solos (fungos, bactérias, algas, líquenes, larvas de insetos, crustáceos, aracnídeos, etc.);

- Os animais superiores que se alimentam, dos resíduos da colheita e de organismos que se desenvolvem sobre eles (minhocas, roedores, pássaros, etc.);

- O banco de sementes da área;

- O sub-bosque das florestas, que acaba muitas vezes sendo colhido também como biomassa;

- A continuada perda de fertilidade, estruturação, umidade e qualidade dos solos florestais.

Copa/galharia/folhas, cascas e raízes são poderosos recursos energéticos que não podem ser desprezados. Porém, são também fontes de enormes riquezas para as novas gerações de florestas e para os demais seres vivos que habitam esses ecossistemas. Quanto maiores forem as remoções desses resíduos, maiores as chances de se terem impactos cada vez mais perversos.

Quando os resíduos florestais energéticos forem recolhidos da floresta para uso pelos humanos, o nível de impacto dependerá principalmente dos tipos de biomassa que forem removidos e da intensidade como isso possa acontecer. Também dependerá de quais procedimentos serão tomados pelos técnicos para minimização dos efeitos negativos.

De qualquer forma, as utilizações dos resíduos da colheita florestal (da parte aérea das árvores) e dos tocos e raízes grossas trazem as seguintes expectativas de cunho ambiental:

- Gradual empobrecimento do solo pela exportação de nutrientes, compactação, erosão, ressecamento, oxidação do carbono orgânico, desnudamento, etc.;

- Aumento dos custos com fertilização e monitoramento das perdas e reposições;

- Perdas de produtividade florestal;

- Desequilíbrios entre oferta e consumo de nutrientes, o que pode acelerar a incidência de pragas e doenças. Árvores em

desequilíbrio nutricional são mais sensíveis ao ataque de outros organismos.

- Desequilíbrios biológicos entre as diferentes populações de organismos no ecossistema;

- Aumento de competição entre os seres vivos que habitam esse ecossistema.

A maior parte das responsabilidades para compensar isso passará a ser da queda anual de folhedo pelas florestas, para a formação da serapilheira. Essa queda anual de biomassa corresponde em média a 5 a 6 toneladas de biomassa seca por hectare e por ano.

Quanto mais longa for a rotação da floresta, mais folhedo se depositará e mais espessa e rica será a serapilheira.

Portanto, uma das medidas compensatórias para minimizar os efeitos da remoção dos resíduos da colheita será o de se desenvolver um manejo florestal que privilegie a formação e a conservação da serapilheira. Por exemplo, passar a colher as florestas entre 8 a 9 anos seria muito melhor nesse particular do que colher entre 5 a 6 anos de idade.

Haveria muitas vantagens associadas à colheita um pouco mais tardia, tais como: maior ciclagem de nutrientes, maior deposição de manta orgânica sobre o solo, menores ações antrópicas, menor compactação do solo, maior proteção contra a erosão, etc. As árvores também seriam maiores em dimensões (mais madeira e mais casca por árvore) e a proporção de copa e de raízes poderia ser proporcionalmente menor.

A questão mais crítica será o desenvolvimento de colheita florestal com mínimo impacto sobre a serapilheira, ou até de formas de se aumentar a mesma, deixando alguns tipos de resíduos da colheita florestal sobre ela, como poderia ser o caso de folhas e galhos finos.

Mesmo com a colheita florestal e remoção de alguns tipos de biomassa florestal residual, estaríamos garantido que a ciclagem de nutrientes resistiria e não acabaria. Mesmo em menor grau, ela continuaria a fazer seu decente e desejado papel para a sustentabilidade florestal.

Como esses resíduos que cobrem os solos das áreas florestais possuem enorme valor ecológico, eles precisariam ser também valorizados pelos usuários dos mesmos nesses quesitos. Com esse processo de valorização teríamos maiores oportunidades de conhecer

quais podem e quais não deveriam ser removidos para utilização como biomassa energética, até mesmo por terem maior valor como fonte de nutrientes do que como biomassa para queima (ou outros usos).

Portanto, na valorização desses resíduos, recomendo que passemos a entender melhor o papel de cada um deles e que se desenvolvam modelos de valorização, que não se baseiem apenas em custos de operações e em valores energéticos (poder calorífico, densidade energética, etc.). Esses valores energéticos são importantes, mas precisam ser complementados pelos valores ambientais de cada tipo de resíduos oferecido pela floresta de eucalipto.

Caso haja responsabilidade ambiental e social da empresa usuária dos resíduos, ela deverá atuar forte nas compensações e mitigações pela extração dos mesmos.

A reposição de nutrientes, por exemplo, não se trata apenas de se adicionar o que foi exportado com as partes removidas das árvores (madeira, casca, galhos, tocos, raízes). Há que ser também avaliado o poder de captação pelas árvores desses nutrientes adicionados, pois uma parte desses nutrientes adicionados como fertilizantes se perderá pela chuva, pela infiltração profunda nos solos, pela inativação por fenômenos químicos e biológicos, pela utilização por outros organismos, etc.

Isso tudo posto, toda vez que se decidir usar um tipo de resíduo florestal de uma floresta de eucalipto, é fundamental se dar respostas a:

Qual tipo de biomassa florestal será extraído pela colheita florestal? Só a madeira? Só o tronco comercial com casca? Toda a biomassa aérea, exceto folhas? Toda a biomassa aérea e também as raízes e touças?

Quais as remoções e exportações de nutrientes e de carbono orgânico por cada tipo extraído de biomassa?

Quais os custos envolvidos com a coleta, trituração, preparação, limpeza, manuseio e transporte de cada resíduo?

Quais os gastos com a reposição de nutrientes exportados e de aplicação de outras medidas mitigadoras, como adubação verde com leguminosas, aplicação de cinzas de caldeiras e lodos de estações de tratamento de efluentes, etc.?

Quais os tipos de monitoramento que precisarão ser criados para avaliar impactos presentes e futuros?

Quem assim não proceder e se limitar a colher os resíduos e nada mais estará praticando uma silvicultura de rapina, com graves danos a todo o setor brasileiro de base florestal.

Para finalizar essa argumentação toda, lhes ofereço a seguir um quadro demonstrativo das quantidades aproximadas de nutrientes exportados pela colheita florestal de uma floresta de eucalipto aos 7 anos de idade.

Produção de biomassa total da floresta aos 7 anos = 200 t a.s./hectare

Madeira = 150 t a.s./hectare

Casca de tronco = 10 t a.s./hectare

Galharia e ponteiros = 17 t a.s./hectare

Folhas = 6 t a.s./hectare

Raízes e touças = 17 t a.s./hectare

Total de madeira de tronco = 150 t a.s./hectare

Total de resíduos potenciais da colheita = 50 t a.s./hectare

Exportações de macronutrientes conforme a extração de diferentes componentes da floresta em quilogramas por hectare:

	MACRONUTRIENTES				
	Nitrogênio	**Fósforo**	**Potássio**	**Cálcio**	**Magnésio**
Madeira do tronco	100 - 180	10 - 20	140 - 200	30 - 150	15 - 35
Casca do tronco	20 - 40	3 - 9	50 - 65	40 - 200	15 - 30
Copa (galharia, folhas)	50 - 100	4 - 8	40 - 80	35 - 60	12 - 25
Raízes grossas e cepas	15 - 25	2 - 6	35 - 50	20 - 30	10 - 15
Total da exportação	240 - 280	20 - 30	250 - 350	250 – 350	70 - 90

As extrações de nutrientes estão suportadas por consultas de dados a inúmeros trabalhos publicados e disponíveis na literatura florestal brasileira.

Pode-se perfeitamente entender, a partir dos dados que aparecem para exportações de macronutrientes, que elas não são pequenas. As exportações aumentam, conforme mais componentes da floresta forem extraídos para usos comerciais e industriais.

Evidentemente, esses números de exportações variarão caso a caso, mas com muita probabilidade estarão dentro das faixas relatadas por esse quadro que lhes mostrei.

O principal fator a determinar se uma exportação será alta, média ou baixa será a quantidade total de biomassa florestal produzida e extraída, bem como de quais os componentes da floresta que foram removidos para fora dessa área.

Se uma floresta for muito produtiva, ela colaborará para uma maior exportação de nutrientes, pois maiores quantidades de biomassa seca poderão ser removidas. Mesmo que uma floresta plantada seja muito eficiente em uso de nutrientes, com baixos teores de nutrientes em seus tecidos, quanto maior for a sua produtividade, possivelmente maior deverá ser a exportação de seus nutrientes, não apenas de micronutrientes, mas de micro também.

Micronutrientes também são vitais para as plantas e eles estão também presentes na madeira, casca, folhas, raízes, etc.

A literatura sobre ciclagem de micronutrientes não é muito abundante para os eucaliptos, apesar de sua importância. Existem alguns trabalhos que me permitem criar um quadro ilustrativo de potenciais exportações:

Exportações de micronutrientes por extração de biomassas de florestas de eucalipto aos 7 anos, em quilogramas por hectare:

	Tronco (Madeira+ Casca)	**Copa** (Galharia + Folhas)
Ferro	0,7 - 4	1 – 2,5
Cobre	0,3 - 1	0,08 – 0,15
Manganês	2 - 15	2 – 3,5
Boro	1 – 1,5	0,2 – 0,35
Molibdênio	0,01 - 0,02	0,002 – 0,004
Zinco	0,3 – 0,5	0,05 – 0,15

Dediquei todo esse enorme capítulo para lhes oferecer informações sobre o potencial energético dos resíduos de biomassa florestal, tanto dos originados de nossas fábricas como de nossas florestas.

Nessa seção, me dediquei mais em tentar lhes mostrar impactos ambientais que podem acontecer quando tivermos atuações não muito responsáveis por parte dos plantadores florestais e das empresas mais interessadas nos lucros e receitas de curto prazo do que na sustentabilidade de sua base florestal plantada.

Devemos por isso mesmo, nos esforçar para buscar ações que nos permitam duas coisas ao mesmo tempo: produzir material energético em quantidades admiradas em nossas florestas e ao mesmo tempo, garantir a sustentabilidade e a capacidade produtiva das novas gerações de florestas e do sítio ambiental onde elas se inserem.

Tomo a liberdade de propor algumas recomendações mínimas para reflexão e orientadas para melhoria desse processo todo:

- Praticar silvicultura responsável, sustentável e certificada conforme as melhores práticas ambientais e florestais;

- Praticar processos de conservação do solo e dos recursos hídricos de maneiras exemplares;

- Restaurar a fertilidade dos solos por fertilização e adição de carbono orgânico;

- Respeitar e garantir a integridade da serapilheira;

- Monitorar os balanços nutricionais de macro e micronutrientes envolvendo sistemas bióticos e abióticos, componentes da biomassa, etc.;

- Selecionar clones de baixa demanda e de baixa acumulação de nutrientes;

- Praticar de alguma forma a adubação verde e a rotação de culturas com algumas leguminosas arbóreas (acácias, por exemplo);

- Aumentar o teor de matéria orgânica dos solos, pela incorporação de resíduos orgânicos tais como lodos, etc.;

- Aumentar a idade de colheita das florestas, para aumentar a efetividade da ciclagem de nutrientes e a deposição maior de serapilheira;

- Monitorar, entender e estimular a microvida do solo;

- Conservar adequadamente as microbacias florestais que estejam sendo utilizadas pelas florestas plantadas;

- Melhorar o planejamento das operações florestais com foco em sustentabilidade;

- Ler e estudar muito o tema de gestão de nutrientes e de matéria orgânica nos solos, associando-os ao uso da biomassa florestal.
  Para iniciar sugiro a leitura dos dois primeiros capítulos do Eucalyptus Online book e das suas inúmeras referências de literatura:

Casca da árvore do eucalipto: aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de celulose e papel. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 01. 109 pp. (2005)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_casca.pdf

Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 02. 133 pp. (2006)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_minerais.pdf

==========

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resíduos de biomassa florestal podem e devem ser enxergados como oportunidades técnicas e econômicas para a geração de biocombustíveis. Eles são abundantes e gerados tanto nas operações industriais de conversão da madeira como nas próprias áreas florestais.

Entretanto, todos aqueles que desejarem se dedicar a esses tipos de utilizações devem estar conscientes de que devem trabalhar com base em práticas de ecoeficiência e sustentabilidade, bem como devem se sentir responsáveis e compromissados para fazerem o melhor possível para melhorar e não piorar o meio ambiente.

Caso isso acabe não acontecendo com a intensidade que merece, preparem-se para enfrentar dificuldades muito maiores no saneamento dos problemas que poderão ser criados pela má gestão dos inúmeros processos de geração e utilização das biomassas florestais.

Estou depositando um voto de confiança acreditando que todos procurarão fazer o melhor que puderem. Para ajudar, estou escrevendo muitas ideias para reflexões nesse capítulo, que além de informar conhecimentos tem a missão de garantir ações e práticas adequadas no uso dos resíduos de biomassa florestal.

Boa sorte a todos e obrigado mais uma vez pela atenção que vocês me oferecem para que o Eucalyptus Online Book possa fazer o seu papel em favor dos eucaliptos e da engenharia florestal no Brasil

==========

REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

Sustentabilidade é algo que se deve buscar sempre no setor de base florestal plantada – qualquer que seja a destinação dos produtos da floresta...

Inclusive para os produtos energéticos da biomassa florestal obtidos a partir dos resíduos energéticos de base florestal plantada...

As literaturas brasileira e mundial são bastante ricas em artigos, eventos, palestras, teses, dissertações, vídeos, websites e outros tipos de materiais técnicos sobre o uso da biomassa florestal para geração de calor, vapor e eletricidade. Trata-se de um tema sempre atual e que tem despertado incontestável aumento de interesse em função dos incentivos e estímulos para a busca de fontes alternativas de energia, que não sejam fósseis e que possam ser renováveis e viabilizadas em custos acessíveis aos produtores e de preços atrativos aos consumidores.

Dentre as inúmeras oportunidades encontradas para as biomassas energéticas existe um enorme interesse na utilização dos resíduos lenhosos de base florestal disponibilizados pela utilização dos produtos obtidos através das árvores das florestas, ou melhor, os renomados resíduos florestais. Esses resíduos podem ser obtidos diretamente das florestas ou de empresas que convertem a madeira em

outros produtos, tais como em painéis de madeira, carvão vegetal, celulose e papel, madeira serrada, madeira laminada, madeira preservada, etc. Também podem ser conseguidos pela coleta e processamento de materiais produzidos de madeira, ou de produtos usados de madeiras, como exemplo: móveis, páletes, embalagens de madeira, caixotes, madeiras de demolição, madeiras residuais da construção civil, etc.

Dessa forma, não foi difícil selecionar praticamente 250 referências orientadas apenas para os assuntos que estão sendo discutidos nesse terceiro e último capítulo dessa série sobre uso energético da biomassa do eucalipto. Como esse capítulo atual trata mais especificamente da utilização energética de resíduos de base florestal, nossas referências dessa vez estão focadas muito mais nesses assuntos e nas suas interligações diretas com os outros dois capítulos da série. Acabamos por adotar essa opção para evitar que as referências se avolumassem demais nesse processo.

Quem estiver curioso sobre as literaturas dos capítulos anteriores para navegação e leitura, pode perfeitamente encontrar as mesmas obtendo e lendo os capítulos 43 e 44 desse Eucalyptus Online Book, que estão citados e com links para obtenção dos mesmos, logo abaixo nessa seção.

Esse presente capítulo, de número 45, procura ter um direcionamento prático e direto, por isso, essa seleção de referências da literatura está mais relacionada ao que procuramos elencar como foco dos temas que foram aqui abordados, não sendo, portanto, uma busca exaustiva de milhares de publicações, com variadas vertentes tecnológicas.

Espero que esses artigos possam ser de utilidade a vocês, pois foram escritos por uma ampla e diversificada seleção de autores que atuam no setor de geração de produtos florestais e de energia a partir da madeira, da cana de açúcar e de outros tipos de biomassa florestal e agrícola.

Também acredito que esses conjuntos selecionados de referências somados ao nosso texto desse capítulo poderão ajudar em muito a que qualquer pessoa interessada em conhecer mais sobre a utilização de resíduos florestais para finalidades energéticas possa estudar e se aperfeiçoar mais sobre esse tema.

Aproveitem então o que lhes trazemos como literatura para vocês lerem e aprenderem mais sobre isso:

ABIPEL – Associação Brasileira das Indústrias de Pellets. Website de associação nacional destinada a fomentar e facilitar as atividades dos produtores de péletes. Acesso em 09.06.2016:

http://www.abipel.com.br/ (Website institucional)

e

http://www.abipel.com.br/publicações.aspx (Publicações sobre péletes)

e

https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=14YzGIicywFgl9SC6CF579JX-J34 (Mapa dos produtores de péletes no Brasil)

Mais Florestas. Website de empresa brasileira especializada em comunicação na base florestal. Acesso em 09.06.2016:

http://www.maisfloresta.com.br/

e

http://www.maisfloresta.com.br/videos (Vídeos)

e

http://www.maisfloresta.com.br/videos/palestras/diversificando-a-propriedade-rural-com-producao-de-eucalipto-para-biomassa-primeira-parte-202.html (Eucalipto para biomassa - Parte 1)

e

http://www.maisfloresta.com.br/videos/palestras/diversificando-a-propriedade-rural-com-producao-de-eucalipto-para-biomassa-segunda-parte-203.html (Eucalipto para biomassa - Parte 2)

e

http://www.maisfloresta.com.br/videos/entrevista/a-produtividade-do-eucalipto-tem-limites-267.html (Produtividade do eucalipto)

Florestas energéticas. Blog do Dr. Moacir Medrado. MCA - Medrado & Consultores Agroflorestais Associados. Acesso em 09.06.2016:

http://florestasenergeticas.blogspot.com.br/

Embrapa Agroenergia. Website de centro brasileiro especializado em energia rural. Acesso em 09.06.2016:

https://www.embrapa.br/agroenergia

e

https://www.embrapa.br/agroenergia/publicacoes

Projeto Silvaplus. Website de organização ibérica destinada ao estudo e promoção de resíduos florestais para utilização energética. Acesso em 09.06.2016:

http://www.silvaplus.com/pt/silvaplus/apresentacao/

e

http://www.silvaplus.com/pt/biomassa-florestal-primaria/publicacoes/ (Publicações)

e

http://www.silvaplus.com/pt/biomassa-florestal-primaria/estudos/ (Estudos)

e

http://www.silvaplus.com/pt/biomassa-florestal-primaria/fichas-tecnicas/ (Fichas técnicas)

Columbia Energia. Grupo Columbia. Website de grupo de empresas focadas no desenvolvimento de tecnologias e serviços para obtenção de biomassa florestal e péletes a partir de material vegetal extraído florestas plantadas e de outras fontes. Acesso em 09.06.2016:

http://www.columbia.com.br/columbia-energia/combustiveis-fosseis/

Biomassa florestal. Operflora. Website de empresa do grupo Columbia especializada em serviços e tecnologias para a biomassa florestal. Acesso em 09.06.2016:

http://www.operflora.com.br/

e

http://www.operflora.com.br/tyrex (Tyrex - equipamento removedor de tocos/cepas)

Bark press. Saalasti Oy. Website de empresa global especializada em prensas para desaguamento, picadores de cascas e demais equipamentos para bioenergia. Acesso em 09.06.2016:

http://www.saalasti.fi/products/saalasti-press-eng (Prensa de casca - em Inglês)

e

http://www.saalasti.fi/pt/media-pt/downloads-pt/brochures-pt?download=49:english-saalasti-bioenergy-low-resolution (Equipamentos para bioenergia - em Inglês)

Bark processing. Andritz. Website de empresa global especializada em pátios de madeira. Acesso em 09.06.2016:

http://www.andritz.com/pp-bark-processing (em Inglês)

Hooper bark shredder. Andritz. Website de empresa produtora de equipamentos para preparação da casca como biocombustível. Acesso em 09.06.2016:

https://www.andritz.com/products-and-services/pf-detail.htm?productid=22685 (em Inglês)

Kone Wood. Atualmente Andritz Oy. Acesso em 09.06.2016:

https://www.andritz.com/pp-andritz-oy (em Inglês)

Wood handling. Valmet. Website de empresa global especializada em pátios de madeira. Acesso em 09.06.2016:

http://www.valmet.com/services/pulping-and-fiber/wood-handling/ (em Inglês)

Bark and biomass handling and storage. Valmet. Website de empresa global especializada em sistemas de preparação da biomassa. Acesso em 09.06.2016:

http://www.valmet.com/products/pulping-and-fiber/wood-handling/bark-and-biomass-handling-and-storage/ (em Inglês)

Preparo e manuseio da madeira e casca. Demuth Wood Handling. Website de empresa brasileira especializada em pátios de madeira e biomassa. Acesso em 09.06.2016:

http://www.demuth.com.br/segmentos/index.php?id=2

e

http://www.demuthmachines.com/downloads/

Energia. Demuth Energy. Website de empresa brasileira especializada em energia da biomassa. Acesso em 09.06.2016:

http://www.demuth.com.br/segmentos/index.php?id=1

Máquinas Bruno - Máquinas para sistemas florestais. Website de empresa global especializada em sistemas de preparação da biomassa florestal. Acesso em 09.06.2016:

http://www.bruno.com.br/ (Website empresarial)

e

http://www.bruno.com.br/linha-de-produtos (Linha de produtos para a base florestal e reciclagem de resíduos)

e

http://www.bruno.com.br/linha-de-produtos/1/madeira (Linha madeiras)

e

http://www.bruno.com.br/linha-de-produtos/3/florestal (Linha florestal)

e

http://www.bruno.com.br/produto/23/triturador-de-residuos---trb (Triturador de resíduos)

Solução para resíduo florestal. Siebert. Website de empresa especializada em resíduos energéticos. Acesso em 09.06.2016:

http://www.siebert.com.br/tratamento-de-residuos/residuo-florestal-e-casca-de-eucalipto-na-industria/

Equipamentos para tratamento de resíduos. Trituração, compactação e embalagem. Siebert. Website de empresa especializada em resíduos energéticos. Acesso em 09.06.2016:

http://www.siebert.com.br/tratamento-de-residuos/

Trituração da casca do eucalipto. Siebert. Vídeos YouTube. Acesso em 09.06.2016:

https://www.youtube.com/watch?v=4ngZaL6kjaM

O que é a biomassa. Siebert. Website de empresa especializada em resíduos energéticos. Acesso em 09.06.2016:

http://www.siebert.com.br/voce-sabe-o-que-e-biomassa/

Picagem de cascas de eucaliptos e *Pinus*. CRReciclados. Vídeos YouTube. Canal Rafael Arteiro. Acesso em 09.06.2016:

https://www.youtube.com/watch?v=xC4Stt2P30o

Secadores de biomassa. Thompson. Website de empresa produtora de secadores de biomassa florestal. Acesso em 09.06.2016:

http://www.thompsondryers.com/products.aspx (em Inglês)

Jeffrey Rader Technologies. TerraSource Global. Website de empresa referência em representações de equipamentos para aplicações com biomassa florestal. Acesso em 09.06.2016:

http://terrasource.com/equipment/category/all#power-renewable (em Inglês)

Biomass low temperature vaccum dryer. Thermal Energy International. Website de empresa global especializada em sistemas de secagem de biomassas. Acesso em 09.06.2016:

http://www.thermalenergy.com/dry-rex-biomass-dryer.html (em Inglês)

Wood chip dryers. Ponndorf GmbH**.** Website de empresa especializada em sistemas de secagem de biomassas. Acesso em 09.06.2016:

http://www.ponndorf-gmbh.de/index.php/en/wood-chip-dryers (em Inglês)

Secador rotativo para secagem de biomassa. Lippel Equipamentos. Website de empresa brasileira especializada em energia da biomassa florestal. Acesso em 09.06.2016:

http://www.lippel.com.br/br/queimadores-e-secadores-de-biomassa/secador-rotativo/secadores-rotativos-para-biomassa.html#.Vv0dDcL2b3g

Biomassa & resíduos de madeira. Vermeer. Website de empresa global especializada em sistemas de preparação da biomassa. Acesso em 09.06.2016:

http://www2.vermeer.com/vermeer/LA/pt/N/industries/biomass (Biomassa)

e

http://www2.vermeer.com/vermeer/LA/pt/N/industries/wood_waste (Preparação de resíduos de madeira com inúmeros catálogos e literatura técnica especializada)

Trelan whole tree chipper. Vídeo sobre equipamento móvel Trelan picando árvores inteiras. Acesso em 09.06.2016:

https://www.youtube.com/watch?v=CxW1OXDZkJM (em Inglês)

Bioneer Oy. Empresa finlandesa produtora de máquinas florestais. Originalmente Perusyhtyma Oy. Acesso em 09.06.2016:

http://www.largestcompanies.com/company/Bioneer-Oy-3382569 (em Inglês)

Modomekan. Atualmente Holmen. Acesso em 09.06.2016:

https://www.holmen.com/en/About-Holmen/Holmen-400-years/ (em Inglês)

e

https://www.holmen.com/globalassets/holmen-documents/about-holmen/the-history/en-holmens-bruk-1500-1988.pdf (em Inglês)

e

https://www.holmen.com/globalassets/holmen-documents/about-holmen/holmen-400-years/mo-och-domsjo-ab---1700-talet-1988.pdf (em Inglês)

Bruks chipping & screening. Website de empresa internacional fabricante de picadores de madeira e peneiras de classificação de cavacos. Acesso em 09.06.2016:

http://bruks.com/products-by-name/chipping-and-screening (em Inglês)

Bandit Industries. Website de empresa fabricante de equipamentos para remoção de tocos e produção de cavacos e fragmentos de biomassa florestal. Acesso em 09.06.2016:

http://www.williamsequipment.com/custompage.asp?pg=bandit (em Inglês)

Williams Forest Products. Website de empresa fabricante de equipamentos para produção de cavacos e fragmentos de biomassa florestal. Acesso em 09.06.2016:

https://www.williamscrusher.com/forest-products (em Inglês)

Barko. Website de empresa global especializada em picadores para árvores integrais. Acesso em 09.06.2016:

http://www.barko.com/products/whole-tree-chippers/ (em Inglês)

Morbark Industries. Morbark. Website de empresa global especializada em sistemas de preparação da biomassa florestal. Acesso em 09.06.2016:

http://www.morbark.com/ (Website institucional – em Inglês)

e

http://www.morbark.com/industries/forestry-biomass/ (Equipamentos para a indústria florestal e biomassa – em Inglês)

e

http://www.morbark.com/equipment-line/chiparvestors/ (O histórico picador florestal *Chiparvestor* da Morbark)

Motocana – Linha Florestal. Website de empresa brasileira especializada em sistemas de preparação da biomassa sucroalcooleira e florestal. Acesso em 09.06.2016:

http://www.motocana.com.br/2016/produtos.php?linha=florestal

Valorização energética e ambiental. Forestcorte**.** Website de empresa especializada em sistemas de preparação da biomassa florestal. Acesso em 09.06.2016:

http://www.forestcorte.com/valorizacao/valorizacao-energetica-e-ambiental

e

http://www.forestcorte.com/comercializacao/comercializacao-de-madeira-e-residuos (Comercialização de biomassa)

CBI do Brasil. Empresa internacional que produz e comercializa equipamentos destinados a preparação da biomassa florestal. Acesso em 09.06.2016:

http://www.cbi-inc.com/machines-equipment/chippers (Picadores e trituradores - em Inglês)

e

http://www.painelflorestal.com.br/guia-florestal/maquinas-pesadas/cbi-do-brasil (CBI do Brasil)

Fezer. Website de empresa fabricante de uma grande diversidade de máquinas entre as quais picadores, trituradores e repicadores para a base florestal. Acesso em 09.06.2016:

http://www.fezer.com.br/produtos-categorias.php?idc=20#

Jenz Farming – Linha florestal. Website de empresa fabricante de uma grande diversidade de máquinas entre as quais trituradores e equipamentos para logística florestal. Acesso em 09.06.2016:

http://farming-brasil.com.br/category/florestal/

Copergera – Cooperativa Florestal dos Campos Gerais. Website de empresa cooperativa que visa a unir, integrar e organizar produtores

florestais para produzir, processar e comercializar produtos, insumos e serviços, focando a sustentabilidade. Acesso em 09.06.2016:

http://www.copergera.coop.br/

Madeplant Reflorestadora. Website de empresa prestadora de serviços florestais, entre os quais a picagem de biomassa florestal na floresta. Acesso em 09.06.2016:

http://madeplant.com.br/pt/videos/picagem-de-eucalipto-15

Doppstadt. Website de empresa global que entre outros equipamentos fabrica maquinários para preparação de biomassa florestal. Acesso em 09.06.2016:

http://doppstadt.de/en/products/ (em Inglês)

Tanac S.A. Empresa de base florestal brasileira especializada em plantações de florestas de acácia negra, produção de cavacos, taninos e em breve, péletes de biomassa. Acesso em 09.06.2016:

http://www.tanac.com.br/pt-br/produtos/cavacos-de-madeira (Cavacos de madeira)

e

http://www.tanac.com.br/pt-br/noticia/tanac-sa-anuncia-investimentos-de-us-60-milhões-para-construir-uma-fabrica-de-pellets-de (Tanac anuncia fábrica de péletes)

AMCEL – Amapá Florestal e Celulose. Website de empresa florestal brasileira do grupo Nippon Paper que tem como meta a exportação de cavacos de madeira de eucalipto. Acesso em 09.06.2016:

http://www.amcel.com.br/#about/

Madevila. Website de empresa especializada em preparação e comercialização de sucatas de madeira. Acesso em 09.06.2016:

http://www.madevila.com.br/

Secadores de biomassa. Rohden Termo Engenharia. Website de empresa brasileira especializada em sistemas térmicos para a biomassa. Acesso em 09.06.2016:

http://www.queimadores.ind.br/tecnologia/

e

http://www.queimadores.ind.br/produtos/ (Outros produtos para biomassa florestal)

Extração de tocos de eucaliptos e o seu aproveitamento de biomassa para energia. L. Couto; E. Carrera. Biomassa BR Energias Renováveis. Acesso em 09.06.2016:

http://www.biomassabr.com/bio/resultadonoticias.asp?id=2542

Briquetes Lage. Website de empresa produtora de briquetes. Acesso em 09.06.2016:

http://www.briqueteslage.com.br/

Biomax – Indústria de Máquinas. Website de empresa produtora de plantas de briquetagem. Acesso em 09.06.2016:

http://www.biomaxind.com.br/site/br/briquete.html (Sobre briquetes)

e

http://www.biomaxind.com.br/site/br/empresa.html (Sobre a empresa Biomax)

Energia renovável de pellets. Forespel. Website de empresa produtora de péletes. Acesso em 09.06.2016:

http://www.forespel.com/

Pellets de madeira. D.P. Garcia. Blog especializado em péletes de madeira para permitir maior nível de informação sobre o produto. Acesso em 09.06.2016:

http://pelletsdemadeira.blogspot.com.br/

Briquetes Alto da Glória. Apresentação de empresa produtora de briquetes de biomassa florestal. Acesso em 09.06.2016:

http://briquetes.com.br/ (Website empresarial)

e

http://briquetes.com.br/crbst_2.html (Histórico da empresa)

e

http://briquetes.com.br/crbst_3.html (Produto)

Bricarbrás. Apresentação de empresa produtora de briquetes de carvão vegetal. Acesso em 09.06.2016:

http://www.fiepr.org.br/cpce/uploadAddress/BRICARGAS[42334].pdf

Carbonovo do Brasil. Website de empresa produtora de péletes a partir de misturas de biomassas contendo carvão vegetal para aumento do poder calorífico. Acesso em 09.06.2016:

http://www.carbonovo.com/ (Website institucional)

e

http://www.carbonovo.com/o-que-e-o-pellet/ (O que é o pellet?)

Utilização da biomassa do eucalipto para produção de calor, vapor e eletricidade. Parte 1: *Biomassa Florestal & Florestas Energéticas*. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 43. 239 pp. (2016)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT43_Florestas_Energeticas_Eucaliptos.pdf

Utilização da biomassa do eucalipto para produção de calor, vapor e eletricidade. Parte 2: *Geração de Calor, Vapor e Eletricidade*. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 44. 264 pp. (2016)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT44_Geracao_Calor_Vapor_Eletricidade.pdf

Influência da adição de lignina kraft nas propriedades de pellets de eucalipto. B.L.C. Pereira; A.C.O. Carneiro; A.M.M.L. Carvalho; B.R. Vital; A.C. Oliveira; W.D. Canal. Floresta 46(2): 235-242. (2016)

http://revistas.ufpr.br/floresta/article/download/44936/28542

Uso energético de resíduos madeireiros na produção de cerâmicas no estado de São Paulo. G.A. Lopes; J.O. Brito; L.F. Moura. Ciência Florestal 26(2): 679 – 686. (2016)

http://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/download/22767/13449

Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda e remoção de arvores na área de concessão da AES Eletropaulo. G.F. Burani; S.T. Coelho; C.L. Cortez; R.P. Grisoli; F. Gavioli; S. Carmelo. 10 pp. (2016)

http://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/03/Estudo-do-Potencial-de-Utilizac%CC%A7a%CC%83o-da-Biomassa-Resultante-da-Poda-e-

Remoc%CC%A7a%CC%83o-de-A%CC%81rvores-na-A%CC%81rea-de-Concessa%CC%83o-da-AES-Eletropaulo.pdf

Medição da madeira na forma de toras empilhadas. C. Foelkel. Extraído de Eucalyptus Newsletter nº 48. 27 pp. (2015)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/news48_Toras_Empilhadas.pdf

Qualidade da biomassa florestal do eucalipto para fins energéticos. C. Foelkel. Extraído de Eucalyptus Newsletter nº 49. 33 pp. (2015)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/news49_Biomassa_Florestal_Eucalipto.pdf

As biorrefinarias integradas no setor brasileiro de fabricação de celulose e papel de eucalipto. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 29. Revisão 06. 270 pp. (2015)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT29_BiorrefinariasCelulosePapel.pdf

Cálculos, problemas e balanços aplicados ao setor de produção de celulose e papel de eucalipto: *Parte 01:* Uma centena de exemplos sobre qualidade e suprimento de madeira e processo de fabricação de celulose (Linha de fibras). C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 38. 177 pp. (2015)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT38_Calculos_Setor_Madeira_Celulose.pdf

Cálculos, problemas e balanços aplicados ao setor de produção de celulose e papel de eucalipto: *Parte 03:* Noventa exemplos sobre geração e conservação de energia, recuperação do licor preto kraft, utilidades e polpação química sulfito. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 40. 234 pp. (2015)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT40_Calculos_Recuperacao_Utilidades_Energia.pdf

Qualidade dos *pellets* de biomassa florestal produzidos em Santa Catarina para a geração de energia. A. Spanhol; D.L. Nones; F.J.B. Kumabe; M.A. Brand. Floresta 45(4): 833 – 844. (2015)

http://revistas.ufpr.br/floresta/article/download/37950/26962

Caldeira de biomassa - Autossuficiência energética e sustentabilidade do negócio. International Paper do Brasil. Prêmio FIESP de Mérito Ambiental. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. 20 pp. (2015)

http://www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=192787

Resíduos da biomassa florestal como recurso energético brasileiro para indústrias de papel e celulose. I.D. Zapparoli; E.A. Robusti. Revista de Ciências Agroambientais 13(1): 11 – 22. (2015)

http://www.unemat.br/revistas/rcaa/docs/vol13-1/2_artigo_rcaa_v13n1a2015.pdf

Análise técnica de um cavaqueador e caracterização energética de cavacos de biomassa da colheita de madeira. D. Oro. Dissertação de Mestrado. UNICENTRO – Universidade Estadual do Centro-Oeste. 89 pp. (2015)

http://www2.unicentro.br/ppgf/files/2016/04/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Diego-Oro.pdf

Energia verde segue em alta. Revista Referência Florestal 17(167): 38 – 49. (2015)

https://issuu.com/grupojota/docs/florestal_167web_visitantes/1?e=14138465/30445253

Energia de sobra. Revista Referência Florestal 17(160): 36 – 49. (2015)

https://issuu.com/grupojota/docs/rf_160_web/1?e=14138465/12380332

Um estudo sobre as práticas de gestão ambiental: o caso dos resíduos gerados no corte da madeira pelas indústrias madeireiras. L.F. Munaretto; F.L. Haumphental; J.T. Aguiar. 4º Fórum Internacional EcoInovar. 14 pp. (2015)

http://ecoinovar.com.br/cd2015/arquivos/artigos/ECO680.pdf

RESUMO: Innovative biomass production from root and stump wood of *Eucalyptus grandis* for energy generation in Brazil. L. Michaelis; E.S. Lopes; S. Pelz. 7th German-Brazilian Symposium for Sustainable Development p.: 245. (2015)

http://www.geow.uni-heidelberg.de/md/chemgeo/geow/tagung/SBA-DBS/abstract-book_sba-dbs.pdf (em Inglês)

***Eucalyptus* stumpwood as biomass source within biorefineries. .** J. Gominho; A. Lourenço; A.P. Duarte; H. Pereira. 7th ICEP – International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. 7 pp. (2015)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2015_Stumpwood_7thICEP.pdf

Potencial dos resíduos florestais e dos gases da carbonização da madeira para geração de energia elétrica. A.F.N.M. Castro. Tese de Doutorado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 122 pp. (2014)

http://locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/6249/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Inventário energético de resíduos rurais. EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Nota Técnica DEA 15/14. 51 pp. (2014)

http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2015%20-%2014%20-%20%20Invent%C3%A1rio%20Energ%C3%A9tico%20de%20Res%C3%ADduos%20Rurais.pdf

Economicidade e competitividade do aproveitamento energético de resíduos rurais. EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Nota Técnica DEA 17/14. 42 pp. (2014)

http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2017%20-%20Economicidade%20e%20Competitividade%20do%20Aproveitamento%20Energ%C3%A9tico%20de.pdf

O problema dos tocos residuais das florestas plantadas de eucaliptos. C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 45. Artigo Técnico. 17 pp. (2014)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/news45_Cepas_Tocos.pdf

Aplicações da biotecnologia em processos ambientais da fabricação de celulose kraft e de papel de eucalipto: Compostagem de resíduos e geração de biogás. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 35. 152 pp. (2014)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT35_Compostagem_Residuos_Biogas.pdf

Caracterização físico-química de tocos de eucalipto para produção de energia. F. Gomes; A. Almeida; C.W.C. Wanderley; R.E. Hakamada. XVII Seminário de Atualização em Colheita de Madeira e Transporte Florestal. 12 pp. (2014)

http://www.expoforest.com.br/seminariodecolheita/wp-content/uploads/2013/09/colheita-2014-bloco-3-artigo-pag-173.pdf

Qualidade dos cavacos para combustão. Lippel Equipamentos. 03 pp. (2014)

http://www.lippel.com.br/lippel/uploads/downloads/05-05-2014-10-36qualidade-dos-cavacos-para-combustao.pdf

Potencial de energias renováveis: Volume II – Biomassa, resíduos e hidroeletricidade. Plano de Energia e Mudanças Climáticas de Minas Gerais. 119 pp. (2014)

http://pemc.meioambiente.mg.gov.br/upload/documents-pdf/eleicoes/pemc_potencial_er_vol_2_v1.0_15_04_2014_com_adequaa-a-es.pdf

***Eucalyptus globulus* stumpwood as raw material for pulping.** J. Gominho; C. Lopes; A. Lourenço; R. Simões; H. Pereira. BioResources 9(3): 4.038 – 4.49. (2014)

https://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes_09/BioRes_09_3_4038_Gominho_LLSP_Stumpwood_E.%20globulus_Raw_Material_5522.pdf (em Inglês)

Caracterização e avaliação do potencial energético dos resíduos florestais da indústria de papel e celulose. G.P. Vergara. Dissertação de Mestrado. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 163 pp. (2014)

http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000928133&fd=y

Estimativa do potencial energético de resíduos celulósicos de fabricação de papel através de análise imediata. I.T.M. Ferreira; W.N. Schirmer; G.O. Machado; M.V.D. Gueri. Revista Brasileira de Energias Renováveis 3: 284 – 297. (2014)

http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/rber/article/download/38618/pdf_31

Aproveitamento da biomassa florestal para fins energéticos. Forestis – Associação Florestal de Portugal. Apresentação em PowerPoint: 27 slides. (2014)

http://www.cm-pontedelima.pt/imagens/geral/ambiente/jornadastecnicas2014/Apresentacao_FORESTIS.pdf

Aproveitamento de resíduos de madeira - Serragem. P.R.F. Moura; E.S. Corrêa; S.S. Alves; F.Z. Larrossa; S.C. Pacheco; B.S. Moraes. 2º Fórum Internacional EcoInovar. 06 pp. (2013)

http://ecoinovar.com.br/cd2013/arquivos/resumos/ECO127.pdf

Avaliação das propriedades dos *pellets* para fins energéticos. J.C. Caraschi; B.S. Camargo; S.K.C.A. Camargo; D.P. Garcia. 21º SIICUSP – Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP – Universidade de São Paulo. 03 pp. (2013)

https://uspdigital.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=2894&numeroEdicao=21

Caracterização, análise e perspectivas da matriz energética do setor de papel e celulose. V.B. Almeida. Dissertação de Mestrado. FGV – Fundação Getúlio Vargas. Escola de Economia de São Paulo. 81 pp. (2013)

https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/10995/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20Final%202013_07_22.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Aproveitamento de resíduos florestais de *Eucalyptus spp* na indústria de fabricação de celulose para geração de energia térmica e elétrica. F.L.S. Santiago. Tese de Doutorado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 124 pp. (2013)

http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0936.pdf

Análise termodinâmica de uma central de biomassa lenhosa. A.T.O.S. Silva. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa. Portugal. 139 pp. (2013)

http://run.unl.pt/bitstream/10362/9932/1/Silva_2013.pdf

Aproveitamento energético da biomassa. J.D. Rocha. Seminário: "A importância da Biomassa Compactada para a Geração de Energia Limpa no Brasil" (Florestal & Biomassa 2013). Vídeos YouTube. Canal Painel Florestal. (2013)

https://www.youtube.com/watch?v=sx_8wOCn7LI

Panorama e desafios na geração de energia a partir da biomassa. W.F. Quirino. Seminário: "A importância da Biomassa Compactada para a Geração de Energia Limpa no Brasil" (Florestal & Biomassa 2013). Vídeos YouTube. Canal Painel Florestal. (2013)

https://www.youtube.com/watch?v=fPg2w11Nxg0

Utilização da biomassa residual como fonte de energia. L.R. Silva. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Juiz de Fora. 54 pp. (2013)

http://www.ufjf.br/engenhariadeproducao/files/2014/09/2012_3_Leonardo.pdf

Avaliação do potencial de aproveitamento energético dos resíduos de madeira e derivados gerados em fábricas do polo moveleiro de Ubá – MG. R.M.P. Farage; A.A.P. Rezende; C.M. Silva; W.G. Nunes; A.C.O. Carneiro; D.B. Vieira; C.L.S. Rodrigues. Ciência Florestal 23(1): 203 – 212. (2013)

http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/download/8454/5134

Tyrex inova colheita de tocos de eucaliptos para a produção de biomassa no Brasil. L. Couto; R. Rasga; E. Carrera; T. Sato; E. Borin. 2º Anuário Brasileiro das Indústrias de Biomassa e Energias Renováveis (2013/2014): 98 – 99. (2013)

http://issuu.com/anuariobiomassa/docs/anuario_biomassa_e_energias_renovav/98

Utilização dos conceitos da ecoeficiência na gestão das emissões atmosféricas do processo de fabricação de celulose kraft de eucalipto. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 22. 152 pp. (2013)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT22EmissoesAtmosfericas.pdf

Poder calorífico e análise imediata da maravalha de *Pinus* (*Pinus* sp) e *Araucaria* (*Araucaria angustifolia)* de reflorestamento como resíduos de madeireira. M.J.S. Menezes. Dissertação de Mestrado. UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 65 pp. (2013)

http://projetos.unioeste.br/pos/media/Dissertacao_Marta_J_S_Menezes.pdf

A sustentabilidade das florestas plantadas de eucalipto na rede de valor da celulose e papel no Brasil. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 30. 182 pp. (2012)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT30_SustentabilidadeEucaliptos.pdf

Utilization of residual forest biomass. P. Hakkila. Springer Science & Business Media. 568 pp. (2012)

https://books.google.com.br/books?id=jzPvCAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_atb#v=onepage&q&f=false (em Inglês)

Avaliação de projeto de cogeração a partir de biomassa florestal. Uma abordagem pela teoria das opções reais. D.L. Oliveira. Dissertação de Mestrado. PUC-Rio. (2012)

http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/biblioteca/php/mostrateses.php?open=1&arqtese=1012767_2012_Indice.html

Caracterização de *Pinus*, *Eucalyptus*, casca de *Eucalyptus* e resíduos florestais e de destoca para fins energéticos. J.P. Visotto; A.W. Mazzonetto; R.C. Neves; E.M.S. Sánchez; C.G. Sánchez. CONEM 2012. VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. 10 pp. (2012)

https://www.academia.edu/6532267/Caracteriza%C3%A7%C3%A3o_de_Pinus_Eucaliptus_Casca_de_Eucaliptus_e_Res%C3%ADduos_Florestais_e_de_Destoca_para_fins_energ%C3%A9ticos

Caracterização de resíduos agroindustriais e florestais visando a briquetagem. C.R.B. Marozzi. Monografia de Conclusão de Curso. UFES – Universidade Federal do Espírito Santo. 37 pp. (2012)

http://www4.florestaemadeira.ufes.br/sites/www.florestaemadeira.ufes.br/files/TCC_Carlos%20Ramiro%20Baroni%20Marozzi.pdf

Estimativa da geração de resíduos florestais no Brasil. T.A. Bortolini; A.C. Trentin; D. Peresin; V.E. Schneider. 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. 09 pp. (2012)

http://www.proamb.com.br/downloads/9qgd58.pdf

Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. M.M. Souza; D.A. Silva; R. Rochadelli; R.C. Santos. Revista Floresta 42(2): 325 – 334. (2012)

http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/floresta/article/download/26593/18434

Estudo termoquímico da queima de combustíveis em caldeiras usando balanços de energia. R.P. Francisco. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São João del Rei. 148 pp. (2012)

http://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/mestradoenergia/Dissertacoes/2009/Rodrigo_Pereira_Francisco.pdf

Caracterização de *Pinus*, *Eucalyptus*, casca de *Eucalyptus* e resíduos florestais e de destoca para fins energéticos. J.P. Vissotto; A.W. Mazzonetto; R.C. Neves; E.M.S. Sanchez; C.G. Sanchez. CONEM 2012. VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. 10 pp. (2012)

https://www.academia.edu/6532267/Caracteriza%C3%A7%C3%A3o_de_Pinus_Eucaliptus_Casca_de_Eucaliptus_e_Res%C3%ADduos_Florestais_e_de_Destoca_para_fins_energ%C3%A9ticos

Subsídios para a elaboração de uma estratégia brasileira para economia de baixo carbono. Caderno 2. Nota técnica: Celulose e Papel. ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. 80 pp. (2012)

http://www.abdi.com.br/Estudo/caderno%2002%20-%20Papel%20e%20celulose.pdf

e

http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1352304909.pdf

Energia armazenada nos resíduos do desdobro de toras de *Eucalyptus grandis*. T.C. Monteiro; J.T. Lima; P.F. Trugilho. Ciência da Madeira 3(1): 33 – 42. (2012)

http://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/4035/3179

Efeito da granulometria na avaliação dos briquetes. M.M. Borgui. Monografia de Conclusão de Curso. UFES – Universidade Federal do Espírito Santo. 47 pp.(2012)

http://www.florestaemadeira.ufes.br/sites/florestaemadeira.ufes.br/files/field/anexo/tcc_michel_da_mata_borghi.pdf

Impacto do teor de umidade e da espécie florestal no custo da energia útil obtida a partir da queima da lenha. J.M.M.A.P. Moreira; E.A. Lima; I.C.G.R. Goulart. Embrapa Florestas. Comunicado Técnico nº 293. 05 pp. (2012)

http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/65182/1/CT293.pdf

Uso da biomassa como alternativa energética. B.M. Cardoso. Trabalho de Conclusão de Curso. UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 112 pp. (2012)

http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005044.pdf

Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de *Pinus taeda* em diferentes idades. T.S. Furtado; J.C. Ferreira; M.A. Brand; M.D. Neves. Revista Árvore 36(3): 577 – 582. (2012)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v36n3/v36n3a20.pdf

Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas. A.C. Vieira. Dissertação de Mestrado. UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 72 pp. (2012)

http://projetos.unioeste.br/pos/media/File/energia_agricultura/pdf/Dissertacao_Ana_C_Vieira.pdf

Caracterização energética de *pellets* de madeira. D.P. Garcia; J.C. Caraschi; G. Ventorim. 7º Congresso Internacional de Bioenergia. Revista da Madeira 135: 14 – 18. 06 pp. (2012)

http://www.abipel.com.br/media/doc/CARACTERIZACAO_ENERGETICA_DE_PELLETS_DE_MADEIRA_7_Bioenergia.pdf

Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda de árvores para a geração de energia: Estudo de caso: AES

Eletropaulo. C.L. Cortez. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 246 pp. (2011)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-13092011-151318/publico/CristianeCortez.pdf

Implementação do plano de controlo, inspecção e ensaio na produção de pellets de madeira. N.P.R. Carvalho. Tese de Mestrado. Instituto Politécnico de Viseu. 43 pp. (2011)

http://repositorio.ipv.pt/bitstream/10400.19/1116/1/Mestrado%20Tecnologias%20Ambientais.pdf

Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia. A.C.F. Vital; A.B. Hora. BNDES Setorial 33: 261 – 314. (2011)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4030/BNDES_Perspectivas-do-setor-de-biomassa-de-madeira-para-gera%c3%a7%c3%a3o-de-energia.pdf?sequence=1&isAllowed=y

e

http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3308.pdf

Evaluation of the environmental performance in the furniture industry – a case study. W.N. Schirmer; M.A. Gauer; É. Hillig; D. Bartiko. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia 8(4): 257- 267. (2011)

http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=1865&article=668&mode=pdf (em Inglês)

Características dos resíduos da colheita de eucalipto e *Pinus*, submetidos ao tratamento térmico, com foco na aplicação energética. A.L.P.S.M. Pincelli. Tese de Doutorado. USP – Universidade de São Paulo. 127 pp. (2011)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-29112011-152854/publico/Ana_Lucia_Piedade_Sodero_Martins_Pincelli_versao_revisada.pdf

Energia da celulose, desafios e oportunidades. R. Villarroel. Website Grau Celsius. 03 pp. (2011)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Energia_da_Celulose%20-Villarroel.pdf

Residue harvesting methods. Biomass Energy Centre. Internal Project Information Note 26/07- Extended summary. 03 pp. (2011)

http://www.biomassenergycentre.org.uk/pls/portal/docs/PAGE/RESOURCES/REF_LIB_RES/PUBLICATIONS/TECHNICAL_DEVELOPMENT/2011-07-IPIN2607-RESIDUE%20HARVESTING%20METHODS.PDF (em Inglês)

Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. T.P. Protásio; I.C.N. Alves; P.F Trugilho; V.O. Silva; A.E.R. Baliza. Pesquisa Florestal Brasileira 31(68): 273 – 283. (2001)

http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/download/288/227

Caracterização química, física e térmica de pellets de madeira produzidos no Brasil. D.P. Garcia. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 103 pp. (2010)

http://www.abipel.com.br/media/doc/Pellets_Dissertacao_de_Mestrado__PUBLICO.pdf

e

http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/94403/garcia_dp_me_guara_prot.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. L.E.R. Paula. Dissertação de Mestrado. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 83 pp. (2010)

http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/2447/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_Produ%c3%a7%c3%a3o%20e%20avalia%c3%a7%c3%a3o%20de%20briquetes%20de%20res%c3%adduos%20lignocelul%c3%b3sicos.pdf

Um guia referencial sobre ecoeficiência energética para a indústria de papel e celulose kraft de eucalipto no Brasil. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 19. 140 pp. (2010)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT19_EcoeficienciaEnerg.pdf

Resíduos sólidos industriais do processo de fabricação de celulose e papel de eucalipto. Parte 04: "Casca Suja". C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 21. 100 pp. (2010)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT21_CascaSuja.pdf

Alternativa para redução do consumo de combustível fóssil em uma fábrica de celulose kraft de eucalipto. F.A. Silva. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 39 pp. (2010)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/2883/dissertacao_Fl%c3%a1via%20Azevedo%20Silva.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Aspectos ambientais, econômicos e de saúde e segurança no uso do triturador de galhos oriundo de podas – uma avaliação comparativa pela Cemig D. F.C. Santos; W.J. Pereira; P.M. Castro. SENDI 2010 - Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. 10 pp. (2010)

http://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/03/Aspectos-Ambientais-Econômicos-e-de-Saúde-e-Segurança-no-uso-do-Triturador-de-Galhos-oriundo-de-podas-–-Uma-avaliação-comparativa-pela-Cemig-D..doc

Caracterização e viabilidade econômica do uso energético de resíduos da colheita florestal e do processamento de *Pinus taeda* L. M.M. Souza. Dissertação de Mestrado. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 77 pp. (2010)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/5036/dissertacao_%20Marina%20Moura%20de%20Souza.pdf?sequence=1&isAllowed=y

e

http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2010/d546_0745-M.pdf

LIVRO: Energia de biomassa florestal. M.A. Brand. Editora Interciência. 114 pp. (2010)

https://www.youtube.com/watch?v=Hb5BPrUbEpA&ampampampampampampampampampampampampampampampfeature=youtu.be

Aproveitamento da biomassa florestal: Produção de energia verde no Brasil. Y.V. Abreu; C.M. Silva; H.R. Nascimento; S.M.G. Guerra. 48º Congresso SOBER. 16 pp. (2010)

http://sober.org.br/palestra/15/490.pdf

Análise térmica e ambiental da queima de resíduos primários de tratamento de efluentes da indústria de papel e celulose em substituição ao óleo combustível. J.C.F. Macedo; R.J. Silva. CONEM 2010. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. 09 pp. (2010)

http://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-1997.pdf

Cadeia produtiva de energia de biomassa na região do planalto sul de Santa Catarina: uma abordagem prospectiva. F.F. Simioni; V.A. Hoeflich. Revista Árvore 34(6): 1091 – 1099. (2010)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v34n6/a15v34n6.pdf

Viabilidade econômica de um projeto de produção de energia elétrica via biomassa florestal: Estudo de caso a partir da Usina Santa Terezinha de Paranacity. C.D. Serato. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá. 239 pp. (2010)

http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/seratto,cd.pdf

e

http://www.pce.uem.br/a61c5fe0b5ad530498ab647089eb5884/producao/b7054a9d5db0fd19e78981fc3fd914ce.pdf

Briquetes e péletes de madeira de *Pinus* para geração de energia. E. Foelkel. PinusLetter nº 20. (2009)

http://www.celso-foelkel.com.br/pinus_20.html#quatorze

Colheita mecanizada de biomassa florestal para energia. J.L. Canto. Tese de Doutorado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 139 pp. (2009)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/113/Tese_Juliana-Lorensi-do-Canto.pdf?sequence=1

e

http://alexandria.cpd.ufv.br:8000/teses/ciencia%20florestal/2009/226203f.pdf

e

http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp122250.pdf

Viabilidade de incorporação de resíduos florestais e agrícolas para produção de pellets. J.M.S. Marques. Dissertação de Mestrado. UTAD – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. 100 pp. (2009)

https://repositorio.utad.pt/bitstream/10348/387/1/msc_jmsmarques.pdf

Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos - Sumário executivo -

Revisão 00. M. Wiecheteck. MMA - Ministério do Meio Ambiente. Brasil. 40 pp. (2009)

http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011033501.pdf

Situação atual e perspectivas da silvicultura com espécies potenciais para produção de biomassa para energia. J.L. Gava. 1º Congresso Brasileiro de Florestas Energéticas. Apresentação em PowerPoint: 53 slides. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2009_Perspectivas_silvicultura.pdf

Estado da arte da pesquisa em qualidade da madeira e derivados para energia. A.C.O. Carneiro. 1º Congresso Brasileiro de Florestas Energéticas. Apresentação em PowerPoint: 32 slides. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2009_Qualidade_madeira_energia.pdf

Geração de resíduos de madeira e derivados da indústria moveleira em função das variáveis de produção. E. Hillig; V.E. Schneider; E.T. Pavoni. Produção 19(2): 292 – 303. (2009)

http://www.scielo.br/pdf/prod/v19n2/v19n2a06.pdf

Resíduos sólidos industriais do processo de fabricação de celulose e papel de eucalipto. Parte 02: Fatores de sucesso para seu gerenciamento. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 13. 128 pp. (2008)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT13_Residuos02.pdf

A produção de florestas plantadas de eucalipto sob a ótica da ecoeficácia, ecoeficiência e da produção mais limpa. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 11. 113 pp. (2008)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT11_P%2BL_florestal.pdf

LIVRO: The handbook of biomass combustion & co-firing. Editores: S.van Loo; J. Kopejan. Earthscan. 442 pp. (2008)

https://books.google.com.br/books?id=KE565zmFumQC&printsec=frontcover&dq=combustion+of+biomass&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwily_eExNnMAhVGjJAKHdgkA4MQ6AEIKzAA#v=onepage&q=combustion%20of%20biomass&f=false (em Inglês)

Energy from biomass in pulp and paper mills. D. Gavrilescu. Environmental Engineering and Management Journal 7(5): 537 – 545. (2008)

http://omicron.ch.tuiasi.ro/EEMJ/pdfs/vol7/no5/9_Gavrilescu_D.pdf (em Inglês)

Capítulo 4 - Biomassa. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 3ª Edição. (2008)

http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf

e

http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf

e

http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689 (Todos os capítulos do Atlas)

Tecnologia e economia do briquete de madeira. L.V.B. Gentil. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília. 215 pp. (2008)

http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/4499/1/2008_LuizVicenteBocornyGentil.pdf

Densificação da madeira. C. Fraza. Maden 2008. Apresentação em PowerPoint: 23 slides. (2008)

http://www.inee.org.br/down_loads/biomassa/Carlos%20Fraza%20Maden%202008.pdf

Consumo de lenha e produção de resíduos de madeira no setor comercial e industrial do Distrito Federal. R.A. Barroso. Dissertação de Mestrado. UnB – Universidade de Brasília. 65 pp. (2008)

http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/1919/1/2008_RodrigoAlmeidaBarroso.pdf

Avaliação do potencial energético dos resíduos da construção civil. E.D Holz. Trabalho de Conclusão de Curso. UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 55 pp. (2008)

https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26032/000755011.pdf?sequence=1

Biomassa para energia. L.A.B. Cortez; E.E.S. Lora; E.O. Gómez. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 29 pp. (2008)

http://www.nipe.unicamp.br/2013/docs/publicacoes/inte-biomassa-energia070814.pdf

Gestão ecoeficiente dos resíduos florestais lenhosos da eucaliptocultura. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 07. 48 pp. (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT07_residuoslenhosos.pdf

O aproveitamento dos resíduos do setor florestal de Lages - Santa Catarina. D.A. Coronel; A. Lago; L. Lengler; T.N. Silva. XLV SOBER – Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. 15 pp. (2007)

http://sober.org.br/palestra/6/771.pdf

Geração termelétrica a partir da biomassa. Plano Nacional de Energia 2030. Volume 8. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. 250 pp. (2007)

http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_8.pdf

Produtos e propriedades energéticas da madeira. P. Schürhaus. UNIUV – Centro Universitário de União da Vitória. 162 pp. (2007)

http://engmadeira.yolasite.com/resources/Energia%20da%20madeira.pdf

Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem. M.A. Brand. Tese de Doutorado. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 169 pp. (2007)

http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/10397/Tese-vers%20o%20final%20-%20Martha%20Andreia%20Brand.pdf;jsessionid=8E54FFE84CE46F74ECA9AA4563E1F90E?sequence=1

Colheita de resíduos florestais para bioenergia nos EUA. R. Rummer; F. Seixas. VIII Simpósio Brasileiro sobre Colheita e Transporte Florestal. 18 pp. (2007)

http://colheitademadeira.com.br/wp-content/uploads/publicacoes/147/colheita_de_residuos_florestais_para_bionergia_nos_eua.pdf

A produção florestal e a industrialização de seus resíduos na região de Jaguariaíva – Paraná. D.C. Magossi. Dissertação de Mestrado. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 88 pp. (2007)

http://www.floresta.ufpr.br/defesas/pdf_ms/2007/d485_0633-M.PDF

Comércio internacional de madeira para energia. A.A. Santos; M.L. Silva; S.A. Cordeiro; S.R. Valverde; L.A.G. Jacovine. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal 5(9). 15 pp. (2007)

http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/r0Hl9PTC0a4QbGo_2013-4-26-14-51-53.pdf

Sumário do Workshop Madeira Energética no BNDES. L.H.; Nogueira; O. Puppin. INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética. 09 pp. (2007)

http://www.inee.org.br/down_loads/biomassa/Sumario%20Workshop%20Madeira%20Energetica.doc

Estudo da viabilidade técnico – econômica de uma fábrica de briquetes para fins de geração energética. C.A. Silva; F.F. Felfli; J.M.M. Pérez; J.D. Rocha; A.F. Simões. AGRENER GD. 10 pp. (2006)

http://www.nipeunicamp.org.br/agrener/anais/2006/78.pdf

Aproveitamento de resíduos de madeira para confecção de briquetes. J.C.M. Paula. Monografia de Conclusão de Curso. UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 48 pp. (2006)

http://www.if.ufrrj.br/inst/monografia/Monografia%20Julio%20Marchiori.pdf

Uso da biomassa florestal na geração de energia. T.S. Soares; A.C.O. Carneiro; E.O. Gonçalves; J.G. Lellis. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal. 09 pp. (2006)

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/florestal1_000gapwcajw02wx5ok04xjloyxd3fpu2.pdf

Análise térmica e ambiental da queima do lodo primário da fabricação de papel e celulose em caldeira de biomassa à grelha. J.C.F. Macedo. Dissertação de Mestrado. UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá. 216 pp. (2006)

http://saturno.unifei.edu.br/bim/0030153.pdf

Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 02. 133 pp. (2006)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_minerais.pdf

Resíduos de madeira da indústria madeireira – caracterização e aproveitamento. E. Hillig; V.E. Schneider; C. Weber; R.D. Tecchio. XXVI ENEGEP. 07 pp. (2006)

http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2006_tr520346_8192.pdf

Aproveitamento da biomassa residual de colheita florestal. C.A. Ortolan; E.W. Azevedo; A.C. Antiqueira; F.A.S. Ortolan; H. Bonisch. Seminário de Atualização sobre Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal. 10 pp. (2006)

http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/doc_aproveitamento_florestal_11596.pdf

Oportunidades do aproveitamento da biomassa florestal. E. Rodrigues. Projeto ENERSILVA. Centro de Biomassa para a Energia. Universidade Católica do Porto. Apresentação em PowerPoint: 33 slides. (2005)

http://enersilva.navegantes.info/resultados/eugenia_rodrigues_cbe.pdf

Resíduos de indústria madeireira: caracterização, consequências sobre o meio ambiente e opções de uso. R.I.J.P. Dutra; S.M. Nascimento. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal Nº 5. 19 pp. (2005)

http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/7kc54tJmvnT43dW_2013-4-25-14-47-28.pdf

Casca da árvore do eucalipto: aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de celulose e papel. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 01. 109 pp. (2005)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_casca.pdf

Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira. F. Rosillo-Calle; S.V. Bajay; H. Rothman. Editora UNICAMP. 447 pp. (2005)

http://www.saraiva.com.br/uso-da-biomassa-para-producao-de-energia-na-industria-brasileira-1389287.html?sku=1389287&force_redirect=1&pac_id=123134

Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no Brasil. L. Calegari; C.E.B. Foelkel; C.R. Haselein; J.L.S. Andrade; P. Silveira; E.J. Santini. Biomassa e Energia 2(1): 37 – 46. (2005)

http://www.renabio.org.br/04-B&E-v2-n1-2005-p37-46.pdf

Análise econômico-energética de utilização de resíduo industrial florestal para geração de energia térmica: um estudo de caso. F.C.P.D. Farra. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 72 pp. (2004)

http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90587/dalfarra_fcp_me_botfca.pdf?sequence=1

Produção de biomassa florestal para exportação: o caso da AMCEL. I.H. Omachi; L.G. Rodrigues; M. Stolf; R. Cannaval; R. Sobreiro. Biomassa & Energia 1(1): 29 – 36. (2004)

http://www.renabio.org.br/003-B&E-v1-n1-2004-29-36.pdf

Indústria moveleira e resíduos sólidos: considerações para o equilíbrio ambiental. E.F. Casagrande Júnior; M.C. Silva; A.C. Casilha; C.L. Podlasek; S.N.F. Mengatto. Revista Educação & Tecnologia 8: 209 – 228. (2004)

http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/grupos/tema/25indus_moveleira_ambiental.pdf

Resíduos do setor madeireiro: aproveitamento energético. G.F. Pinheiro; G. Rendeiro; J.T. Pinho. Biomassa & Energia 1(2): 199 – 208. (2004)

http://www.renabio.org.br/09-B&E-v1-n2-2004-199-208.pdf

Custo ecológico do uso integral de recursos florestais para fins energéticos. J.R. Almeida; M.B. Almeida; L.A. Aguiar; A.R. Aquino;

M.C.C. Coelho. Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento 6(1): 23 – 29. (2004)

http://repositorio.ipen.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7615/10870.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Informe de la misión técnica a la central de biomassa forestal de Mortágua. (Portugal). Asociación Forestal de Galícia – Espanha. 11 pp. (2004)

http://enersilva.navegantes.info/areasubir/resultados/INFORME%20MORTAGUA.pdf (em Espanhol)

LIVRO: Wood energy. L.A.H. Nogueira; E.S. Lora. UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá. 7 Capítulos. (2002)

http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/downloads/downloads_pt.html (em Inglês)

Balanço e rendimento energéticos de uma indústria integrada de base florestal. M.A. Brand; D.A. Silva; G.I.B. Muñiz; U. Kloch. Flor@m – Floresta e Ambiente 9(1): 45 – 53. (2002)

http://www.floram.org/files/v9núnico/v9nunicoa6.pdf

Sistema de lavagem e recuperação de biomassa. A.B. Landim; R.S. Almeida; E.J. Amaral; S.M. Fernandes. 34º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 13 pp. (2001)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2001_Lavagem_preparo_biomassa_CNB.pdf

Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento. I.C. Macedo. CGEE – Centro de Gestão de Estudos Estratégicos. 11 pp. (2001)

http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo003_02.pdf

Alternativas para a cogeração de energia em uma indústria de chapas de fibra de madeira. V.B. Pereira Júnior. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 101 pp. (2001)

http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90700/pereirajunior_vb_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Wood residue as an energy source for the forest products industry. A. Crisp. The Australian National University. (1999)

http://fennerschool-associated.anu.edu.au/fpt/nwfp/woodres/woodres.html (em Inglês)

Experiências de geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: Aspectos técnicos e econômicos. L.A.H. Nogueira; A.C.S. Walter. In: "Memoria - Reunión Regional sobre Generación de Electricidad a partir de Biomasa". FAO – Food and Agriculture Organization. (1996)

http://www.fao.org/docrep/T2363S/T2363S00.htm (em Espanhol)

Caracterização química e energética de resíduos de exploração da madeira de *Eucalyptus grandis*. A.L.P.S. Martins; J.O. Brito. Revista Árvore 20(3): 367 – 370. (1996)

https://books.google.com.br/books?id=qHKaAAAAIAAJ&pg=PA367&dq=caracteriza%C3%A7%C3%A3o+qu%C3%ADmica+e+energ%C3%A9tica+de+res%C3%ADduos+da+explora%C3%A7%C3%A3o+da+madeira+de+Eucaluyptus&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjJyumkq5nNAhUGIZAKHdQXCTAQ6AEIHjAA#v=onepage&q=caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20qu%C3%ADmica%20e%20energ%C3%A9tica%20de%20res%C3%ADduos%20da%20explora%C3%A7%C3%A3o%20da%20madeira%20de%20Eucaluyptus&f=false

Uso da biomassa florestal como fonte de energia. J.E.N. Manhães. Flor@am – Floresta e Ambiente 1(1). 08 pp. (1994)

http://www.floram.org/files/v1núnico/v1nunicoa13.pdf

Estudo energético e econômico de um sistema de cogeração associado à indústria de celulose. J.L. Silveira. O Papel (Fevereiro): 47 - 51. (1994)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/17_estudo%20energ%E9tico%20cogera%E7%E3o.pdf

e

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1994_Estudo_Cogeracao.pdf

Methods to estimate total forest biomass for extensive forest surveys: application in the Northeastern U.S. E.H. Wharton; D.M. Griffith. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Northeastern Forest Experiment Station. 56 pp. (1993)

http://www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/research_papers/pdfs/scanned/OCR/ne_rp681.pdf (em Inglês)

The potential use of forest residues for energy generation. FAO - Food and Agriculture Organization. In: Energy Conservation in the Mechanical Forest Industries. Chapter 06. (1990)

http://www.fao.org/docrep/T0269E/t0269e08.htm#6 (em Inglês)

***Eucalyptus globulus* debarking plant.** S. Tavares; A. Silveira; A. Redondo. Commission of the European Communities. Report EUR 13088 EN. 45 pp. (1990)

http://bookshop.europa.eu/bg/eucalyptus-globulus-debarking-plant-pbCDNA13088/downloads/CD-NA-13-088-EN-C/CDNA13088ENC_001.pdf;pgid=y8dIS7GUWMdSR0EAlMEUUsWb0000eIzDF_OE;sid=_2GmPHni7f2mJSqD_j04mxvHXaLabH4x-bI=?FileName=CDNA13088ENC_001.pdf&SKU=CDNA13088ENC_PDF&CatalogueNumber=CD-NA-13-088-EN-C (em Inglês)

Sistema de secagem de biomassa – combustível alternativo para caldeiras auxiliares e fornos de cal. F.L.C. Lima. O Papel (Outubro): 49 – 59. (1988)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1988_Secagem_biomassa.pdf

Uso integral da floresta para fins energéticos. A.W.V. Castro. EMBRAPA – UEPAE de Porto Velho. Documentos 17. 17 pp. (1987)

http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=ACERVO.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=062042

Faça um bom uso de sua floresta. C. Foelkel. 5º Congresso Florestal Brasileiro. 05 pp. (1986)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Faca%20um%20bom%20uso%20de%20sua%20floresta.pdf

CITAÇÃO: The economics of bark pressing. A.W. Hooper. Pulp and Paper Canada 87(1): 49 – 52. (1986)

http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=8567896 (em Inglês)

CITAÇÃO: Evaluation of Bruks off-road chippers. R. Richardson. FERIC – Forest Engineering Research Institute of Canada. Technical Report TR-71. 36 pp. (1986)

http://libris.kb.se/bib/1923523 (em Inglês)

Análise do aproveitamento econômico do resíduo florestal. L.R. Graça; C.H.O. Campos. Boletim de Pesquisa Florestal 13: 35 – 45. (1986)

http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/15510/1/graca.pdf

Otimização energética de caldeira a lenha através da pré-secagem de cavacos utilizando gases efluentes da combustão. R.A. Peixoto; L. Amaral Jr. 19º Congresso Anual da ABTCP. p. 381-401. (1986)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/34_secagem%20biomassa%20para%20caldeira%20for%E7a.pdf

e

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1986_Secagem_biomassa_caldeira.pdf

Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos. F. Poggiani; S. Zen; F.S. Mendes; F. Spina-França. IPEF 27: 17 – 30. (1984)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr27/cap02.pdf

Quantificação de resíduos florestais para produção de energia em povoamento de *Eucalyptus saligna*. H.T.Z. Couto; J.O. Brito; M. Tomazello Filho; L. Corradini; E.C.M. Fazzio. IPEF 26: 19 – 23. (1984)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr26/cap03.pdf

Quantificação para fins energéticos da biomassa florestal de povoamentos de *Eucalyptus saligna* de primeira e segunda rotação. C.A. Busnardo; J.V. Gonzaga; E.P. Benites; I. Borssatto. 17º Congresso Anual de Celulose e Papel. ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel 1: 267-295. (1984)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/10_Quantificacao%20energetica%20e.saligna.pdf

Biomassa florestal. E. Merlin. O Papel (Julho): 65 – 68. (1984)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1984_Biomassa_Klabin.pdf

Casca de *Eucalyptus globulus*: polpação versus queima. C.F. Silva. 16º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 10 pp. (1983)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1983_Casca_Eucalyptus_globulus.pdf

Alternativas energéticas na Aracruz Celulose. S. Polowski; F. Valério. 15º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 17 pp. (1982)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1982_Energeticos_Aracruz.pdf

Utilização da biomassa florestal para geração de energia. I: Situação geral e uso de resíduos. C.A. Busnardo. Monografia. Riocell – Rio Grande Companhia de Celulose do Sul. 61 pp. (1981)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1981_Monografia_Busnardo.pdf

Potencialidade da utilização de galhos de eucaliptos para produção de polpas kraft. R.C. Oliveira; J.L. Colodette; J.L. Gomide. 14º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 28 pp. (1981)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1981_Galhos_eucaliptos.pdf

CITAÇÃO: How some Scandinavian mills get higher fuel value from bark. B. Fagerlund. TAPPI Journal 63(3): 35 – 36. (1980)

http://www.osti.gov/scitech/biblio/5876295 (em Inglês)

Serragem de madeira ao forno de cal: uma opção para economia de energia. C.A. Busnardo; P.E.D. Varante; F.R. Barreto Neto; W.E. Luders; A.L. Raffin; F. Puig; C.E.B. Foelkel. 13º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p.: 225 – 237. (1980)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/35_serragem%20madeira%20ao%20forno%20de%20cal%20busnardo.pdf

Secagem a contrapressão. Um novo sistema para secagem de combustíveis de madeira em substituição ao petróleo. T. Olson. 13º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p.: 257 - 263. (1980)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1980_Secagem_biomassa.pdf

Anais do Seminário "Abastecimento energético industrial com recursos florestais". Séria Técnica IPEF Edição nº 2. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. (1980)

http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr02.asp#_blank

Possíveis reflexos na indústria de celulose e papel pela utilização generalizada da madeira como fonte de energia. A.F. Lima; A.A.S. Camargo; J.M. Neves; M.C.S. Jordão; R.M.V. Assumpção. 12º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 18 pp. (1979)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1979_Cenarios_uso_energetico_madeira.pdf

Utilização de casca de madeira como combustível auxiliar em forno de cal. E.S.B. Merlin. 12º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 09 pp. (1979)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1979_Biomassa_Klabin_Forno.pdf

Tecnologia para queimar madeira. G.N.E. Krogh. O Papel (Novembro): 105 – 108. (1979)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1979_Krogh_Queima_madeira.pdf

Avaliação das características dos resíduos de exploração florestal do eucalipto para fins energéticos. J.O. Brito; L.E.G. Barrichelo; H.T.Z. Couto; E.C.M. Frazzio; L. Corradini; M.A. Carrara; A.J. Migliorini. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Circular Técnica nº 62. 07 pp. (1979)

http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr062.pdf

How to estimate recoverable heat energy in wood or bark fuels. P.J. Ince. U.S.D.A. Forest Service. Forest Products Laboratory. General Technical Report FPL 29. 10 pp. (1979)

http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr29.pdf (em Inglês)

Should whole-tree chips for fuel be dried before storage? E.L. Springer. U.S.D.A. Forest Service. FPL – Forest Products Laboratory. Research Note FPL-0241. 05 pp. (1979)

http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrn/fplrn241.pdf (em Inglês)

Utilização da madeira com casca na produção de celulose sulfato de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea var. bahamensis*. J.O. Brito. Dissertação de Mestrado. USP - Universidade de São Paulo. 127 pp. (1979)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2004_Utiliza%E7%E3o%20da%20madeira%20com%20casca.%20Disserta%E7%E3o%20prof.pdf

Uso integral da árvore: a casca. J.O. Brito; L.E.G. Barrichelo. Circular Técnica IPEF nº 50. 04 pp. (1979)

http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr050.pdf

Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. J.O. Brito; L.E.G. Barrichelo. IPEF 16: 63-70. (1978)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr16/cap05.pdf

CITAÇÃO: Bark-drying system (Bahco) saves energy with more steam, no outside fuel. B.C. Ferm. Pulp & Paper 52(10): 171 – 173. (1978)

http://www.cabdirect.org/abstracts/19790651144.html;jsessionid=439A1E1E326828626C1A47A7645AE5F9 (em Inglês)

Economic analysis of wood- or bark-fired systems. T.H. Ellis. U.S.D.A. Forest Products Laboratory. Gen. Tech. Rep. FPL-16. 24 pp. (1978)

http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr16.pdf (em Inglês)

Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. J.O. Brito; L.E.G. Barrichelo. IPEF 16: 63 – 70. (1978)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr16/cap05.pdf

Casca desmedulada de eucalipto: uma nova opção como fonte de fibras para a indústria de celulose kraft. C.E.B. Foelkel; C. Zvinakevius; L.R.O. Siqueira; J. Kato; J.O.M. Andrade. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 15 pp. (1977)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/1977.%20casca%20desmedulada%20de%20eucalipto.pdf

Properties and uses of bark as an energy source. S.E. Corder. Forest Research Laboratory. School of Forestry. Oregon State University. Research Paper 31. 24 pp. (1976)

https://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/8209/RP_no_31.pdf?sequence=1 (em Inglês)

Wood chips – Production, handling, transport. FAO – Food and Agriculture Organization. 144 pp. (1976)

http://www.fao.org/docrep/015/ae227e/ae227e00.pdf (em Inglês)

CITAÇÃO: Origins of some problems in whole-tree pulping. R. Marton; T.E. Amidon; R. Koeppicus. TAPPI Journal 59(12): 107 – 112. (1976)

http://openagricola.nal.usda.gov/Record/CAIN779003614 (em Inglês)

CITAÇÃO: Whole-tree utilization: fact or fantasy. R.J. Auchter. TAPPI Journal 58(11): 04 – 05. (1975)

http://archiveswest.orbiscascade.org/ark:/80444/xv55651 (Referência 29 - em Inglês)

CITAÇÃO: Value of residues for fuel versus value for products. R.L. Mason. Proceeedings of "Wood Residue as an Energy Source". Forest Products Research Society. 03 pp. (1975)

https://archive.org/stream/woodresiduesasen703patt/woodresiduesasen703patt_djvu.txt (em Inglês)

O problema da casca do eucalipto. G. Krogh. Seminário de Integração Floresta - Indústria. IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. p.: 157 - 164. (1975).

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2011_Seminario%20de%20integra%E7%E3o%20floresta%20ind%FAstria0001.pdf

CITAÇÃO: Short-rotation hardwood species as whole-tree raw material for pulp and paper. 1. General aspects. B. Lönnberg. Paper and Timber 57(6): 443 – 447. (1975)

http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302754099 (em Inglês)

CITAÇÃO: Short-rotation hardwood species as whole-tree raw material for pulp and paper. 1. Wood raw material. B. Lönnberg. Paper and Timber 57(8): 513 - 516. (1975)

http://digitalcommons.usu.edu/aspen_bib/5094/ (em Inglês)

Physical and chemical properties of slash pine tree parts. E.T. Howard. Wood Science 5(4): 312 – 317. (1973)

http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_howard003.pdf (em Inglês)

Thermal reactions and industrial uses of bark. S. Chow. Wood and Fiber 4(3): 130 - 137. (1972)

http://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/download/941/941 (em Inglês)

Complete-tree utilization. An analysis of the literature. J.L. Keays. Forest Products Laboratory. Canadian Forest Service. Department of Fisheries and Forestry. Information Reports. V Parts. (1971)

Part I: Unmerchantable top of the bole. 106 pp. (1971)

http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=8093&context=aspen_bib (em Inglês)

Part II: Foliage. 103 pp. (1971)

http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=8092&context=aspen_bib (em Inglês)

Part III: Branches. 76 pp. (1971)

http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=8091&context=aspen_bib (em Inglês)

Part IV: Crown and slash. 88 pp. (1971)

http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=8089&context=aspen_bib (em Inglês)

Part V: Stump, roots and stump-root system. 69 pp. (1971)

http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=8090&context=aspen_bib (em Inglês)

World development in increased forest resources for the pulp and paper industry. J.L. Keays. Forest Products Laboratory. Canadian Forest Service. Department of Fisheries and Forestry. Information Report VP-X-64. 68 pp. (1970)

http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=8088&context=aspen_bib (em Inglês)

The experience of Brazilian pulp and paper industry in reducing fuel oil consumption. C.E.B. Foelkel; G. Krogh. PPI – Pulp and Paper International. 14 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/SD_Foelkel_Krogh_Brazilian_experience.pdf (em Inglês)

Viabilidade econômica de uma floresta de eucalipto para a produção de briquetes. E.A. Garcia; K.P. Lanças; S.P.S. Guerra; M.S.T. Esperancini; A.L.M. Teixeira. 07 pp. (Sem referência de fonte e de data)

http://www.lippel.com.br/lippel/uploads/downloads/05-05-2014-10-04viabilidade-economica-de-uma-floresta-de-eucalipto-para-a-producao-de-briquetes.pdf

Correlação entre características da biomassa para geração de vapor em uma caldeira. M.C. Rosa; E.D. Oliveira Júnior. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal. 10 pp. (SD = Sem referência de data)

http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/dFs369avdGLfgb8_2014-4-16-15-54-35.pdf

Aproveitamento energético de resíduos e biomassa. R.C. Perdoná. Odebrecht Agroindustrial. Apresentação em PowerPoint: 30 slides. (SD = Sem referência de data)

http://www.crq4.org.br/sms/files/file/aproveitamento_biomassa_perdona_odebrecht.pdf

Utilização energética de resíduos vegetais. W.F. Quirino. LPF – Laboratório de Produtos Florestais. LPF/IBAMA. 35 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/aproveitamento.pdf

Utilização energética de resíduos vegetais. Resíduos vegetais – Madeira - Energia. W.F. Quirino. LPF – Laboratório de Produtos Florestais. LPF/IBAMA. 16 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.lippel.com.br/lippel/uploads/downloads/05-05-2014-11-39utilizacao-energetica-de-residuos-florestais.pdf

Valorização dos resíduos sólidos orgânicos no município de Florianópolis através de beneficiamento dos resíduos de podas. Prefeitura Municipal de Florianópolis. 28 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/16_08_2012_13.03.51.d5fc44d7dfc02f3564e4f890792ae489.pdf

Gerenciamento de resíduos de madeira industrializada na construção civil. IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. 06 pp. (SD = Sem referência de data)

http://iba.org/images/shared/Cartilha-Gerenciamento-de-Residuos.pdf

Determinação das propriedades energéticas de resíduos de madeira em diferentes períodos de armazenamento. M.A. Brand; V.J. Costa; A. Durigon; M. Amorim. Tractebel Energia. 07 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.tractebelenergia.com.br/wps/wcm/connect/304a87b4-66c9-4dbc-9494-b4e6896c4328/numero3.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=304a87b4-66c9-4dbc-9494-b4e6896c4328

e

http://www.tractebelenergia.com.br/wps/wcm/connect/55d0b330-f0f8-437b-b128-dd9ba262aaaf/0403-018-2004_art.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=55d0b330-f0f8-437b-b128-dd9ba262aaaf

==========

==========

Sustentabilidade – uma exigência

==========