Eucalyptus Online Book & Newsletter

Celsius Degree / Grau Celsius

Qualidade da Madeira do Eucalipto

Reflexões Acerca da Utilização da Densidade Básica como Indicador de Qualidade da Madeira no Setor de Base Florestal

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 2015

Eucalyptus Online Book & Newsletter

EUCALYPTUS ONLINE BOOK

CAPÍTULO 41

Qualidade da Madeira do Eucalipto

Reflexões Acerca da Utilização da Densidade Básica como Indicador de Qualidade da Madeira no Setor de Base Florestal

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

Celulose Irani

CENIBRA – Celulose Nipo Brasileira

CMPC Celulose Riograndense

Eldorado Brasil Celulose

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores

Klabin

Lwarcel Celulose

Pöyry

Solenis

Stora Enso Brasil

Suzano Papel e Celulose

Qualidade da Madeira do Eucalipto

Reflexões Acerca da Utilização da Densidade Básica como Indicador de Qualidade da Madeira no Setor de Base Florestal

CONTEÚDO DO CAPÍTULO

- APRESENTAÇÃO DO CAPÍTULO E AGRADECIMENTOS
- HISTÓRICO & FATOS RELEVANTES
- ACERCA DA MADEIRA E DA SUA QUALIDADE
- TIPOS DE MEDIÇÕES PARA DENSIDADE DA MADEIRA
- MADEIRA DO EUCALIPTO E SEUS DERIVADOS PRINCIPAIS: TORAS, CAVACOS, CHAPAS DE PARTÍCULAS, PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA, MADEIRA SERRADA, LENHA, CARVÃO VEGETAL
- A ESTRUTURA DA MADEIRA DO EUCALIPTO E A ÁGUA – MÁXIMO TEOR DE UMIDADE, VARIAÇÃO DIMENSIONAL E HISTERESE
- RELAÇÕES DA DENSIDADE BÁSICA COM OUTRAS PROPRIEDADES DA MADEIRA
- DENSIDADE BÁSICA DA CASCA DAS ÁRVORES DOS EUCALIPTOS
- VARIABILIDADE DA DENSIDADE DA MADEIRA

- MELHORAMENTO GENÉTICO PARA DENSIDADE DA MADEIRA
- A DENSIDADE APARENTE DE CAVACOS DE MADEIRA
- CONSIDERAÇÕES FINAIS
- REFERÊNCIAS DA LITERATURA

Qualidade da Madeira do Eucalipto

Reflexões Acerca da Utilização da Densidade Básica como Indicador de Qualidade da Madeira no Setor de Base Florestal

Com esse conjunto de capítulos aqui iniciado, esperamos estar trazendo algumas considerações vitais para que os estudos de qualidade da madeira possam ser mais bem avaliados e entendidos, oferecendo maiores níveis de credibilidade para tomadas de decisão no setor de base florestal.

==========

APRESENTAÇÃO DO CAPÍTULO E AGRADECIMENTOS

Esse capítulo de número 41 inicia uma série de diversos novos capítulos de nosso livro digital, agora sobre a temática ***Qualidade da Madeira do Eucalipto***, orientada para utilizações industriais da mesma. Esperamos com esse novo conjunto de capítulos trazer, não apenas embasamentos teóricos, mas também muitas aplicações práticas para os inúmeros conceitos de qualidade da madeira para alguns setores industriais que se valem do uso da madeira do eucalipto. Iniciamos a série com esclarecimentos exatamente sobre a densidade básica da madeira do eucalipto, que pretendemos debater de forma clara, honesta e transparente. Em outros capítulos, voltaremos ao tema da densidade básica, bem como a outras características importantes que definem a qualidade da madeira em função do uso da mesma e das restrições que são encontradas nos diversos processos industriais.

Para lhes oferecer esse primeiro capítulo, eu tentei resgatar muito da história e identificar os principais especialistas que vêm estudando qualidade da madeira do eucalipto no Brasil. Existem milhares de estudos sobre esse tema, em especial orientados para o setor industrial de produção de celulose e papel. Isso porque a madeira do eucalipto tem tido maiúsculo crescimento de uso por esse segmento industrial. Entretanto, a madeira do eucalipto também tem crescido em utilização em setores como bioenergia (lenha e carvão vegetal), produção de painéis e chapas de madeira, produtos de madeira serrada e derivados com maior valor agregado, madeira tratada, usos estruturais, etc., etc.

Os capítulos iniciais dessa série estarão mais focados em caracterização da madeira e seu uso para setores industriais como celulose kraft branqueada, papel, painéis e chapas de madeira e carvão vegetal e bioenergia. A seguir, conforme evoluirmos nesse tema, outros capítulos surgirão sobre outras utilizações industriais da madeira dos eucaliptos. No início, daremos mais ênfase em estudos realizados no Brasil, justamente o país líder em plantações de eucaliptos para finalidades industriais. A seguir, em futuros capítulos, passaremos a ampliar o foco para estudos de qualidade da madeira de outras espécies de eucalipto, realizados em diversas outras regiões do planeta.

Os dois primeiros capítulos dessa série discutem a qualidade da madeira sob a ênfase de sua densidade básica e de outros tipos de densidade, que podem ser avaliados na madeira. Depois, tentarei focar a qualidade da madeira para a produção de celulose e papel, painéis e chapas de madeira, bioenergia, etc. Com isso, estarei ampliando o foco de produtos e de regiões, colocando a madeira do eucalipto onde ela merece estar, como matéria-prima lenhosa global para inúmeras aplicações industriais.

Antes de finalizar esse texto introdutório, eu gostaria de agradecer algumas das pessoas que preponderantemente ajudaram a construir a história da qualidade da madeira do eucalipto no Brasil. Tive a felicidade de acompanhar e participar desse processo todo de estudos sobre qualidade da madeira, desde meados dos anos 1960's no Brasil. As sementes para o desenvolvimento de novos estudos e tecnologias foram sendo plantadas em terras férteis por pessoas motivadas e qualificadas – resultando hoje em um patrimônio notável de conhecimentos sobre qualidade da madeira em nosso País.

Em momento futuro desse capítulo, enunciarei os principais nomes de pessoas que no Brasil têm estudado com determinação e afinco a qualidade da madeira. Entretanto, nesse momento, dedicarei alguns agradecimentos a amigos que admiro e que me ajudaram a aprender mais e a gerar mais conhecimentos sobre esse tema – isso desde o início de minha carreira.

Dessa forma, não poderia deixar de agradecer pessoas como os meus ex-professores na ESALQ – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, ainda nos anos 60's e 70's, os professores Dr. Luiz Ernesto George Barrichelo e Dr. Mário Ferreira, que me estimularam a estudar, pesquisar, entender e, com isso, a me apaixonar pelos estudos acerca da qualidade da madeira, isso desde o início de minha carreira no setor de base florestal.

Em adição a eles, também não poderia deixar de mencionar alguns acadêmicos e estudiosos de qualidade da madeira do Brasil, que têm gerado uma enorme produção científica e tecnológica na forma de artigos e na orientação de dissertações e teses de seus alunos de pós-graduação. Com eles, tenho aprendido muito: lendo seus trabalhos científicos, assistindo suas palestras e cursos, dialogando e debatendo em eventos, lendo as teses e dissertações de seus orientados, etc. Dentre eles destaco com justiça, em ordem alfabética, com a penalidade de ter me esquecido de algum outro nome brasileiro relevante, pelo que antecipadamente me desculpo:

- Angélica de Cássia Oliveira Carneiro
- Benedito Rocha Vital
- Cláudio Ângeli Sansígolo
- Dorotéia Maria Martins Flores
- Francides Gomes da Silva Júnior
- Ismael Eleotério Pires
- Jorge Luiz Colodette
- José Lívio Gomide
- José Otávio Brito
- José Tarcísio Lima
- Maria Aparecida Mourão Brasil
- Mário Tomazello Filho
- Paulo Fernando Trugilho
- Rubens Chaves de Oliveira
- Setsuo Iwakiri
- Umberto Klock

Só para preparar esse atual capítulo e o que se seguirá a esse atual, li mais de duas centenas de artigos e teses, que muitos bravos e qualificados amigos escreveram ou ajudaram a ser escrito pelos seus alunos orientados.

Entretanto, eu não poderia deixar de mencionar algumas outras pessoas que foram maravilhosas ao longo de minha carreira e que me ajudaram a entender não apenas sobre os temas "qualidade da madeira e densidade básica", mas a descobrir os principais fatores que afetam os resultados e os desempenhos das madeiras dos eucaliptos em suas utilizações industriais. Isso porque são pessoas que atuam ou atuaram no laboratório, ou no controle operacional, ou no desenvolvimento tecnológico de empresas industriais. Dentre elas, destaco as seguintes:

- Alfredo Mokfienski
- Augusto Fernandes Milanez

- Braz José Demuner
- Carlos Alberto Busnardo
- Ceslavas Zvinakevicius
- Cláudia Adriana Bróglio da Rosa
- Edgard Campinhos Jr.
- Danila Estevam Alves da Cruz
- Ergílio Cláudio-da-Silva Júnior
- Ervin Mora
- Francisco de Assis Bertini Moraes
- Hernon José Ferreira
- Jorge Vieira Gonzaga
- Maria José de Oliveira Fonseca
- Nuno Borralho
- Sérgio Menochelli
- Teotônio Francisco de Assis
- Vail Manfredi
- Vera Maria Sacon

Também agradeço minhas centenas de alunos, orientados e estagiários de universidades e cursos técnicos, que sempre me incentivaram a desafiá-los com temas em qualidade da madeira do eucalipto para seu aprendizado em minhas aulas e orientações.

A vocês leitores, eu gostaria de agradecer toda a atenção e o imenso apoio que sempre me têm oferecido. Todos vocês têm ajudado - e muito - a fazer do **Eucalyptus Online Book** algo muito útil para os técnicos e demais interessados por esse nosso setor de base florestal plantada.

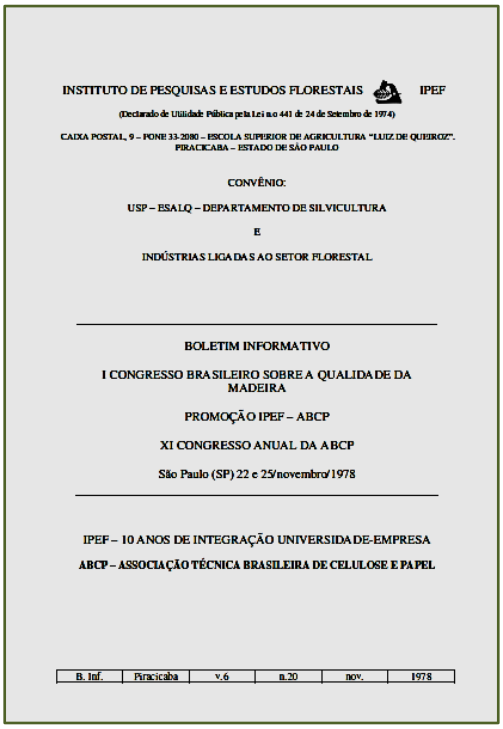
A todos, um abraço fraterno e um enorme muito obrigado.

==========

A qualidade da madeira do eucalipto depende do produto a ser fabricado e do processo sendo utilizado

==========

HISTÓRICO & FATOS RELEVANTES



Em geral, cada pessoa que gosta de contar histórias do passado tende a contar a história de acordo com a sua visão dos fatos relevantes que mais a marcaram ou impressionaram. No meu caso, o que trago a vocês é a história da qualidade da madeira no Brasil da forma como eu a vivenciei, desde que fui apresentado ao setor de base florestal, em 1967. Se essa história for contada por outras pessoas, de outras instituições ou empresas, é mais do que evidente que os fatos relevantes sejam outros, para se somarem com os que eu lhes apresentarei nessa seção do Eucalyptus Online Book.

Mas vamos lá então, com a minha visão dos fatos relevantes para a qualidade da madeira do eucalipto, entre os anos 60's a 90's, principalmente. A partir dos anos 2000's, ocorreu uma globalização muito forte dos estudos e a entrada de grande quantidade de novos atores para estudar esse tema no Brasil e no mundo, o que causou uma enorme geração de estudos e de novos conhecimentos sendo desenvolvidos por algumas equipes de estudiosos em qualidade da madeira, que serão referenciados mais adiante nessa seção.

O certo é que até a data da edição da famosa e festejada bíblia dos eucaliptos de 1961, que foi a segunda edição renovada e atualizada da obra "O Eucalipto" de Edmundo Navarro de Andrade, com a coordenação técnica de Armando Navarro Sampaio, pouco se comentava ou se propunham ações de cunho científico para estudar e entender qualidade da madeira com base em suas características fundamentais, dentre as quais, a sua densidade básica. Naquela época, os eucaliptos ainda não tinham muita expressão para utilizações industriais, participando mais em usos secundários da madeira como matéria-prima para lenha, carvão vegetal, moirões para cercas, postes, dormentes, estacas e algum princípio de uso na indústria de celulose e papel e chapas de fibras.

A qualidade da madeira era muito mais entendida como sendo função da resistência à deterioração, dureza e resistências mecânicas. A classificação da madeira era mais vista como resultado da espécie de eucalipto que se plantava, da idade da floresta, do diâmetro das toras, da cor do cerne relacionada aos extrativos e da resistência à biodeterioração.

Entretanto, ao longo dos anos 50's e 60's, nos Estados Unidos da América, um grupo de pesquisadores do FPL – Forest Products Laboratory, em Madison/Wisconsin, já estudava e publicava interessantíssimos artigos sobre densidade da madeira, que acabaram se convertendo em publicações relevantes e fundamentais para todos os que se dedicam a estudar qualidade da madeira. Na verdade, muitos desses trabalhos se fundamentaram em definir metodologias padronizadas para se testar a densidade de peças de madeira, de pequenas e médias dimensões. Destacaram nesse particular, os estudos de Diana M. Smith (1954, 1955 e 1961) e Harold L. Mitchell (1961).

Quando em 1967 eu iniciei meu estágio em tecnologia de celulose e papel no Departamento de Silvicultura da ESALQ – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" sob a orientação do professor Dr. Luiz Ernesto George Barrichelo, ouvi dele, logo no início do estágio, as seguintes considerações:

"Celso, muito provavelmente os engenheiros agrônomos e florestais não terão grandes oportunidades no momento para atuação no setor industrial das fábricas de celulose e papel. Entretanto, eles terão todas as condições de liderança nos estudos de matérias-primas de base florestal para essa indústria, em especial no que diz respeito à qualidade da madeira".

E continuou...

"Através da integração das áreas florestais e industriais, teremos grandes oportunidades de aperfeiçoamento da qualidade da madeira para produção de celulose, com maiores desempenhos, eficiências, rendimentos e qualidade dos produtos celulósico-papeleiros".

E finalizava...

"A qualidade da madeira depende fundamentalmente do tipo de produto a ser fabricado e da tecnologia disponível. As fábricas não trabalham em nenhum dos segmentos industriais como se fossem relógios suíços. Tampouco a madeira deve receber a culpa por todos os problemas que vierem a acontecer nos processos de fabricação industrial".

Ouvi com atenção os sábios dizeres de meu guru e professor, captei rapidamente os pontos-chaves e rapidamente tomei dois posicionamentos desde o início de minha carreira no setor:

1. Ajudar para que a integração floresta-indústria viesse a ser fortalecida no setor, sendo que o professor Barrichelo acabou se constituindo em um dos principais ícones para a busca dessa integração.

2. Desafiar com muita determinação a situação vigente na época e batalhar para a formação de engenheiros florestais e silvicultores capazes de terem qualificação técnica para atuação no setor industrial da fabricação de celulose e papel. Acabei tendo sucesso nisso, com a minha etapa para estudos de pós-graduação em tecnologia de celulose e papel nos Estados Unidos da América (1972-1973), seguidos de minha ida para a Cenibra – Celulose Nipo-Brasileira (1976), depois para a Riocell (1979), que fundamentaram a forte ênfase que coloquei para a criação de diversos cursos de pós-graduação em tecnologia de celulose e papel no Brasil (UFV – Universidade Federal de Viçosa, em 1977; USP – Universidade de São Paulo, em 1981; UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, em 1990; e cursos de especialização em nível de *latu-sensu* pela ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, a partir de 1988).

A maior de todas as oportunidades para que os engenheiros agrônomos silvicultores e depois os engenheiros florestais passassem a

se dedicar aos estudos de qualidade da madeira para melhores desempenhos industriais surgiu com as fundações do IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (1968), da FUPEF – Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná (1971) e da SIF – Sociedade de Investigações Florestais (1974). Nessas épocas, as principais empresas de produção de celulose e papel (Riocell, Suzano, Aracruz, Ripasa, Champion, Klabin, Papel Simão, etc.), chapas e painéis de madeira (Duratex, Eucatex, etc.), bioenergia a partir de carvão vegetal (Acesita, Mannesmann, Belgo-Mineira, etc.), dentre outros tipos de industrializações, rapidamente se associaram a esses institutos de pesquisas florestais.

Em terrenos tão férteis para se buscar a integração floresta-indústria, coube ao binômio IPEF/ESALQ as primeiras e bem-sucedidas articulações para que isso acontecesse, valendo-se dos sonhos de madeira mais homogênea e performante dos seus associados: o fator alavancador para isso foi, portanto, a qualidade da madeira. Isso pode ser atestado pelas dezenas de publicações técnicas no início da vida do IPEF (décadas dos 60's, 70's e 80's). Alguns desses eventos foram absolutamente históricos e de altíssima relevância para alavancagem dessa integração, onde sempre destacarei o entusiasmo do mestre Barrichelo para que isso tivesse sucesso.

As décadas dos anos 70's e 80's foram extremamente produtivas para mim e para as equipes com as quais trabalhei na ESALQ, Cenibra e Riocell. Conjuntamente a pessoas altamente qualificadas nessas organizações, conseguimos produzir uma enorme quantidade de trabalhos e artigos técnicos sobre qualidade da madeira, não apenas para *Eucalyptus*, mas também para espécies de *Pinus*. Minha paixão pelo tema era tão grande que ministrei diversos cursos sobre "Qualidade e Estrutura da Madeira", que foram alguns dos primeiros cursos orientados à qualidade da madeira destinados à produção de celulose e papel no País. Esses cursos foram ministrados através da ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel; ESALQ – USP; UFV – Universidade Federal de Viçosa; IPT – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais através do CTCP – Centro Técnico de Celulose e Papel.

Dentre esses cursos pioneiros, eu destacaria os seguintes:

1977/1979: Disciplina "Qualidade da Madeira" – curso de mestrado em tecnologia de celulose e papel da UFV – Universidade Federal de Viçosa

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ufv/02.%20Qualidade%20da%20Madeira.%201977.1979.pdf

1977: Módulo "Estrutura e Qualidade da Madeira" – curso de Fabricação de Celulose da ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ufv/01.%20Estrutura%20da%20Madeira.%201977.PDF

1981: Disciplina "Qualidade da Madeira" - curso de pós-graduação da USP – Universidade de São Paulo, uma iniciativa conjunta entre ESALQ; Escola Politécnica e Riocell

1983: Módulo "Estrutura e Qualidade da Madeira" - I Curso Pan-americano de Celulose e Papel organizado pelo CTCP – Centro Técnico de Celulose e Papel do IPT/São Paulo

1984: Curso "Estrutura e Propriedades Físicas da Madeira" – organizado pela ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/1984_O_Papel_Curso_Madeira.pdf

De qualquer forma, havia muito entusiasmo e vontade de se criar uma indústria forte no Brasil e grande paixão pela madeira e pelos eucaliptos. Isso ajudou a se criarem alicerces setoriais, junto às fábricas e às áreas florestais do setor de base florestal plantada no Brasil. Fico definitivamente muito feliz e gratificado por encontrar hoje, em posições de destaque nos setores universitário, florestal e de celulose e papel, diversos de meus ex-alunos nesses diversos cursos ministrados ainda nos anos 70's e 80's.

Por outro lado, quando dou uma navegada nas memórias do passado distante, não posso deixar de recordar do início dos anos 70's, quando ainda na ESALQ se podia notar a enorme mobilização de alguns professores e alunos de pós-graduação para maior entendimento acerca da densidade básica das madeiras, produção de matéria seca nas florestas por hectare.ano, relações entre propriedades da madeira e dos produtos com elas fabricados, etc. Os desenvolvimentos em qualidade da madeira foram bastante significativos a partir daqueles anos dourados até os dias presentes. Isso não apenas para celulose e papel, mas também para painéis de madeira, carvão vegetal, lenha energética, produtos serrados, etc.

Meus primeiros aprendizados sobre densidade básica da madeira aconteceram com os professores Mário Ferreira e Luiz Ernesto George

Barrichelo, ambos na gloriosa ESALQ, nos anos 60's. Mário Ferreira era professor e pesquisador de Melhoramento Florestal e Luiz Ernesto Barrichelo de Tecnologia de Celulose e Papel. Ambos passaram a introduzir estudos de densidade básica das madeiras de *Eucalyptus* e *Pinus* em praticamente todas as suas pesquisas com madeiras, pois consideravam essa propriedade como de vital importância para fortalecer o conhecimento sobre qualidade da madeira. Inúmeros outros mestres universitários e seus alunos se somaram para esses tipos de estudos, os quais se propagaram para praticamente todas as universidades e empresas de base florestal nos dias atuais.

Eu mesmo acabei me entusiasmando e aderindo aos estudos em qualidade da madeira, ainda no início de minha carreira no setor. Em parceria com minha estimada amiga professora Dra. Maria Aparecida Mourão Brasil e com o professor Dr. Luiz Ernesto George Barrichelo, publicamos em 1971 e 1972 dois artigos (na verdade o mesmo publicado em duas fontes), que até hoje se constituem nos artigos que publicamos que mais estão referenciados em trabalhos de pesquisa e na literatura técnica setorial no Brasil e América Latina. São eles:

Métodos de determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. C.E.B. Foelkel; M.A.M. Brasil; L.E.G. Barrichelo. O Papel (Agosto): 57 - 61. (1972)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1972_Metodos_OPapel.pdf

Métodos de determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. C.E.B. Foelkel; M.A.M. Brasil; L.E.G. Barrichelo. IPEF (2/3): 65 – 74. (1971)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr02-03/cap04.pdf

Frente a tantas leituras que acontecem até hoje para esses artigos, fica cada vez mais claro para mim que o setor brasileiro de base florestal abraçou a densidade básica da madeira, seja para o melhoramento genético das florestas e de suas madeiras, seja para a melhoria de desempenho no uso industrial da madeira para as mais diversas utilizações.

Recordo-me também que para incentivar o debate sobre Qualidade da Madeira e promover a Integração Floresta-Indústria, o IPEF, em parceria com a Companhia Suzano de Papel e Celulose (1975) e depois com a ABTCP (1978) incentivou e colaborou para a realização de dois eventos pioneiros, ainda nos anos 70's.

O primeiro desses eventos se denominou "Seminário de Integração Floresta-Indústria", tendo acontecido na cidade de Piracicaba/SP em outubro de 1975. Conheçam os excelentes trabalhos ali apresentados conforme tenham paciência para baixarem tão volumoso arquivo com suas 187 páginas de puro conhecimento tecnológico para o setor de celulose e papel, ainda no início de sua fase de crescimento.

Seminário de Integração Floresta - Indústria. IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. 187 pp. (1975)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2011_Seminario%20de%20integra%E7%E3o%20floresta%20ind%FAstria0001.pdf

Na página 5 desse documento, pode-se conhecer mais sobre o que se esperava para qualidade da madeira e da integração floresta-indústria nas palavras verbalizadas no evento pelo Dr. Helládio do Amaral Mello e transcritas no documento, ele que foi e será sempre um dos nomes ícones da silvicultura brasileira.

O outro evento liderado e organizado pelo IPEF em parceria com a ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel aconteceu na cidade de São Paulo, em conjunto ao XI Congresso Anual de Celulose e Papel daquela entidade, em 1978. Também nesse evento foram lançados diversos estudos que permitiram que os técnicos das fábricas desse setor pudessem melhor entender a participação da qualidade da madeira no desempenho dos processos industriais e dos produtos com ela obtidos.

I Congresso Brasileiro sobre a Qualidade da Madeira. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. XI Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. IPEF Boletim Informativo 06(20). 113 pp. (1978)

http://www.ipef.br/publicacoes/boletim_informativo/bolinf20.pdf

Pouco tempo depois, em 1984, foi publicado outro documento que se tornou referência até os dias de hoje para os estudiosos de qualidade da madeira. Nosso estimado amigo e professor da UFV – Universidade Federal de Viçosa – Dr. Benedito Rocha Vital - escreveu e publicou através da SIF – Sociedade de Investigações Florestais o seguinte boletim técnico:

Métodos de determinação de qualidade de madeira. B.R. Vital. Boletim Técnico nº 01. SIF – Sociedade de Investigações Florestais. 23 pp. (1984)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1984_Metodos_determinacao_densidade.pdf

Com tantos fatos históricos relevantes, pode-se afirmar que a partir de meados dos anos 70's a densidade básica da madeira passou definitivamente a fazer parte das avaliações de qualidade da madeira das fábricas de celulose e de outros tipos de produtos madeireiros.

Alguns artigos de extrema importância e que se tornaram bases de agregação de conhecimentos para os estudos de qualidade de madeira surgiram a partir daí, que foram resultantes de escritas de nossos amigos professores da ESALQ/USP, com alguns de seus alunos:

Densidade básica da madeira, melhoramento e manejo florestal. V.R.S. Shimoyama; L.E.G. Barrichelo. IPEF Série Técnica 6(20). 26 pp. (1989)

http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr20/cap01.pdf

Características da madeira de espécies/procedências/árvores superiores e clones de *Eucalyptus* – Revisão aplicada ao melhoramento para produção de pasta celulósica. M. Ferreira. Reunião Clonagem Intensiva. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. 18 pp. (1994)

http://www.ipef.br/publicacoes/reuniao_clonagem_intensiva/cap01.pdf

Tenho ainda a sugerir a vocês mais três trabalhos que publiquei com algumas de minhas equipes de pesquisas, entre os anos de 1985 até 1997, que acabaram por permitir o melhor entendimento de como a densidade básica poderia e deveria ser encarada pelo setor de base florestal. Aquilo que estava se tornando uma espécie de "coqueluche do momento" nos anos 80's, que era usar a densidade básica para explicar qualquer coisa no comportamento das madeiras, ou achar que a densidade básica poderia distinguir o desempenho de madeiras de espécies ou clones muito diferentes, logo foi esclarecido. Também se tornou claro que a densidade básica, apesar de muito importante, não era e não podia ser a única propriedade a definir a qualidade de uma espécie ou tipo de madeira para os fins a que se queriam destinar a mesma.

Os artigos mencionados foram os seguintes:

A busca da qualidade da madeira do eucalipto para celulose através da arvore projetada pelo homem. C.E.B. Foelkel. Simpósio sobre Tendências do Desenvolvimento Florestal Brasileiro. ESALQ – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. (1985)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1985_Engenheirando_qualidade_madeira.pdf

Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. C. Foelkel; E. Mora; S. Menochelli. 6º Congresso Florestal Brasileiro. 21 pp. (1990)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Db%20sua%20verdadeira%20utilidade.pdf

Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel. C. Foelkel. Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos. 08 pp. (1997)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/32%20final.doc

Outro trabalho que definitivamente recomendo a leitura foi o capitaneado pelo estimado amigo e professor da UFV – Universidade Federal de Viçosa - Dr. Ismael Eleotério Pires, e também apresentado na Conferência da IUFRO – International Union of Forest Research Organizations sobre "Silvicultura e Melhoramento dos Eucaliptos", que aconteceu em Salvador/Bahia, em 1997:

Estado de arte do melhoramento genético para qualidade da madeira de eucalipto. I.E. Pires; R.A. Paula. Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos. Volume 3: 186 – 191. (1997)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/1997_Ismael_IUFRO_Salvador.pdf

Finalmente, e com méritos para a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, as metodologias de determinação de densidade básica da madeira e da densidade aparente de cavacos de madeira foram padronizadas e disponibilizadas através do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Surgiram assim, em 2003, depois de amplo debate com a sociedade através de comitês

brasileiros de normalização (CBs), as normas brasileiras para garantir que os diversos atores no Brasil que trabalhem com qualidade da madeira e dos cavacos de madeira pudessem realizar seus testes de acordo com condições padronizadas e definidas por métodos disponíveis oficialmente estabelecidos:

ABNT NBR 11941:2003. Madeira – Determinação da densidade básica. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003)

http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=002494

e

http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99772/000758434.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Método completo disponível como anexo ao final desse documento referenciado)

ABNT NBR 14984:2003. Madeira - Determinação da densidade aparente de cavacos. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003)

http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=002141

Entretanto, ainda que normalizadas e com métodos disponíveis e totalmente documentados, ainda existem muitas não-conformidades na utilização dessas metodologias, mesmo por empresas certificadas pelas normas de sistemas de qualidade da série IS0 9000. Teremos um de nossos próximos capítulos para discorrer sobre os erros e acertos no uso da densidade básica da madeira.

Felizmente, as coisas correram bem para todos nós no Brasil, em especial a partir dos anos 2000, quando o setor de celulose e papel deslanchou em crescimento e hoje é um dos mais proeminentes setores industriais do Brasil, com liderança mundial na produção de celulose branqueada de eucalipto.

Entendo que a partir do início do atual milênio, os epicentros das pesquisas de qualidade da madeira passaram a acontecer no Departamento de Engenharia Florestal da UFV – Universidade Federal de Viçosa e no Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFLA – Universidade Federal de Lavras, onde os estudos se intensificaram tanto para madeiras orientadas para a fabricação de celulose e papel, como para carvão vegetal e bioenergia. Inúmeras dissertações de mestrado e teses de doutorado bem como dezenas de artigos científicos começaram a pipocar nessa temática principalmente derivados de investigações

científicas e tecnológicas nesses dois centros dos conhecimentos, lideradas por professores qualificados e dedicados como a seguir:

- UFV – Universidade Federal de Viçosa: professores Jorge Colodette; José Lívio Gomide; Rubens Chaves de Oliveira; Benedito Rocha Vital; Fernando José Borges Gomes; Deusanilde de Jesus Silva; Angélica de Cássia Oliveira Carneiro; dentre outros.

- UFLA – Universidade Federal de Lavras: professores Paulo Fernando Trugilho; José Tarcísio Lima e Sebastião Rosado, dentre outros.

As coisas se magnificaram em Viçosa a partir do evento organizado pelos professores daquela entidade de ensino e que aconteceu em Belo Horizonte em 2001:

7th Brazilian Symposium on the Chemistry of Lignin and other Wood Components

https://books.google.com.br/books/about/7th_Brazilian_Symposium_on_the_Chemistry.html?id=kD26ngEACAAJ&redir_esc=y

Outro fator alavancador de pesquisas em qualidade da madeira e de intercâmbio tecnológico a nível global têm sido os eventos liderados pela UFV – Universidade Federal de Viçosa e SIF – Sociedade de Investigações Florestais conhecidos como **ICEP – International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp** (Colóquio Internacional em Celulose de Eucalipto). Com os avanços dos estudos sobre biorrefinarias de biomassa, muitos estudos sobre química, qualidade e desconstrução da madeira passaram a acontecer no Brasil e no mundo e os professores da UFV mergulharam fundo nesses estudos. Tenho tido também participação intensa nesses colóquios e alguns deles já estão com as palestras e artigos disponibilizados para *downloading* em alguns websites, principalmente em http://www.eucalyptus.com.br:

First ICEP – International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp – Viçosa – Brasil - (2003)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_julho11.html#um

Second ICEP – International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp – Concepción – Chile - (2005)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_agosto11.html#um

Third ICEP – International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp – Belo Horizonte – Brasil - (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_jul12.html#tres (Apresentações orais)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_set12.html#tres (Apresentações em pôsteres)

Fourth ICEP – International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp – Concepción - Chile - (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_out12.html#cinco

Fifth ICEP – International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp – Porto Seguro - Brasil - (2011)

http://www.lcp.ufv.br/5thICEP/apresentacao.php?lang=em

Sixth ICEP – International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp – Colonia del Sacramento - Uruguay - (2013)

http://www.fing.edu.uy/iiq/6thicep/en/Pages/home.html

Seventh ICEP – International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp – Vitória - Brasil - (2015)

http://www.7thicep.com.br/

Existem atualmente diversas outras equipes muito qualificadas em diversas universidades brasileiras, dentre as quais destaco as equipes que contemplam (dentre outros tantos mais) os seguintes grupos de pesquisadores (e de seus inúmeros alunos de graduação e pós-graduação):

- USP – Universidade de São Paulo: professores José Otávio Brito; Francides Gomes da Silva Júnior; Luiz Ernesto George Barrichelo; Mário Tomazello Filho; Antônio Aprígio da Silva Curvelo; Carlito Calil Júnior; José Mangolini Neves; dentre outros.

- UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho": professor Cláudio Ângeli Sansígolo.

- UFSM – Universidade Federal de Santa Maria: professores Clóvis Roberto Haselein; Élio José Santini, Dorotéia Maria Marins Flores, e Cristiane Pedrazzi; dentre outros.

- UFPel – Universidade Federal de Pelotas: professores Gabriel Valin Cardoso; Darci Alberto Gatto; Merielen de Carvalho Lopes e Leonardo da Silva Oliveira; dentre outros.

- UFPR – Universidade Federal do Paraná: professores Umberto Klock, Antônio R. Higa e Setsuo Iwakiri, dente outros.

- UFRB – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia: professores José Mauro de Almeida e Andréia da Silva Magaton.

Complementados por diversos pesquisadores e técnicos de institutos de pesquisa, como:

- Embrapa Florestas: José Carlos Duarte Pereira e José Alfredo Sturion, dentre outros.

- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: Maria Luiza Ottero D'Almeida

Além disso, temos muitas equipes de pesquisa industrial em fábricas de celulose, papel, painéis de madeira, carvão vegetal, produtos serrados, etc. Dentre esses qualificados técnicos do setor de base florestal que possuem inúmeros estudos de qualidade da madeira para os eucaliptos, eu destacaria por ordem alfabética, alguns relevantes, em função dos inúmeros trabalhos por eles publicados sobre esse tema, alguns deles já destacados anteriormente:

- Alfredo Mokfienski

- Augusto Fernandez Milanez

- Braz José Demuner

- Carlos Alberto Busnardo

- Ceslavas Zvinakevicius

- Edvins Ratnieks

- Ergílio Cláudio-da-Silva Júnior
- Fernando de Léllis Garcia Bertolucci
- Jorge Vieira Gonzaga
- Leonardo de Caux
- Maria José de Oliveira Fonseca
- Reinaldo Herrero Ponce
- Teotônio Francisco de Assis
- Vail Manfredi
- Vera Maria Sacon

Somem-se a esses nomes os de pesquisadores de outras instituições e empresas e as centenas de alunos de pós-graduação com suas teses e dissertações sobre qualidade da madeira que formaremos com isso uma legião enorme de estudiosos sobre esse importante tema para o setor de base florestal. Geralmente, em praticamente todos esses estudos, a densidade básica aparece com relevância e destaque nos estudos da madeira. Definitivamente, o Brasil pode se orgulhar acerca do que tem feito em termos de qualidade da madeira dos eucaliptos e das consequências que isso tem trazido para o melhor uso industrial de suas madeiras.

A partir dos fundamentos e dos passos seguros dessa caminhada histórica e com os excelentes níveis de qualificação que temos hoje na engenharia florestal brasileira, não tenho dúvidas que muita coisa aconteceu, mas que ainda poderão acontecer muitas coisas mais. A qualidade da madeira deverá crescer em importância, novos métodos rápidos deverão surgir e as amostragens de árvores, toras e cavacos também poderão melhorar em termos de representatividade.

Caso isso não venha a acontecer, estaremos ainda mantendo um enorme número de avaliações e de análises, porém com o risco de estarmos, em muitos casos, cometendo alguns erros de amostragens e de precisão de análises, que afetam sobremaneira as decisões sendo tomadas. Os dois tipos mais comuns de erros em tomadas de decisão

que costumam acontecer em função dessa falta de cuidados nas amostragens e na precisão de análises são os seguintes:

- Rejeição de uma madeira de ótima qualidade, por acreditar que ela não seja boa, em função das amostragens mal planejadas e de análises insuficientes.

- Aceitação como sendo adequada uma madeira (de um clone, de um lote de toras ou de cavacos), quando ela não é, em função das mesmas causas anteriores.

Enfim, temos tempo e competências para permitir ganhos adicionais em processos de tomada de decisões. Por isso, só posso acreditar que o futuro nos reservará cada vez mais acertos e menos erros. Entretanto, teremos sempre desafios e ameaças nesse longo caminho em direção ao futuro. Alguns serão muito parecidos àqueles que já enfrentamos nessas últimas cinco décadas de história da qualidade da madeira no Brasil.

Acredito ainda que o setor florestal precisa melhorar ainda mais seus processos de predição da qualidade da madeira para melhorias de desempenho operacional de suas fábricas. Também terá como consequências a possibilidade de desenvolver e separar madeiras destinadas a produtos diferenciados, o que possibilitará a ampliação dos portfólios de produtos fabricados com madeiras de eucaliptos nas fábricas atuais e nas futuras e modernas biorrefinarias.

==========

==========

ACERCA DA MADEIRA E DA SUA QUALIDADE

A madeira produzida pelas árvores de eucalipto é uma estrutura complexa e organizada e que tem sido aproveitada pela humanidade para inúmeras finalidades. Com a crescente importância dessa madeira como matéria-prima industrial, os estudos tecnológicos e científicos, procurando melhor caracterizar suas qualidades, têm sido cada vez mais realizados e seus resultados disponibilizados na literatura técnica florestal. Atualmente, em inúmeros países do mundo, em especial no Brasil, existe uma grande oferta de teses, dissertações, palestras, artigos, cursos e websites especializados, procurando abordar diversos temas, os quais podem ser mais genericamente denominados de "Qualidade da Madeira".

Qualidade de Madeira (QM) não é algo tão simples de se definir, especificar e controlar, em função da própria variabilidade natural da madeira e dos produtos que com ela se desejem produzir. Muitas características e propriedades das madeiras dos eucaliptos podem ser determinadas para servirem de referência acerca do potencial e do possível desempenho das mesmas nos diversos processos onde são utilizadas. Dentre as utilizações principais dessas madeiras de eucaliptos destacam-se as produções de: celulose e papel, carvão vegetal, lenha e biomassa energética, produtos serrados, painéis e chapas de madeira,

madeira tratada (postes, moirões, estacas, vigas, etc.) e produtos de maior valor agregado.

As madeiras dos eucaliptos costumam frequentemente serem avaliadas em relação às suas características anatômicas, físicas, químicas, acústicas, elétricas, mecânicas, isolantes e muitas outras mais. Algumas dessas avaliações são complexas e dependem de tempo e de recursos sofisticados em equipamentos e em pessoas qualificadas. Outras são rápidas, simples, e com relativo grau de precisão e certeza. Enfim, dentro da enorme gama de opções para se medir qualidade da madeira, cada tipo ou setor industrial tem buscado as opções de mensuração dessa qualidade e que elas possam oferecer indicações rápidas, eficientes e seguras para as tomadas de decisão dos usuários dessa matéria-prima florestal. Dentre todas essas propriedades e características disponíveis para se ensaiar, a que mais se destaca pela ampla utilização é a densidade básica. Isso pela simplicidade dos testes e pelas inúmeras correlações que seus valores guardam com muitas outras propriedades das madeiras.

A densidade básica é uma propriedade fácil de ser medida em uma amostra de madeira. Entretanto, para se ter um valor médio representativo de uma população de árvores, de toras ou de cavacos, há que se entender muito bem a variabilidade dessa propriedade no lote ou na população. Com isso, pode-se determinar o número mínimo de amostras a serem tomadas em função do erro que se deseja cometer nas avaliações. Quanto maior for a variabilidade dos valores de densidade básica entre as medições, maior o número de amostras a serem analisadas. Quanto menor for o erro que se desejar cometer para tomadas de decisões mais acertadas, idem: maior número de amostras a serem coletadas e avaliadas.

Existem diversas maneiras de se medir a densidade de uma madeira, porém a mais comum e difundida é a determinação da densidade básica. Qualquer medida de densidade se baseia na relação entre peso ou massa por um determinado volume do material. O peso pode ser o atual (como tal), o saturado (encharcado de água) ou o absolutamente seco (ou seco em estufa a 105±3ºC). Já o volume pode ser o atual (como tal) ou saturado (madeira úmida, encharcada com água, mas não necessariamente em seu máximo teor de umidade).

Deve ficar claro desde esse momento, que a madeira se encontra bastante úmida nas árvores vivas, com seus troncos repletos de seiva bruta, que está sendo capturada pelas raízes e transportada para as diversas partes das árvores. Tão logo as árvores sejam colhidas pelo abate das mesmas, a madeira começa a perder água e essa perda começa a ser acompanhada por uma contração da mesma, a partir de

um dado teor de umidade. Essa retração, contração ou retratibilidade corresponde a uma alteração de volume, sem consequente mudança no peso seco de material lenhoso.

Define-se "densidade básica da madeira" como sendo a relação entre o peso absolutamente seco de madeira pelo volume saturado em água da amostra. Estaremos, portanto com um tipo de volume que mais se aproxima do volume na árvore viva. Já o peso seco estará mais para o peso que se disponibilizará aos processos industriais, quando as determinações de densidade básica forem realizadas em toras e cavacos industriais (após algumas semanas após o abate das árvores – TPC ou Tempo Pós Corte). No caso de amostras colhidas de árvores vivas ou recém-abatidas, a densidade básica expressará exatamente o peso seco de madeira por volume de madeira na árvore viva e saturada em água.

As unidades mais comumente utilizadas pelo setor de base florestal para expressar a densidade básica da madeira são: g/cm^3; t/m^3 e kg/m^3.

Muito embora se fale e se discuta muito sobre a necessidade de se medir e de se especificar a qualidade da madeira do eucalipto para seus usos industriais, a verdade é que em muitos casos, essa madeira entra nas fábricas de forma relativamente livre e com apenas alguns trabalhos preliminares para tentar homogeneizar a densidade básica através misturas de madeiras distintas ("mix" de madeiras de clones diferentes, de regiões diferentes e com idades diferentes), ou seja, com densidades básicas diferentes. Discutiremos em capítulos futuros do Eucalyptus Online Book sobre as vantagens e desvantagens desses controles simplificados de densidade básica.

O que importa saber no momento é que os controles de qualidade da madeira podem ser definitivamente melhorados, embora muita coisa já tenha sido feita para minimizar a variabilidade das madeiras que abastecem as unidades industriais. Alguns fatores operacionais e técnicos dificultam essa maior seleção e predição de qualidade da madeira, entre os quais estão os seguintes:

- A madeira é consumida em enormes quantidades, dificultando assim sistemas de controle mais eficientes e fidedignos em função da ampla variabilidade que os diversos tipos de suprimento apresentam.

- A qualidade da madeira vai-se alterando com o tempo pós-corte, ou seja, com o armazenamento de toras e cavacos (no campo, nas fábricas e nas pilhas de estocagem).

- As florestas clonais, apesar de garantirem muito maior uniformidade e homogeneidade de qualidade da madeira, ainda assim mostram madeiras com amplas faixas de variação de qualidade. Isso é particularmente afetado pela relação genótipo/ambiente e pela idade das florestas. O efeito ambiental é significativo: um mesmo clone pode ter qualidade de madeira diferente conforme a região ou sítio onde vier a ser plantado.

- Existe uma tendência de se trabalhar com florestas cada vez mais jovens no País, buscando antecipar receitas e reduzir o ciclo financeiro no negócio florestal. No Brasil, existem unidades industriais consumindo madeiras de florestas de eucaliptos já com idades entre 5 a 6 anos (ao invés de 7 ou 8), mas há os que antecipam idades ainda mais jovens (4,5 a 5 anos) com a adoção de técnicas de biotecnologia florestal. A idade das árvores tem importante efeito sobre a qualidade das suas madeiras: teor de extrativos, densidade básica, espessura das paredes celulares, teor de celulose, teor de lignina, fração parede das fibras, etc. Caso esses pontos técnicos não sejam considerados, as perdas econômicas podem se tornar relevantes.

- As operações de colheita florestal e manuseio de toras podem causar misturas incontroladas de madeiras com qualidades distintas quanto a: clones, espécies, idades, diâmetros, sanidade, contaminantes, etc.

- A madeira tem sido um produto escasso para algumas empresas, o que implica na aquisição de madeiras de terceiros, as quais não são tão bem controladas ou melhoradas em termos de suas qualidades. Essa escassez tem levado também ao consumo de madeiras de árvores mais jovens, de florestas próprias, numa clara redução de estoques da poupança para uso futuro.

Essas e outras causas têm motivado o setor de base florestal plantada a melhorar a eficiência e a rapidez dos testes de qualidade da madeira, de forma a permitir melhoria no atendimento e suprimento das fábricas e nos produtos sendo fabricados com essa madeira. Temos acompanhado diversos exemplos muito positivos em empresas do setor,

algumas se valendo de métodos rápidos para pré-avaliação de lotes de madeira, outras associando a medição de qualidade da madeira ao próprio inventário florestal. Com isso, torna-se possível trabalhar com predições (aproximações de desempenho) da qualidade da madeira, para otimização do abastecimento e consumo de madeiras pelas unidades fabris.

Em geral, ainda se encontram muitas empresas realizando avaliações envolvendo muitos erros de amostragens ou mesmo de determinações nos ensaios laboratoriais. No capítulo seguinte desse nosso livro virtual, dedicaremos toda a atenção possível para lhes mostrar os erros mais comuns que acontecem, com sugestões de melhorias. Sugiro que busquem a leitura desse capítulo e de outros que fazem parte dessa série.

Na qualidade de um técnico do setor que trabalha com qualidade da madeira desde o ano de 1967, tenho acompanhado, como vocês viram na seção anterior, a rica história desse tema no Brasil, com seus desafios e conquistas. Também tenho atuado em universidades e em empresas para ajudar no desempenho e na seleção das melhores madeiras para uso industrial. Em geral, tenho notado que muitos dos problemas são resultantes ainda da falta de integração entre as áreas produtoras e consumidoras de madeira, ou seja, da falta da tal de integração floresta-indústria. Existe ainda muita omissão quando se fala em qualidade da madeira. Também existem muitos "acreditando que estão fazendo o máximo dos máximos", mas apenas possuem números que não refletem a realidade dos fatos: ou por amostragens deficientes e insuficientes, ou por erros metodológicos de avaliações.

A madeira é o principal item na composição dos custos de fabricação de diversos de seus produtos derivados: celulose, painéis de madeira, madeira serrada, carvão vegetal, lenha, etc. O controle e o entendimento maior das causas de seu consumo específico precisam por isso mesmo serem priorizados.

Em geral, a qualidade da madeira só se torna importante e notada, quando algum problema operacional relevante para o processo ou para o produto passa a acontecer. Quase sempre, a madeira passa a ser responsabilizada por fenômenos que muitas vezes estão distantes de serem de sua responsabilidade. Os mais frequentes são os seguintes: consumo específico de madeira, desempenho do processo, qualidade do produto, gargalos operacionais, consumo de outros insumos como energéticos ou químicos, etc.

Quando um programa de qualidade da madeira existe de forma organizada e integrada nas empresas de base florestal, os resultados acontecem com frequência e as chances de sucesso do negócio são

maiores. Algumas vantagens importantes podem resultar do melhor trabalho integrado pela qualidade de madeira, tais como:

- Ω Minimização e estabilização do consumo específico de madeira;

- Ω Aumento de produtividade e desempenho das instalações industriais (eficiência e continuidade operacional);

- Ω Estabilização ou diferenciação da qualidade dos produtos sendo fabricados;

- Ω Melhoria dos níveis de sucesso no melhoramento genético florestal, através do desenvolvimento de clones ou espécies mais adequadas para determinado processo ou produto;

- Ω Melhoria na utilização de um recurso escasso que é a madeira, com redução de perdas e desperdícios nas florestas e nas fábricas;

- Ω Melhoria significativa nos resultados econômicos do negócio, com aumento nas margens de contribuição, na produção total, na produção vendável de produtos com qualidade e nos níveis de produtividade;

- Ω Melhoria nos entendimentos acerca das relações entre pesos e volumes de madeira que entram nas fábricas. Em geral, a madeira é comprada com base em volumes, sendo também alimentada em reatores, queimadores e digestores com base em volume de toras ou de cavacos. O volume é variável em função do nível de umidade da madeira (devido contração do material). O peso absolutamente seco de madeira por unidade de volume (densidade) também é afetado pela contração da madeira e pelo seu estado de deterioração. Já o peso atual tal qual é principalmente afetado pelo teor de umidade da madeira.

Enfim amigos, a variabilidade e as causas de variabilidade são numerosas e poderosas. Cabe aos gestores das fábricas e das florestas

controlar e domar essa variabilidade. Entretanto, nada pode ser controlado se não for medido – e bem medido.

As fábricas sonham com homogeneidade de suprimento, pois seus gestores detestam ter pesadelos por causa de grandes variabilidades no suprimento de suas madeiras. A tarefa é difícil, mas não impossível. Em um dos capítulos passados desse nosso livro virtual, escrevi bastante sobre a gestão dessa variabilidade da qualidade da madeira.

Vocês podem ler, se quiserem me honrar com a leitura desse capítulo publicado em 2009:

Propriedades papeleiras das árvores, madeiras e fibras celulósicas dos eucaliptos. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 14. 111 pp. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT14_PropPapeleiras.pdf

Dentre todas as características e propriedades da madeira que possuem efeito direto sobre desempenho de processos industriais, consumo específico de madeira e qualidade de produtos de madeira, a densidade básica é uma das mais importantes. Por isso mesmo, ela tem sido a mais utilizada de todas as propriedades usadas para monitorar e controlar a qualidade das madeiras industriais. Ela não é definitivamente a única propriedade que deva ser avaliada e monitorada, mas não há dúvidas de que se algo precisa ser feito, pode-se começar exatamente por ela. Isso é válido para produção de celulose e papel, carvão vegetal, biomassa energética, painéis e chapas de madeira, produtos serrados de madeira, etc.

As razões para a quase universalidade da adoção da densidade básica como parâmetro preferencial de avaliação de qualidade da madeira são as seguintes;

Facilidades de determinação, seja por métodos clássicos ou por métodos rápidos de predição com ela correlacionados;

Metodologias consagradas e de relativa precisão;

Correlações da densidade básica com inúmeras outras características de qualidade da madeira;

Alta herdabilidade genética, podendo ser utilizada com sucesso no melhoramento florestal;

Responde a técnicas de manejo florestal: espaçamento, rotação, sítio de crescimento da floresta, fertilização, controle de pragas e doenças, irrigação, etc.;

Responde a condições ambientais enfrentadas pelas florestas, o que permite maior predição dos efeitos na qualidade da madeira de florestas com desenvolvimento em condições ambientais extremas (déficit hídrico ou térmico, etc.);

Oferece indicações acerca do desempenho de inúmeros processos fabris;

Oferece indicações sobre a qualidade do produto sendo fabricado;

Permite calcular a produtividade da floresta em massa ou peso seco por hectare, o que é de altíssima relevância para estudos de consumo específico de madeira e produtividade equivalente da floresta em termos de produtos industriais (celulose, painéis, carvão vegetal, etc.);

Permite otimizar o consumo específico de madeira;

Relaciona-se ao desempenho de diversas operações florestais, como colheita, manuseio e transporte, tempo pós-corte (perda de peso por secagem natural), etc.;

Também deve ficar muito claro que a simples determinação da densidade básica não é a solução de todos nossos problemas. Existem outras características da madeira que podem afetar o desempenho da

mesma em processos industriais, algumas dessas características sequer relacionadas à densidade básica.

A densidade básica é uma propriedade da madeira que é resultante de muitas outras – ela resulta de inúmeros outros fatores de qualidade da madeira, como teor de vasos, teor de células de parênquima, porosidade, espessura da parede celular, teor de extrativos, etc., etc. Em 1990, escrevemos em equipe um artigo apresentado no Congresso Florestal Brasileiro em Campos do Jordão/SP, onde mostramos de forma clara e definitiva, que madeiras com mesma densidade básica, mas de clones ou de espécies distintas de eucaliptos, podem perfeitamente terem comportamentos muito diferentes para produção de celulose. Já lhes apresentei o mesmo anteriormente, mas sempre é bom enfatizar a leitura desse artigo.

Portanto, encontrem o artigo em:

Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. C. Foelkel; E. Mora; S. Menochelli. 6º Congresso Florestal Brasileiro. 21 pp. (1990)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Db%20sua%20verdadeira%20utilidade.pdf

Diversos setores industriais que utilizam a madeira do eucalipto como matéria-prima adotam a medição da densidade básica como ferramenta de controle. Cada unidade industrial acaba assim definindo faixas de valores desejados de densidade básica, da mesma forma que orientam o melhoramento genético florestal sobre a qualidade ideal da madeira desejada para esses programas de melhoramento. As amplitudes de valores desejáveis de densidade básica variam entre empresas e setores. Isso porque existem relações importantes entre os valores de densidade básica e as tecnologias industriais disponíveis, as qualidades desejadas nos produtos e as restrições ou gargalos operacionais nas fábricas.

Isso explica a razão de que algumas fábricas do setor brasileiro de celulose e papel preferem trabalhar com amplitudes de densidade básica da madeira entre 0,46 g/cm³ a 0,50 g/cm³ e outras entre 0,48 a 0,52.

Já em Portugal, as fábricas trabalham preferencialmente com a madeira do *Eucalyptus globulus*, em geral com densidade básica acima de 0,55 g/cm³. Com isso, conseguem ganhos em produtividade

equivalente a celulose nas florestas (IMACel) e redução nos consumos específicos de madeira, quando expresso o primeiro em m³ madeira/tonelada seca ao ar de celulose.

O *Eucalyptus globulus* é o principal exemplo de espécie florestal eucalíptica que combina altas densidades básicas (para fabricação de celulose e papel) com altos teores de holocelulose (especialmente hemiceluloses), baixos teores de lignina e altas relações entre os grupamentos Siringila/Guaiacila da sua lignina. Dessa forma, uma madeira de *E. globulus* com densidade básica 0,55 g/cm³ não tem o mesmo desempenho industrial para se fabricar celulose e papel, quando comparada a madeiras de mesma densidade básica, mas de *Eucalyptus urophylla* ou de *E. camaldulensis*. Portanto, vale a pena repetir: mesmos valores de densidade básica, mas para madeiras de clones ou de espécies ou idades diferentes não significam madeiras com mesmo desempenho industrial ou mesma qualidade de produtos resultantes. Isso é mais válido para celulose e papel e menos válido para produção de chapas duras de madeira, por exemplo.

Apesar de existir esse tipo de dificuldades para interpretar a qualidade e o desempenho das madeiras apenas com base na densidade básica, uma coisa é muito certa para quase todas as utilizações industriais da madeira: ela se relaciona muito ao consumo específico de madeira para diversos processos industriais: celulose, painéis, chapas, carvão vegetal, lenha energética, etc.

Fábricas brasileiras de celulose e papel (integradas) apreciam trabalhar com madeiras com densidade básica entre 0,4 a 0,6 g/cm³, combinando as mesmas em "mixes" de madeiras com densidade básica média próxima de 0,5 g/cm³. Clones intraespecíficos de *E. grandis* possuem densidade básica de madeira na faixa 0,4 a 0,45 g/cm³. Já clones de *E. globulus* e *E. urophylla* puros possuem densidade básica de suas madeiras em valores médios muito provavelmente acima de 0,55 g/cm³.

As fábricas de painéis de madeira procuram trabalhar com densidades básicas entre 0,42 a 0,48 g/cm³, muito em função da densidade das chapas e painéis sendo produzidos e da razão de compactação das partículas ou fibras para se atingir as especificações do painel. As razões de compactação desses painéis variam entre 1,3 a 1,6. Caso a densidade básica da madeira seja muito elevada e próxima à densidade do painel em fabricação, não haveria formas de se compactar o colchão sendo formado nas razões de compactação requeridas. Com isso, o painel ou a chapa ficariam fracos e friáveis, a menos que se aumentasse a densidade dos mesmos, com maior consumo de madeira por metro cúbico de painel. Esse ficaria mais pesado e consumindo mais

madeira do que necessário. Também os clientes poderiam não ficar satisfeitos pelo maior peso do painel por unidade de volume.

Praticamente todas as fábricas de celulose utilizam o indicador IMACel como parâmetro de demonstração da produtividade de suas florestas em toneladas equivalentes de celulose.

- IMA = Incremento Médio Anual de uma floresta, em volume sólido de madeira sendo produzido (m³/hectare.ano)
- IMACel = Incremento Médio Anual de uma floresta, expresso em toneladas equivalentes de celulose não-branqueada na saída do digestor (toneladas absolutamente secas de celulose/hectare.ano)

Vejam dois exemplos de cálculos:

♣ Floresta de eucalipto número 01:

IMA = 50 m³ de madeira sem casca/hectare.ano

Densidade básica da madeira = 0,45 t a.s./m³

Rendimento da polpação kraft: 54%

IMACel 01 = (50 m³/hectare.ano) . (0,45 t a.s. madeira/m³) . (0,54 t a.s. celulose/t a.s. madeira)

IMACel 01 = **12,15 t a.s. celulose equivalente/hectare.ano**

♣ Floresta de eucalipto número 02:

IMA = 47 m³ de madeira sem casca/hectare.ano

Densidade básica da madeira = 0,50 t a.s./m³

Rendimento da polpação kraft: 51,5%

IMACel 02 = (47 m³/hectare.ano) . (0,50 t a.s. madeira/m³) . (0,515 t a.s. celulose/t a.s. madeira)

IMACel 02 = **12,10 t a.s. celulose equivalente/hectare.ano**

Portanto, ambos os valores de IMACel são equivalentes. Entretanto, as decisões precisam ser cautelosas, pois podem existir restrições na fábrica em relação aos fluxos de alimentação dos cavacos; em relação ao teor de sólidos secos a queimar na caldeira de recuperação; ou em relação à disponibilidade de licor branco para a polpação kraft, etc.

As decisões ainda precisam levar em conta outros pontos críticos e vitais, tais como:

- O incremento médio anual da floresta deve ser o de toras isentas de casca, pois na fabricação de celulose as toras são descascadas para aumento do rendimento dos digestores, redução do consumo de álcali ativo e melhoria na qualidade da celulose.

- Existem grandes perdas de madeira na colheita florestal e esses valores de perdas podem atingir facilmente 2 a 4%, ou mesmo serem maiores do que isso.

- Existem perdas e desvios de uso da madeira que entra no abastecimento das fábricas de celulose. São tipos de madeira que acabam sendo destinados para produção de bioenergia nas caldeiras de biomassa. Também ocorrem perdas de fibras, que reduzem a produção de celulose depurada, mesmo da polpa não-branqueada (na depuração e lavagem, por exemplo).

Essas perdas totais de madeira podem facilmente atingirem valores entre 4 a 8%, ou serem ainda maiores. Cuidado, portanto, pois seus valores de IMACel podem estar se referindo à sua floresta em pé, e não à sua fábrica como ela é na realidade. São por essas e outras razões, que muitas empresas estabelecem seus projetos de plantações florestais com base em dados calculados de IMACel e acabam sendo surpreendidas com a falta de madeira para funcionar a fábrica em sua capacidade projetada.

As mesmas considerações aqui enunciadas podem ser adaptadas para outros tipos de utilizações industriais da madeira de eucalipto, como carvão vegetal, painéis de madeira, etc.

Por exemplo, no caso das fábricas de painéis de madeira do tipo MDF (chapas de fibras ou de madeira reconstituída) podemos estabelecer o IMAChapas, que relacionará o volume de chapas de fibras que estaria sendo produzido pela floresta plantada de eucalipto por hectare.ano. Na fabricação dos painéis MDF a casca das toras pode ser incorporada na fabricação, não sendo necessário o descascamento das toras.

Vejam os exemplos a seguir:

- ♣ Floresta de eucalipto número 01:

IMA = 55 m³ de madeira com casca/hectare.ano

Densidade básica das toras (com casca) = 0,40 t a.s./m³

Consumo médio de madeira por m³ de painel: 0,65 t a.s./m³ de painel

IMAChapas 01 = (55 m³/hectare.ano) . (0,40 t a.s./m³) : (0,65 t a.s./m³ de painel)

IMAChapas 01 = **33,8 m³ de painel equivalente/hectare.ano**

- ♣ Floresta de eucalipto número 02:

IMA = 50 m³ de madeira com casca/hectare.ano

Densidade básica das toras (com casca) = 0,44 t a.s./m³

Consumo médio de madeira por m³ de painel: 0,65 t a.s./m³ de painel

IMAChapas 02 = (50 m³/hectare.ano) . (0,44 t a.s./m³) : (0,65 t a.s./m³ de painel)

IMAChapas 02 = **33,8 m³ de painel equivalente/hectare.ano**

Mais uma vez, foram encontrados valores semelhantes de incrementos médios anuais de florestas, em equivalência aos produtos sendo fabricados. Antes de se tomarem as decisões para seleção dos materiais, precisam-se vasculhar as possíveis limitações que possam

ocorrer na fábrica de painéis MDF quanto às alterações na qualidade da madeira, no teor de casca das toras, etc., etc. Também as perdas de madeira e casca nas operações florestais e industriais precisam ser definidas para os cálculos de dimensionamento de suprimento e dos planos de novas áreas de plantações florestais. Essas definições e tomadas conscientes e seguras de decisão sempre demandarão a melhor das integrações entra as áreas florestal, industrial, comercial e estratégica dessas empresas.

Portanto, "mais uma vez reforçada a necessidade da famosa integração floresta-indústria". Apenas para colocar um pouco mais de tempero nessa palavra ***integração***, sugiro a leitura agora de duas palestras que tenho apresentado diversas vezes discutindo sobre isso com alguns dos principais atores do setor:

Integração Floresta/Madeira/Produtos/Clientes: Uma realidade ou uma ficção? C. Foelkel. Website Grau Celsius. Apresentação em PowerPoint: 77 slides. (SD: Sem referência de data)

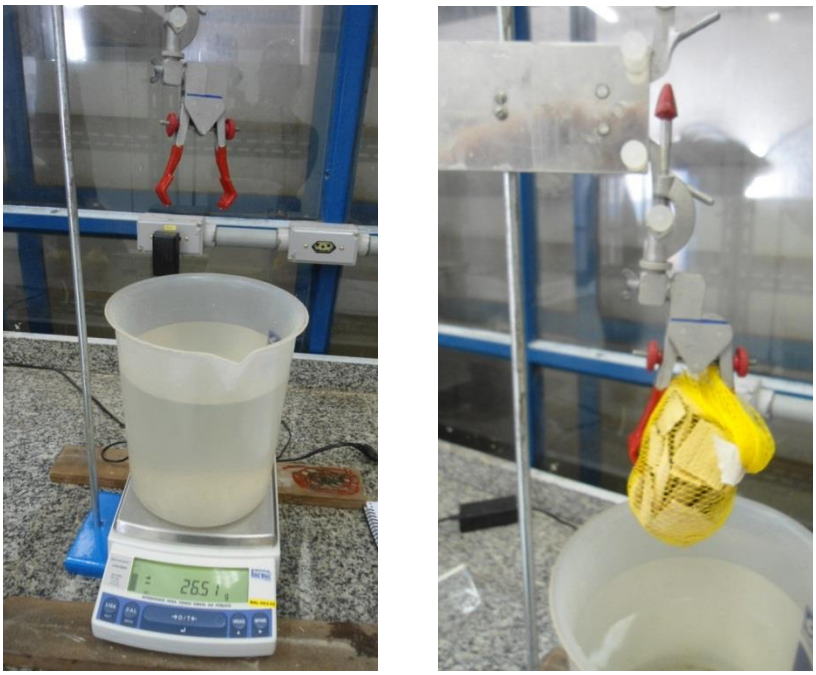
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/Integrando%20Floresta.Madeira.Produtos.pdf

Fibra Longa: Integração Floresta/Madeira/Produtos/Clientes: Uma realidade ou uma ficção? C. Foelkel. Website Grau Celsius. Apresentação em PowerPoint: 63 slides. (SD: Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/FibraLonga_Integrando%20Floresta%20Madeira%20Produtos.pdf

Madeiras e suas qualidades invisíveis nos demonstrativos estatísticos que aparecem nos bancos de dados dos nossos computadores

TIPOS DE MEDIÇÕES PARA DENSIDADE DA MADEIRA



Metodologia para se determinar volume da madeira pelo método da imersão em água (Princípio de Arquimedes)
Fotos: Danila Estevam Alves da Cruz (e equipe Eucatex)

Existem diferentes metodologias e formas de se medir a densidade da madeira. A seleção de qual tipo de densidade será utilizada depende muito mais da empresa ou do setor industrial e das relações que esse tipo possa mostrar com situações práticas vividas. Conforme a cultura ou a história da empresa, poderemos encontrar um ou mais métodos sendo aplicados. Portanto, na seleção do tipo de densidade, é muito importante se conhecerem as relações que o valor obtido apresenta com diversas situações práticas onde se exigem controles ou monitoramentos de operações.

Toda densidade é definida como uma relação entre massa (ou peso, mais comumente assim referido no setor florestal) pelo volume de um determinado material. No nosso caso da indústria de base florestal, o material pode ser madeira, casca de toras, misturas de madeiras e cascas, ou cavacos isentos ou não de cascas. As unidades mais comumente utilizadas são: g/cm³; t/m³ e kg/m³.

Também é comum se ouvir falar em Massa Específica e em Peso Específico (em inglês, "Specific Gravity"), sendo que alguns autores preferem esses termos ao termo densidade.

Define-se Massa Específica à relação entre a densidade de um composto ou material pela densidade de outro composto referencial. Em geral, o composto-referência tem sido a água que apresenta uma densidade praticamente igual a 1 g/cm³ ou 1 t/m³ a 4ºC (https://pt.wikipedia.org/wiki/Densidade). Os valores de densidade da madeira e sua massa específica acabam sendo numericamente iguais, desde que se trabalhe com a densidade da água igual a 1. Em termos práticos, adota-se a densidade dessa água igual a 1 g/cm³, mesmo quando se trabalham com temperaturas maiores que isso (entre 15 a 35ºC) em inúmeras situações no setor. Os erros cometidos são pequenos e assimiláveis.

Conhecidas essas definições e denominações, importa agora se conhecerem quais os tipos de densidade de madeira que normalmente se utilizam no setor de base florestal.

São elas as seguintes:

- **Densidade básica**

Um dos mais populares e recomendados tipos de medição de densidade da madeira é a densidade básica, que é calculada pela relação:

Db = (Peso a.s., ou absolutamente seco do corpo de prova) : (Volume saturado em água)

Peso a.s. = peso obtido pela secagem do corpo de prova até valor constante, em estufa a 105±3ºC

Volume saturado: volume apresentado pela peça de madeira encharcada em água, em teores de umidade acima do ponto de saturação de fibras (que pode estar acontecendo no momento onde toda a água livre que escapa por gravidade deixou a madeira). Nesse ponto de umidade, a madeira ainda não está sofrendo contrações volumétricas, o que passa a acontecer conforme a peça seca e começa a ter seu volume alterado. Costuma-se aceitar na prática (mas nem sempre é verdadeiro), que esse ponto acontece quando a peça de

madeira úmida afunda e não mais flutua quando colocada dentro da água.

A densidade básica costuma ser popular no setor florestal porque o volume da madeira de árvores vivas e em pé está exatamente na condição de volume úmido e saturado. A umidade da madeira quando ocorre a colheita da floresta está muito próxima do Máximo Teor de Umidade (MTU). Em geral, está entre 3 a 6% mais baixa que a umidade no MTU, porém essa medição precisa ser muito cuidadosa, pois a água quer deixar a madeira e o peso úmido precisa ser medido imediatamente antes que isso ocorra).

Pode-se também se determinar a densidade básica das cascas das árvores, sendo que os melhores e mais corretos valores são os determinados quando as amostras são coletadas da casca da árvore viva ou em seu abate. Como a secagem natural da casca é rápida, as amostras precisam ser armazenadas em condições tais que evitem essa perda rápida de umidade. Reidratar por longos tempos as cascas de árvores para saturá-las significa necessariamente perda de peso seco, pois as cascas possuem grandes quantidades de açúcares solúveis.

- **Densidade seca ao ar (12% de umidade)**

A madeira costuma entrar em equilíbrio com o ar atmosférico em teores de umidade próximos a 12%, sendo que a umidade nesse caso deve ser medida com base no peso absolutamente seco de madeira e não no seu peso úmido. Esse tipo de metodologia para medição de densidade é mais usual em empresas e com pesquisadores que trabalham com madeira serrada e painéis de madeira, muito comumente orientados para a indústria moveleira.

O valor de densidade da madeira seca ao ar a 12% ($D_{s.a.}$) de umidade é determinado pela fórmula:

$D_{s.a.}$ = (Peso a 12% de umidade) : (Volume a 12% umidade)

Como é muito difícil se ter a madeira exatamente nesse teor controlado de umidade, existem fórmulas e fatores apresentados pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, que possibilitam correções para os valores de peso relacionados a umidades próximas a 12% (NBR 7190 - Projeto de Estruturas de Madeira - 1997).

- **Densidade aparente atual (ou tal qual) da madeira**

É calculada pela relação:

$D_{aparente}$ = (Peso úmido tal qual) : (Volume atual medido tal qual)

A densidade aparente costuma variar bastante com a variação da umidade da madeira. Uma mesma amostra de madeira pode ter diferentes valores de $D_{aparente}$ conforme vá secando (perdendo água e perdendo peso) e também contraindo em volume pela secagem.

A densidade aparente tal qual é um tipo de densidade que pode ser calculada em empresas que utilizam o método de medir o volume de suas toras recebidas pelo princípio de Arquimedes, ou de imersão em água. Em geral, nessas empresas, os caminhões de madeira chegam e têm o peso da carga determinado na balança de recebimento de materiais:

$P_{madeira}$ = (Peso total) – (Peso da tara do caminhão)

Algumas amostras de madeira são retiradas e com as mesmas se determina um importante fator, que relaciona o peso úmido das toras e o seu volume (determinado por imersão em água, onde volume de água deslocado é igual ao volume da amostra). Esse fator é expresso em geral na unidade (peso úmido das toras/m^3 de madeira tal qual).

A partir do peso úmido da carga de madeira recebida e pesado na balança do recebimento e desse fator, pode-se calcular com uma única conta matemática o quanto em volume o caminhão transportava. Vejam a seguir:

Volume recebido madeira (em m^3) =

($P_{madeira}$ em toneladas tais quais) : (Fator – toneladas tais quais/m^3)

Seja um exemplo numérico:

Peso de madeira tal qual medido no recebimento de madeira = 35 toneladas

Fator medido por imersão em água de amostras colhidas do caminhão = 0,7 toneladas/m³

Volume recebido de madeira = (35 toneladas) : (0,7 t/m³) = 50 m³

Muitas empresas ainda complementam as determinações calculando o teor de umidade da carga de madeira recebida. Com isso, podem determinar o peso absolutamente seco da madeira recebida. A partir desses dados, calcula-se um importante fator para utilização interna de densidade, que é a **Densidade Aparente Anidra ou Base Seca**.

$D_{aparente\ anidra}$ = (Peso absolutamente seco) : (Volume tal qual)

No exemplo numérico acima, se a umidade das amostras for medida e revelar valores de 30% base peso úmido (ou 70% de consistência), a densidade aparente anidra ou base seca seria calculada a partir do fator medido (0,7 t tais quais/m³):

$D_{aparente\ anidra}$ = (0,7 t tais quais/m³) . (Consistência de 0,7) =

$D_{aparente\ anidra}$ = 0,49 t a.s./m³

Esse valor de Densidade Aparente Anidra é muito mais real e plausível para uso prático nas fábricas do que os de densidade básica da madeira. Isso porque a densidade básica remete a madeira a uma condição de saturação e de alta umidade (o que acontece com as toras recém-abatidas, da árvore sendo colhida e com seu material lenhoso saturado em água). Esse não é o caso das madeiras sendo recebidas nas fábricas, após um tempo de pós-corte no campo para as madeiras perderem água e se contraírem em volume. São madeiras desse tipo que adentram às fábricas e não madeiras saturadas e encharcadas em água, como no caso das amostras de madeiras usadas para cálculo de volumes saturados na determinação de densidade básica.

Sabemos que definitivamente existe uma contração volumétrica da madeira entre o momento da colheita florestal e o recebimento das toras previamente secadas no campo. O tempo de permanência das toras para secagem natural na floresta pode variar entre 30 a 90 dias. Esse tempo é função da velocidade de perda de umidade, das condições climáticas, das limitações impostas em peso da carga para transporte rodoviário, das exigências em teor de umidade pelo processo industrial e

de necessidades de tempo pós corte para degradação biológica e oxidação natural de alguns tipos de extrativos da madeira.

Durante o armazenamento ao ar livre, o teor de umidade se reduz rapidamente no início e depois tende a reduzir mais vagorosamente, até a estabilização em 12% de umidade base seca (ou cerca de 10% base úmida). Em geral, deixa-se a madeira secando até valores de umidade entre 35 a 45% base úmida.

Apesar de a contração volumétrica das toras poder atingir valores acima de 15% para secagens drásticas, para as condições de secagem natural até 35 a 45% de umidade base úmida a contração volumétrica corresponderá a valores entre 3 a 6%. Concomitantemente, acontecerá alguma perda de material do peso seco da madeira (por biodeterioração e volatilização de extrativos) e maior perda na casca, pois os açúcares da mesma continuam sendo utilizados pelas células vivas nela ainda presentes mesmo depois da colheita das árvores. Essa perda de peso seco (ou de matéria orgânica) é menor do que a contração da madeira. Estimam-se perdas de peso seco (ou de matéria) durante o período pós corte de valores entre 0,5 a 1,5%, dependendo do tempo e das condições ambientais do armazenamento da madeira.

Conhecendo-se isso tudo, pode-se perfeitamente se entender que quanto mais tempo a madeira ficar descansando no campo para perder peso atual, menor será o volume de toras (por contração volumétrica) e menor o peso tal qual (por secagem e deterioração) para serem transportados.

Dependendo da intensidade de secagem das toras, a partir de um certo momento, as toras começam a rachar e abrir em diâmetro, dando a falsa impressão de aumento de volume dessas toras. Na verdade, as toras começam a mostrar um falso volume de madeira, apesar da madeira estar contraída em seu volume real.

- **Densidade seca em estufa ou absolutamente seca**

Alguns técnicos preferem ter uma rápida informação da densidade da madeira, pois o processo industrial exige rápidas determinações que não podem esperar que a madeira seja saturada (o

que toma alguns dias), como é o caso para determinação da densidade básica.

Uma maneira fácil de se realizar um teste rápido é secar a amostra de madeira em estufa, obter seu peso absolutamente seco e usar o princípio de Arquimedes para determinar seu volume. Outra forma de medição do volume é por medições com paquímetros, caso a amostra tenha dimensões geométricas homogêneas (como é o caso de discos ou cunhas de madeira).

A madeira seca é ávida para absorver água durante a sua imersão, falseando os resultados da medição do volume. Por essa razão, o teste hidrostático pode dar um volume abaixo do real, se tomar muito tempo para ser realizado. Para evitar erros de maior monta, a imersão e as medições devem ser feitas muito rapidamente, até no máximo 10 segundos com o material imerso em água.

Outro problema que acontece com esse procedimento é que a contração da madeira é máxima, podendo atingir entre 15 a 20% de retração volumétrica.

O que os técnicos costumam fazer é elaborar equações de correlação entre os dados obtidos para densidade aparente em estufa (Da.s. - absolutamente seca) e os de densidade básica (Db). A relação entre os valores de Da.s. e Db (que oferece menores valores) costuma estar entre 1,18 a 1,28 (média próxima a 1,23).

- **Densidade aparente de cavacos de madeira**

Trata-se de um dos principais indicadores de qualidade de madeira em fábricas de celulose e papel, painéis e chapas de madeira, biomassa energética, etc.

É um tipo de densidade aparente anidra, calculada pela relação:

$D_{cavacos}$ = (Peso absolutamente seco dos cavacos) : (Volume de cavacos em condições padronizadas de ensaio)

Esse tipo de determinação precisa mesmo ser realizada em condições muito bem determinadas de ensaio, visto que ela é afetada

pela dimensão e forma do recipiente de ensaio e pela compactação dos cavacos no mesmo. O arranjo dos cavacos depende das suas dimensões, da altura de queda, da velocidade como caem, da compactação sobre eles, da umidade dos mesmos, etc.

A ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas definiu muito apropriadamente o tipo de equipamento e as condições para a realização dos testes, exatamente para impedir variações devidas ao método e não aos cavacos em si.

ABNT NBR 14984:2003. Madeira - Determinação da densidade aparente de cavacos. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003)

http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=002141

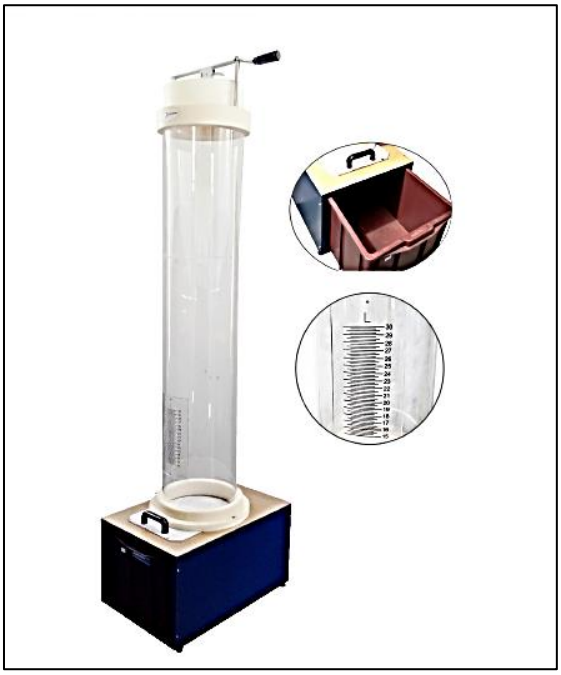
...tendo como base a metodologia adaptada a partir do método escandinavo:

Bulk density. Wood chips for pulp production. SCAN Method CM 46-92. Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee. 04 pp. (1992)

http://www.pfi.no/Documents/Scan_test_methods/C_CM_M/CM_46-92.pdf (em Inglês)

Mais adiante, nesse mesmo capítulo, teremos uma seção mais detalhada sobre esse tipo de densidade e seus reflexos em alguns processos industriais que se baseiam na sua utilização rotineira.

Teste da densidade aparente de cavacos
Fonte: Danila Estevam Alves da Cruz (e equipe Eucatex)



Equipamento para ensaio de densidade aparente ou a granel de cavacos de madeira (Fonte: Qualitylabor)
http://www.qualitylabor.com.br/produtos/celulose/densidade-aparente-de-cavacos

Cavacos de madeira
Fonte: Danila Estevam Alves da Cruz (e equipe Eucatex)

MADEIRA DO EUCALIPTO E SEUS DERIVADOS PRINCIPAIS:

TORAS, CAVACOS, CHAPAS DE PARTÍCULAS, PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA, MADEIRA SERRADA, LENHA, CARVÃO VEGETAL

Apesar de a densidade básica não ser o único parâmetro de qualidade para a maior parte dos usos industriais e mesmo domésticos da madeira, ela costuma ser o mais importante, e quase sempre o primeiro a ser determinado. Ela é um indicador definitivamente vital, apesar de alguns autores tentarem minimizar sua importância. Por outro lado, ela não é um parâmetro mágico de qualidade e tampouco ela é capaz de explicar todas as variações em desempenho de uma matéria-prima lenhosa.

A densidade básica costuma ser muito importante para a área florestal, pois ela ajuda a controlar e monitorar a disponibilidade de massa seca de madeira (e casca) sendo formada pela floresta (biomassa arbórea).

Dentre todos os fatores de importância da densidade básica nos processos industriais, talvez o de maior importância seja o seu impacto no consumo específico de madeira para diversos tipos de produtos. Conforme o seu valor médio, ela pode significar maiores ou menores

consumos de madeira por unidade de produto sendo fabricado, como o que acontece nas empresas que fabricam celulose, painéis de madeira, carvão vegetal e termoeletricidade.

Madeira de eucalipto para uso estrutural ou para produtos serrados

No caso de produtos serrados e de peças estruturais de madeira, a densidade básica tem correlação muito grande com a resistência da madeira. Ela também se relaciona com a capacidade de absorção e retenção de água pelas peças de madeira, com a retração volumétrica ou inchamento, com as propriedades acústicas ou de isolamento, etc. Também tem efeito sobre a trabalhabilidade das toras – como o caso das dificuldades de serrar ou processar madeiras de mais altas densidades. Existem também relações de trabalhabilidade diferenciada entre teores de umidade e densidade da madeira, o que ajuda a que os técnicos busquem compensar algumas dessas dificuldades.

A fabricação de painéis e chapas de madeira reconstituída é bastante dependente dos valores de densidade básica da matéria-prima florestal. Existem faixas ideais de densidade a serem trabalhadas e esses valores se relacionam às especificações dos produtos, ao desempenho operacional e ao consumo específico de madeira. Para esse tipo de industrialização da madeira, a densidade básica interfere em:

- Produtividade das florestas em equivalente de chapas ou de peso seco de matéria-prima florestal;

- Consumo específico de madeira em m³ de madeira/m³ de painel sendo produzido;

- Qualidade do produto final (densidade, espessura, resistências mecânicas, capacidade de absorção de resinas, etc.);

- Estabilidade dimensional dos painéis ou chapas, pois ela se relaciona às tensões nas chapas, densidade do painel, absorção de água, distribuição da resina, compactação do painel, etc.;

Existem limites na amplitude de valores de densidade da madeira a serem obedecidos em alguns tipos de painéis (MDP ou chapas de partículas, por exemplo). Alguns produtos exigem que ocorra uma forte compactação e compressão do painel na sua produção: isso aumenta a ligação entre as fibras ou entre as partículas de madeira, melhora a ação da resina, adensa o painel e dá resistência à chapa.

No caso de densidade de madeira muito acima das especificações, o técnico se vê obrigado a usar maior quantidade de madeira para garantir condições de compactar o painel a um mesmo valor de espessura. Com isso, a densidade do painel aumenta, o que acaba fugindo das especificações e desagradando alguns clientes, pois isso pode em alguns casos favorecer o uso, mas em muitos outros, pode prejudicar. A densificação dos painéis é uma exigência processual vital, pois quando a compactação for insuficiente, o painel ficará mais fraco devido ao contato inadequado entre as fibras ou partículas com a resina adicionada para unir os componentes do painel.

Painel de madeira reconstituída

Algumas vezes, a maior densidade da madeira é devida também ao alto teor de extrativos acumulados no cerne das árvores, em especial em florestas de maior idade. Nessas situações, a colagem das chapas fica prejudicada, uma vez que existem extrativos que afetam a polimerização das resinas utilizadas na fabricação do painel. Mais uma vez, a resistência do painel poderá ser prejudicada.

Para alguns tipos de chapas, como as chapas duras ("hardboard"), prefere-se trabalhar com madeiras de maior densidade, uma vez que o alto consumo de madeiras leves encarece demais o produto. Com madeiras mais densas, podem-se reduzir os consumos específicos, o que melhora o custo de produção.

Carvão vegetal e lenha de eucalipto

Tanto a produção de carvão vegetal como o uso energético da biomassa florestal como lenha são bastante afetados pela densidade básica das toras utilizadas nos processos industriais.

O principal efeito da densidade básica está na densidade energética do combustível, ou seja, na quantidade de energia primária disponível por metro cúbico do biocombustível florestal. Quanto maior o peso de material orgânico presente por volume de combustível, maior a possibilidade desse material conter maior valor energético, desde que os valores de poder calorífico sejam semelhantes.

Também existe grande correlação entre os valores de densidade da madeira com a densidade e resistência à quebra das peças produzidas de carvão vegetal. Apesar de ser um item de especificação importante, a densidade básica não é o único parâmetro de qualidade para as madeiras de uso energético. São também críticos: teor de casca, teor de lignina, teor de carbono orgânico, poder calorífico, teor de

umidade, teor de cinzas minerais e de contaminantes (terra, areia, pedras, etc.).

A grande vantagem da maior densidade energética do carvão vegetal ou da lenha do eucalipto é a menor necessidade de carga desses combustíveis na alimentação dos fornos de carbonização ou fornalhas de queima. Entretanto, essa maior densidade energética ou maior conteúdo de carbono por volume de biocombustível pode permitir dois tipos de atuações:

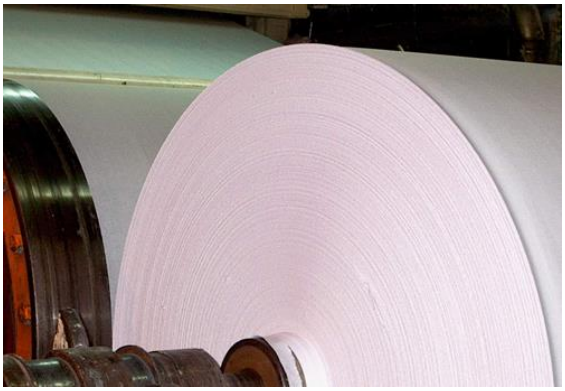
- Redução do consumo de carvão vegetal ou de biomassa energética para mesmos níveis de produção de ferro-gusa, aço ou energia elétrica;

- Aumento na produção das caldeiras de biomassa ou fornos de siderurgia, caso haja capacidade de produção adicional nessas unidades produtivas.

Tanto para a lenha energética como para a produção de carvão vegetal, as especificações sugerem os maiores valores possíveis para densidade da madeira, desde que não existam prejuízos relativos à produtividade das florestas em equivalência a peso seco de matéria-orgânica ou a restrições em equipamentos de processo, como na picagem ou na alimentação desses materiais.

Outro setor industrial madeireiro e que tem relação à densidade básica da madeira utilizada é o de madeira tratada por produtos preservativos para obtenção de postes, moirões, estacas, elementos construtivos de habitações, etc. As madeiras mais densas são mais difíceis de serem penetradas pelos produtos preservativos, mesmo sob pressão. Por outro lado, elas consomem menores quantidades de produtos preservativos por unidade de volume de madeira. As madeiras

de baixa densidade são facilmente penetradas pelos compostos preservativos, mas tendem a consumir mais deles, exatamente por essa maior porosidade. Por essa razão, os preservadores de madeira gostam de especificações rígidas em termos de densidade básica das madeiras, para evitar conflitos entre a qualidade do tratamento e o custo do mesmo.



Papéis fabricados a partir dos eucaliptos crescem em participação nos mercados

Um dos setores industriais da base florestal plantada que mais trabalha no monitoramento e controle da densidade básica das madeiras é o de produção de celulose para fabricação de papéis e de derivados de celulose (viscose, rayon, acetato e nitrato de celulose, fios têxteis, etc.). O primeiro e significativo efeito da densidade básica é no consumo específico de madeira por tonelada de celulose, porém existem outros efeitos importantes na capacidade produtiva das plantas de celulose e na qualidade diferenciada dos produtos, conforme a densidade das madeiras sendo consumidas, desde que de clones ou espécies assemelhadas.

Outro efeito importante é a possibilidade de permitir aumentos no IMACel, ou toneladas equivalentes em celulose como indicador de produtividade das florestas plantadas por hectare.ano, como já visto anteriormente.

Tanto os digestores contínuos como os alimentados em batelada são carregados com base em volume de cavacos. Caso existam limitações no processo de alimentar volumes de cavacos a esses digestores, a produção diária de celulose pode despencar, caso haja uma redução significativa na densidade da madeira ou na densidade aparente dos cavacos (por exemplo: uma redução na densidade aparente dos cavacos de 180 kg a.s/m³ para 165 kg/m³).

De uma maneira geral (mas não necessariamente sempre), quanto maior for a densidade básica da madeira, maior poderá ser a densidade aparente dos cavacos que serão alimentados aos digestores. Ao se aumentar a massa seca de cavacos ao digestor para mesma alimentação volumétrica, pode-se perfeitamente conseguir aumentar a produção de celulose, apesar de outros efeitos paralelos, tais como: redução de rendimento em produção de celulose seca por massa seca de madeira alimentada; aumento do consumo de químicos para polpação; aumento na geração de sólidos secos para queima na caldeira de recuperação; aumento na geração de rejeitos na polpação, aumento do número kappa da celulose; efeitos na qualidade das fibras; etc.; etc.

Muitas vezes, o operador fica diante da situação "se correr o bicho pega, se ficar o bicho come", já que o aumento da densidade da madeira pode trazer redução de consumo específico da madeira por tonelada de celulose ou aumento de produção da fábrica, mas ter efeitos adversos para a caldeira de recuperação com maior quantidade de sólidos secos gerados, para a produção de licor branco, para aumento no teor de rejeitos na polpação e para a qualidade das fibras celulósicas para a fabricação dos papéis.

Algumas das consequências negativas estão associadas às maiores dificuldades de impregnação dos cavacos de madeiras mais densas pelo licor de cozimento. As tecnologias de produção de celulose estão sendo cada vez mais aperfeiçoadas e existem atualmente os corpos de impregnação dos cavacos pelo licor de cozimento, antes dos mesmos entrarem no digestor propriamente dito para sofrerem a polpação kraft. Um grande avanço tecnológico, que minimiza os efeitos adversos da maior densidade – não existem dúvidas sobre esse fato.

A densidade básica da madeira também se relaciona muito significativamente com a qualidade do produto final. Isso porque os valores de densidade da madeira estão associados a:

- ✓ Espessura da parede celular das fibras (++);
- ✓ Teor e dimensões dos elementos de vaso (-);
- ✓ Teor de células de parênquima (-);
- ✓ Peso individual de cada fibra (++);
- ✓ População Fibrosa ou Número de Fibras/Grama de Celulose (--);

- ✓ "Coarseness" das fibras ou peso de fibras por metro ou por 100 metros de fibras (++).

As madeiras com densidades básicas diferentes tendem a resultar em produtos com características distintas em relação às qualidades e especificações. Esses produtos podem até mesmo se diferenciarem nas suas aplicações e atenderem a demandas distintas dos clientes. Tendo em vista essas situações tão distintas, que podem serem resultantes das variações na densidade básica das madeiras, sugiro mais uma vez a leitura do Capítulo 14 de nosso Eucalyptus Online Book, conforme recomendação de endereço na web, a seguir:

Propriedades papeleiras das árvores, madeiras e fibras celulósicas dos eucaliptos. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 14. 111 pp. (2009)

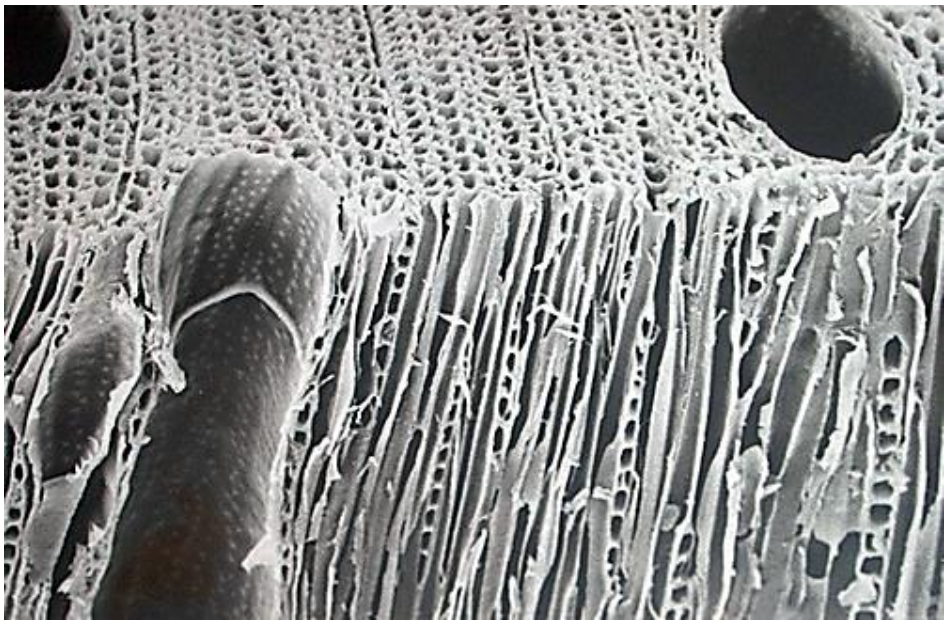
http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT14_PropPapeleiras.pdf

Tenho absoluta certeza de que nesse capítulo vocês poderão ter inúmeras informações úteis e encontrar seguras orientações para seleção de caminhos a serem trilhados na fabricação de celuloses e papéis. Discorri entre outros temas sobre as diversas oportunidades e sobre as restrições que a variação na qualidade da madeira pode resultar nas empresas fabricantes de celulose e de papel.

A densidade da madeira pode também se converter em um fator de melhoria dos resultados do negócio celulósico-papeleiro, não apenas pela redução de custos de fabricação, mas de aumento de produtividade florestal, redução de áreas florestais a serem plantadas, diferenciação de produtos, inovações na rede de valor, incluindo clientes e fornecedores, etc. Isso é válido tanto para a fabricação de celulose para fabricação de papéis, como de celuloses para dissolução e fabricação de derivados de celulose.

A ESTRUTURA DA MADEIRA DO EUCALIPTO E A ÁGUA

MÁXIMO TEOR DE UMIDADE, VARIAÇÃO DIMENSIONAL E HISTERESE



A madeira é um material complexo e produzido de forma orquestrada e organizada pelas árvores. De uma maneira muito bem orientada, as células que originam a madeira são arranjadas como tecidos vegetais, onde se distribuem os constituintes químicos que as compõem (lignina, celulose, hemiceluloses, extrativos, cinzas minerais).

Os constituintes anatômicos da madeira são formados a partir de células meristemáticas, que se dividem intensamente e se diferenciam em alguns tipos de células de xilema (madeira) ou floema (casca), sendo que podem variar em formato, tipo e composição.

Dessa maneira, as espécies de coníferas ou "softwoods" (*Pinus*, *Araucaria*, etc.) formam no xilema os seguintes elementos: traqueídos (ou fibras), células de parênquima radial, células de parênquima axial e células produtoras de resinas. Já as espécies de folhosas ou "hardwoods" (*Eucalyptus*, *Acacia*, etc.) formam: fibras libriformes, fibrotraqueídos, células de parênquima radial, células de parênquima axial e elementos de vaso. A presença dos elementos de vaso na madeira de folhosas acaba por se constituir na principal forma de se separar esses dois tipos de grupos de árvores.

A madeira é formada pela ação de dois tipos de tecidos meristemáticos, que são células com caráter embrionário, capazes de intensa divisão celular e com rápida diferenciação em células, que são criadas de acordo com as especificações do código genético das plantas.

Os meristemas apicais presentes nas gemas apicais de caules e brotos laterais se dividem para promoverem o crescimento do vegetal em comprimento (tronco e ramos). Elas acabam dando origem a diversos tipos de células frágeis, que no xilema aparecem mais como as células centrais do tronco, ou medula.

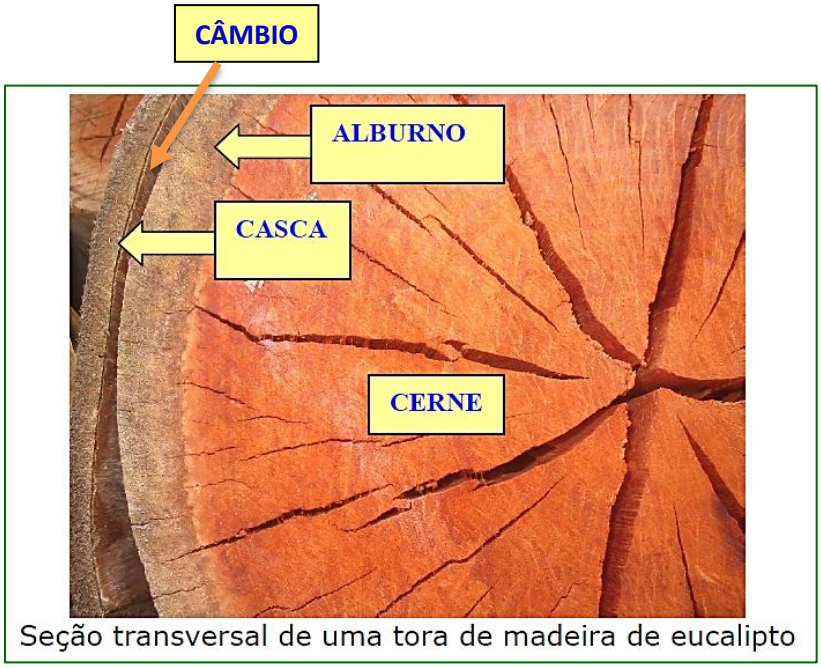
O restante da madeira é formado pela atuação do meristema lateral secundário, conhecido como câmbio. Esse tecido se localiza exatamente na região de separação entre a casca e o lenho ou madeira das árvores. Da atividade do câmbio se formam novas camadas de células de xilema ou lenho ou madeira para o interior do tronco. Já para o lado da casca, formam-se novas camadas de células de floema ou de casca. Portanto, ao mesmo tempo em que as árvores crescem em células de madeira (mais intensamente), elas também crescem em formação de casca. Na casca, em sua região interna, mais próxima do câmbio, ocorre a translocação da seiva elaborada ou seiva orgânica resultante da atividade fotossintética das folhas. Por essa razão, a casca é rica em açúcares facilmente metabolizáveis.

A madeira, ou xilema, apresenta-se de duas formas principais no tronco:

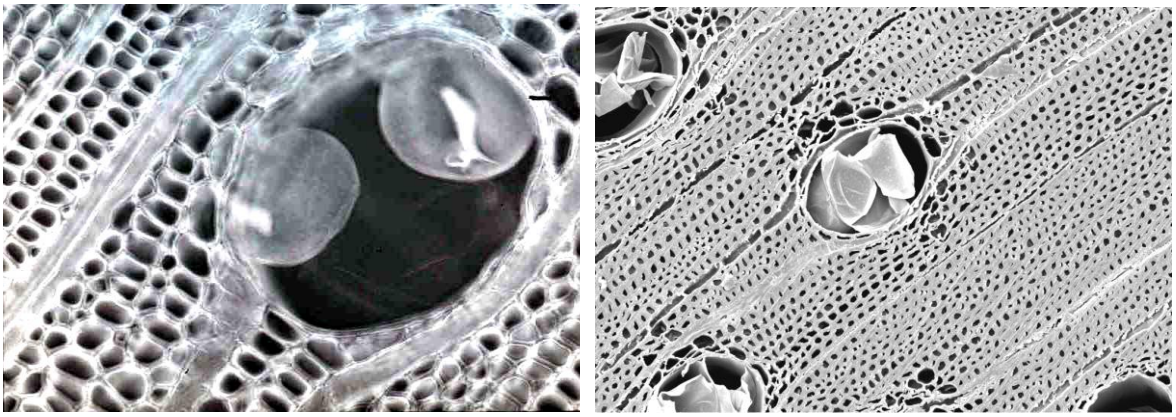
- ✓ O *cerne*, localizado mais internamente no tronco, que corresponde a um tipo de xilema que se tornou inativo, sendo lignificado e rico em extrativos depositados para dar resistência aos ataques de predadores de madeira.

- ✓ O *alburno*, localizado mais ao lado do câmbio, consiste na região ativa do xilema, por onde circula a seiva bruta ou seiva mineral, extraída do solo pelas raízes da planta. Nessa seiva estão presentes água e os sais minerais, que são conhecidos como nutrientes das plantas.

Em geral, conforme a árvore envelhece, o cerne inativo se enriquece de extrativos, que ajudam a evitar o ataque biológico por predadores como fungos, insetos, bactérias, etc. A penetração de grandes quantidades de extrativos nos lúmens das células (fibras e elementos de vaso) torna a madeira mais hidrófoba, menos porosa e eventualmente, mais densa.



Seção transversal de uma tora de madeira de eucalipto

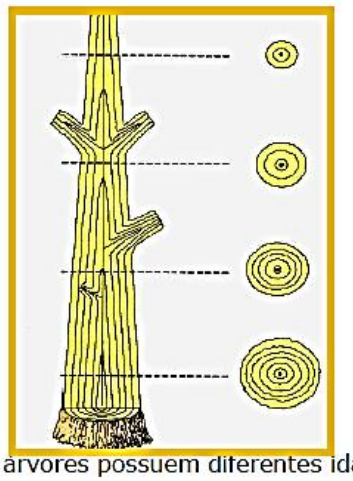

Penetração de extrativos para dentro dos elementos de vaso em madeiras de eucaliptos (tiloses)

A madeira é em quase sua totalidade formada pela ação do câmbio, seja nos galhos, troncos e mesmo nas raízes. Esse câmbio forma células diferentes como já visto, sendo que todas possuem paredes celulares e constituintes citoplasmáticos, enquanto estão vivas. Com o passar do tempo, essas células perdem atividade, se enriquecem, se lignificam e morrem, formando o cerne.

Cerne e alburno são dois tipos de madeira com características distintas presentes na mesma árvore. Em função do uso de madeiras de

árvores de eucalipto ainda bastante jovens no Brasil, obtidas de florestas entre 5 a 9 anos, o processo de formação do cerne ainda é relativamente pouco desenvolvido. Diz-se então que esses cernes são imaturos ou muito jovens.

A proporção volumétrica de cerne nas árvores ainda juvenis, costuma ser de 25 a 50% do volume das árvores individuais. Isso se deve ainda à cernificação ainda pouco desenvolvida e também ao fato de que a proporção de cerne vai diminuindo da base da árvore em direção ao seu topo, pois nas partes mais altas da mesma temos madeira com idades mais jovens do que na base.

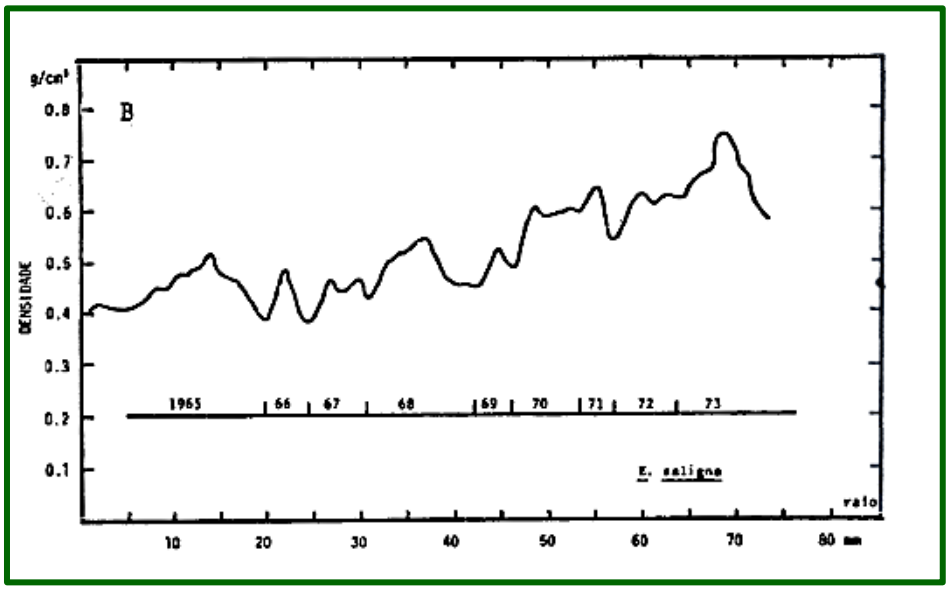


Diferentes alturas das árvores possuem diferentes idades fisiológicas

Como as madeiras desses cernes jovens ainda estão pouco preenchidas por extrativos e também pouco modificadas pelas forças de compressão que passam a ocorrer dentro das árvores, a densidade básica das madeiras desses cernes costuma ser menor do que a densidade do alburno, mais raramente no máximo semelhante.

Outros tipos de células distintas são formados conforme as condições ambientais: as chamadas células de xilema de lenho inicial (formadas em período favorável ao crescimento vegetal) e as de lenho tardio (formadas em condições de restrições em atividade biológica, como outono, inverno ou condições de estresse hídrico ou de alguma doença da planta). Invariavelmente, as madeiras de lenho tardio apresentam maiores densidades básicas do que as de lenho inicial. Isso porque em condições favoráveis, as células crescem rapidamente e se tornam mais largas e com menores proporções de parede celular. Já em

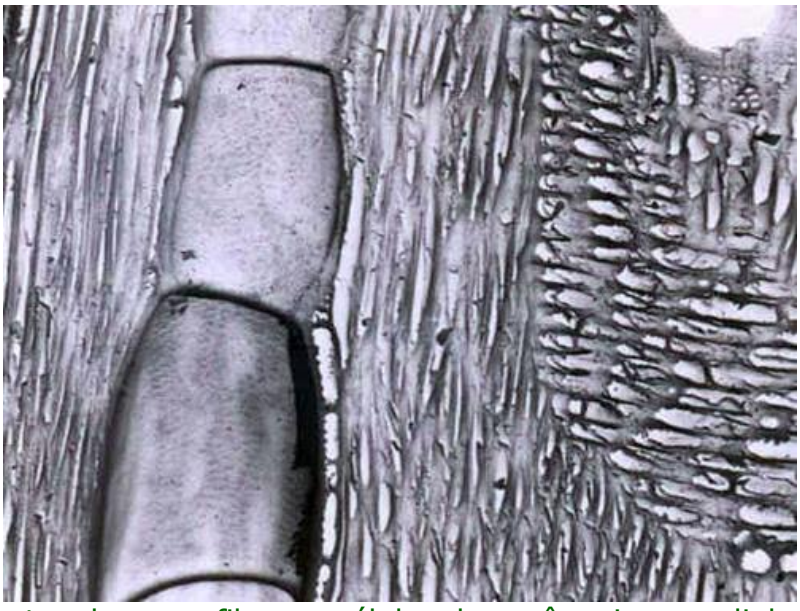
condições desfavoráveis, as células espessam suas paredes celulares e não crescem tanto em largura, do que resulta uma densidade básica maior para esse tipo de madeiras.



Técnicas de nucleação usadas para determinar variabilidade radial da madeira de *Eucalyptus saligna*
Fonte: Ferraz e Tomazello Filho, 1978

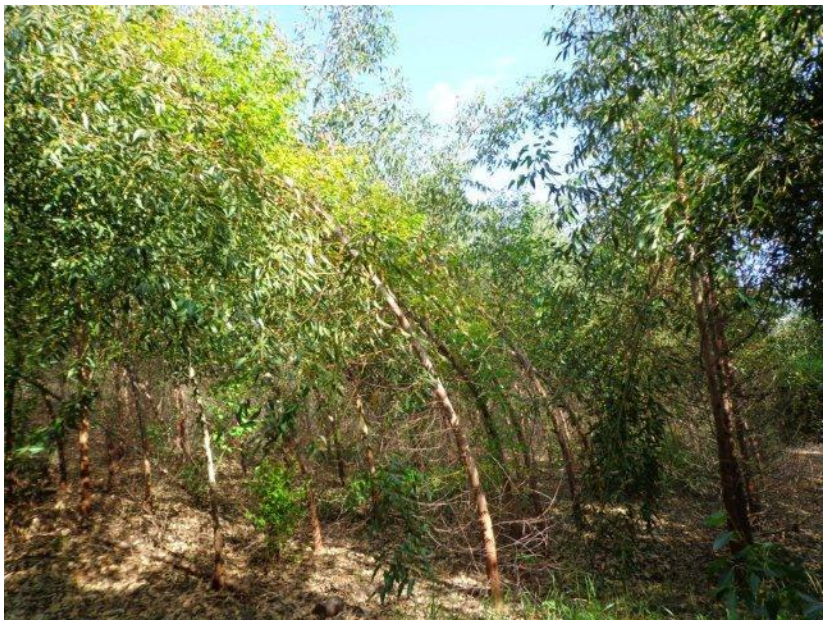
As madeiras dos eucaliptos são formadas de maneira tal que é difícil de se distinguir as madeiras de lenho inicial e tardio a olho nu. Essas madeiras não possuem claras distinções de anéis de crescimento, com as tradicionais alternâncias de camadas de lenhos, como no caso das madeiras de *Pinus* e *Araucaria*. A melhor maneira de se observar as formações desses dois tipos de lenho é através de técnicas de nucleação (uso de radiação) para se determinar a variabilidade radial da densidade da madeira. Nesses casos, os picos de valores de densidade correspondem às madeiras de lenho tardio e os vales, às madeiras de lenho inicial.

Esses diferentes tipos de células de xilema podem apresentar características e percentuais diferentes, conforme a espécie, clone, idade e condições ambientais onde cresce a floresta. Conforme a utilização da madeira, as características e percentuais de um ou outro tipo de madeiras de cerne, alburno, lenho inicial ou lenho tardio podem interferir na sua qualidade e na densidade básica do xilema resultante.



Elementos de vaso, fibras e células de parênquimas radial e axial

Somem-se a isso, as madeiras produzidas por árvores com problemas fitossanitários, danificadas pelo fogo, geadas, secas, ventos intensos, força de gravidade, etc. Tudo isso afeta a qualidade da madeira e como reflexo imediato, podem surgir alterações nos valores de densidade básica das mesmas. Conforme a utilização dessas madeiras para um ou outro tipo de produto poderemos ter reflexos de desempenho industrial ou de qualidade final do produto resultante.



Os fortes ventos também afetam a qualidade das madeiras de eucalipto

Da atividade do câmbio, forma-se uma complexa mistura de constituintes químicos, que na prática se denomina de substância madeira ("wood substance"). Caso a madeira fosse totalmente constituída dessa substância, ela seria completamente sólida e sem porosidade alguma (no caso, dada pelos lúmens de células fibrosas, de elementos de vasos, etc.).

Na verdade, a madeira é muito rica em poros, o que significa que ela apresenta muito de seu volume como sendo de espaços vazios que podem ser ocupados por água ou por gases. Por essa razão, eu costumo usar muito de uma analogia em minhas aulas de química da madeira para facilitar aos alunos o entendimento das diferenças em densidade da substância madeira e densidade da madeira em si.

É a seguinte a analogia que costumo apresentar:

Imaginemos que um tijolo de construção totalmente sólido (100% massa argilosa de tijolo) tenha uma densidade de 1,8 g/cm³. Um tijolo com furos, desses que se usam muito hoje em dia, tem na sua parte sólida uma densidade de tijolo sólido (1,8 g/cm³), mas o tijolo em si, por ser poroso, com furações e aberturas de vazios, tem densidade muito mais baixa, talvez 1,1 g/cm³.

A madeira seria assim também. Ela é muito porosa. Por exemplo, a madeira do eucalipto tem porosidades que variam entre 50 a 75% do seu volume total. São espaços vazios dos lúmens das células e até mesmo espaços microscópicos nas paredes (pontuações, microfraturas, etc.).

A "substância madeira" seria a parte totalmente sólida da madeira, 100% paredes celulares. É ela que dá o peso absolutamente seco da madeira.

A densidade básica da madeira é medida com o peso da parte sólida, mas dividido pelo volume úmido contendo a porosidade. Por isso mesmo, a densidade básica da madeira é sempre inferior à densidade da substância madeira. Existem até mesmo relações diretas entre elas e a umidade dos corpos de prova, quando essas características são determinadas em condições de completa saturação em água dessas peças de madeira.

Voltando à substância madeira: a forma de se medir a sua densidade é transformando a madeira em pó e pesando o seu peso (ou massa) absolutamente seca (sem umidade alguma). Mas como achar o

volume de sólidos, só de paredes, desse peso de substância madeira? Precisamos desse volume para calcular a densidade dessa substância madeira. Para isso, usa-se um picnômetro, que é um vaso de vidro rigorosamente calibrado e com seu volume absolutamente conhecido. Põe-se um dado peso seco de madeira em pó dentro do picnômetro e se completa o volume até o menisco, na completa impregnação do pó com um líquido que molhe completamente esse pó de madeira, ocupando todos os espaços vazios do mesmo. Pode ser água, mas pode ser também acetona, éter, álcool, etc. Por diferenças de peso ou por leis hidrostáticas (tipo empuxo do volume de líquido deslocado) pode-se calcular o volume de paredes celulares desse pó de madeira (que está dentro do picnômetro).

Já fiz isso com madeira e fibras de eucalipto, inclusive em minhas aulas práticas quando lecionava na ESALQ e na UFV. Os estudos mostram que a densidade da substância madeira varia muito pouco de uma madeira para outra, entre 1,51 a 1,55 g/cm³ - preferindo-se usar o valor mais comum que é 1,53 e que se aplica muito bem tanto aos *Pinus*, como aos *Eucalyptus*. Nos estudos que realizamos encontramos valores de densidade da substância madeira para madeiras de eucaliptos entre 1,52 a 1,54 g/cm³, totalmente de acordo com o que se encontra na literatura.

A porosidade da madeira é uma característica muito importante para inúmeras utilizações das madeiras de eucalipto, já que ela facilita a penetração de reagentes químicos que possam ser utilizados na conversão da madeira. Também favorece fluxos de gases e de líquidos entrando ou saindo da madeira. No caso da fabricação de celulose, a porosidade está diretamente relacionada à impregnação dos cavacos de madeira pelo licor de cozimento. Quando a madeira for porosa e com poros livres e abertos, sem entupimentos com extrativos, o licor de cozimento penetra mais facilmente e se difunde rapidamente para o interior dos cavacos. Da mesma forma, a saída dos compostos dissolvidos pelos processos de polpação é favorecida.

No caso de processos térmicos, onde a madeira é degradada por ação do aquecimento (gaseificação, carbonização, pirólise etc.), a porosidade facilita a saída dos gases e líquidos resultantes desses processos de decomposição térmica da madeira.

Essa mesma propriedade de porosidade passa a ter significado especial com o crescimento das novas utilizações da madeira nas biorrefinarias, onde processos químicos, térmicos e biológicos passarão a se constituir em novas rotas tecnológicas de conversão da madeira a

biomateriais e biocombustíveis. Isso é vital para processos químicos, como no caso da hidrólise ácida da madeira, como em conversões biológicas (como exemplo: decomposição enzimática da madeira).

A porosidade não apenas permite o acesso de materiais ao interior da madeira, como favorece o inchamento e reidratação da mesma. Concomitantemente às forças que impulsionam a hidrofilicidade e o inchamento das peças de madeira, existem forças restritoras, como a fração cristalina das moléculas de celulose, a histerese, e a lignificação das paredes celulares, etc.

A lignina e o tipo de lignina (relação S/G) tendem a atuar sobre o inchamento, a hidratação e o acesso aos demais componentes da madeira, como no caso, os constituintes da holocelulose.

Quando a madeira se encontrar em seu MTU – Máximo Teor de Umidade, toda a sua porosidade estará ocupada por água. Nas peças de madeira (como cavacos ou baguetas) só existirão então: substância madeira e água.

Teremos então duas situações acontecendo ao mesmo tempo para cada peça de madeira em seu MTU:

$$P_{\text{úmido ou saturado ao MTU}} = P_{\text{água}} + P_{\text{substância.madeira}}$$

$$V_{\text{úmido saturado ao MTU}} = V_{\text{água}} + V_{\text{substância.madeira}}$$

A densidade da substância madeira pode, para efeitos demonstrativos e de cálculos expeditos, ser utilizada como sendo igual a 1,53 g/cm³. Por outro lado, a densidade da água poder ser tomada como igual a 1 g/cm³.

Dessa forma, ficamos com:

$$P_{\text{água}} = V_{\text{água}}$$

Logo:

$$P_{\text{úmido ou saturado ao MTU}} = P_{\text{água}} + P_{\text{substância.madeira}}$$

$$V_{\text{úmido MTU}} = P_{\text{água}} + \{(P_{\text{substância.madeira}}) : 1{,}53\}$$

Por outo lado, se toda a água for secada, o peso absolutamente seco ($P_{a.s.}$) da peça de madeira passa a ser o peso da substância madeira presente na mesma.

$$P_{a.s.} = P_{substância.madeira}$$

Densidade básica é por definição a relação entre peso absolutamente seco (ou peso de substância madeira) e volume da madeira saturada, que corresponde também ao volume ao máximo teor de umidade.

$$Db = (P_{a.s.}) : \{P_{água} + (P_{substância.madeira}) : 1,53\}$$

...ou

$$Db = 1 : \{ (P_{água}) : (P_{substância.madeira}) + 0,654\}$$

...ou

$$Db = 1 : \{ (P_{água}) : (P_{a.s.}) + 0,654\}$$

A relação ($P_{água}/P_{substância.madeira}$) corresponde ao teor de umidade referenciado base madeira absolutamente seca ($U_{b.s.}$), não em percentual, mas em base unitária.

Para um mesmo volume de madeira, quanto maior for o seu peso absolutamente seco (ou em substância madeira), menor será a quantidade de água (ou umidade) que ela poderá armazenar em sua porosidade (que será consequentemente menor). Logo, existirá sempre uma relação inversa entre densidade básica e o teor de umidade ao máximo teor de umidade. Madeiras mais densas não conseguirão absorver ou reter tanta água como madeiras mais leves e mais porosas. Isso porque são menos porosas.

Finalmente, uma última relação pode ser utilizada na simplificação da fórmula em desenvolvimento:

$$P_{água} = P_{úmido.MTU} - P_{substância.madeira}$$

Ou ainda, escrevendo de outra maneira a mesma coisa:

$$P_{água} = P_{saturado.MTU} - P_{a.s.}$$

De onde se conseguem:

$$Db = 1 : \{ (P_{água}) : (P_{a.s.}) + 0{,}654\}$$

$$Db = 1 : \{[(P_{saturado.MTU} - P_{a.s.}) : (P_{a.s.})] + 0{,}654\}$$

$$Db = 1 : \{(P_{saturado.MTU}):(P_{a.s.}) - 1 + 0{,}654\}$$

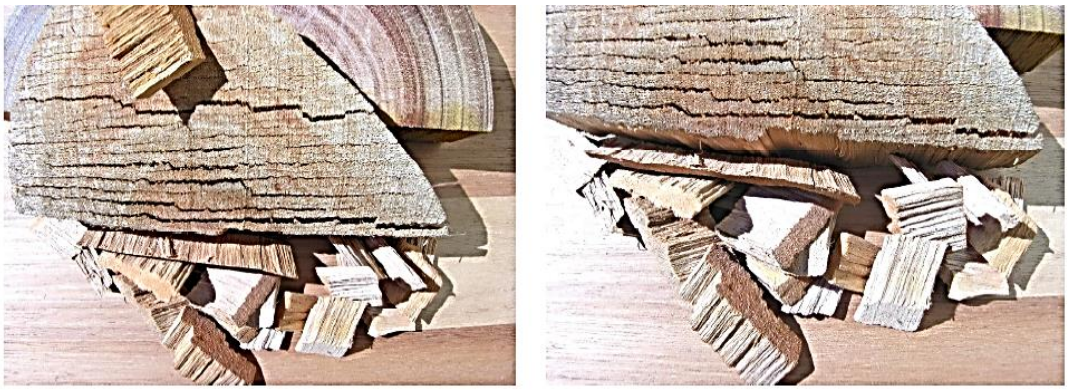
$$Db = 1 : \{(P_{saturado.MTU}):(P_{a.s.}) - 0{,}346\}$$

Que tem sido a fórmula mais comumente utilizada no emprego do Método do Máximo Teor de Umidade para de determinar a densidade básica da madeira.

Quanto mais densa a madeira, maior será a quantidade de paredes celulares e de substância madeira em um mesmo volume de madeira. Com isso, a porosidade e a capilaridade ficarão menores e isso tem relação direta a sua capacidade de absorver água. Logo, como já vimos, as madeiras mais densas possuem menor espaço para a entrada de líquidos (menor volume de vazios).

É muito fácil se calcular isso.

Vejam então os dois exemplos hipotéticos com cavacos de madeira de *Eucalyptus*, apresentados logo a seguir.



O processo de formação dos cavacos de madeira

Sejam dois cavacos de madeira de eucalipto, cada um com uma grama seca de peso:

- Um dos cavacos foi obtido de uma região próxima à medula de uma árvore jovem e possui densidade básica 0,4 g/cm³.

- Já o outro cavaco, é de uma região próxima à casca de uma árvore mais velha. Por isso, é mais denso e tem densidade básica 0,55 g/cm³.

Essas situações são totalmente possíveis de serem encontradas em nosso dia-a-dia fabril, portanto, não é de forma alguma algo inusitado.

Para fins de cálculo, vamos admitir a densidade da "substância madeira" ou "substância parede celular da árvore" como sendo igual a 1,53 g/cm³, como diz a literatura de forma clara e abundante. Admitiremos também que a densidade da água é igual a 1 g/cm³.

Ficaríamos então com as seguintes duas situações:

- **Caso 1**: Cavaco de uma grama absolutamente seca com densidade de 0,4 g/cm³

Volume do cavaco = (1 g) : (0,4 g/cm³) = 2,5 cm³

Volume de "substância madeira" ou de "100% paredes celulares" nesse cavaco = (1 g) : (1,53 g/cm³) = 0,65 cm³

Volume de vazios ou de poros desse cavaco = 2,5 - 0,65 = 1,85 cm³

Porosidade nesse cavaco capaz de ser encharcada por água =

$$1,85 \times 100 / 2,5 = 74\%$$

Máxima umidade base madeira úmida que esse cavaco pode reter em sua condição de saturação plena = (1,85 g de H_2O) : (1 g a.s. madeira + 1,85 g de H_2O) = 65%

- **<u>Caso 2</u>**: Cavaco de uma grama absolutamente seca com densidade de 0,55 g/cm³

Volume do cavaco = (1 g) : (0,55 g/cm³) = 1,82 cm³

Volume de "substância madeira" ou de "100% paredes celulares" nesse cavaco = (1 g) : (1,53 g/cm³) = 0,65 cm³

Volume de vazios desse cavaco = 1,82 - 0,65 = 1,17 cm³

Porosidade nesse cavaco capaz de ser encharcada por água =

$$1,17 \times 100 / 1,82 = 64,3\%$$

Máxima umidade base madeira úmida que esse cavaco pode reter em sua condição de saturação plena = (1,17 g de H_2O) : (1 g a.s. madeira + 1,17 g de H_2O) = 54%

Observem amigos, o significativo efeito da densidade básica da madeira na capacidade de retenção de água pelos cavacos de madeiras de eucalipto. Também se pode observar a porosidade sendo alterada conforme se alteram os valores de densidade básica da madeira.

A porosidade natural da madeira dos eucaliptos é constituída pela capilaridade dos lúmens de suas células (vasos, fibras libriformes, células parenquimatosas, etc.). Além desses macrocapilares que são os lúmens, existem os microcapilares nas paredes, tais como as pontuações e os pequenos canais entre fibrilas. Esses últimos são mais frequentes quando a madeira se resseca. São ainda comuns as chamadas microfissuras e microfraturas nas paredes e entre as células da madeira. Esses tipos de fissuras são comuns nos cavacos e menos comuns na madeira em toras. Isso porque a ação mecânica de picar a madeira é muito impactante sobre a estrutura da mesma.

A porosidade da madeira pode ter fórmulas desenvolvidas similares às que vimos para densidade básica, baseadas no máximo teor de umidade das peças de madeira (no caso cavacos, fragmentos, palitos ou baguetas). Devemos ter o maior dos cuidados para trabalhar com fragmentos pequenos de madeira para se conseguir atingir a situação de máxima impregnação e saturação dos mesmos. Dificilmente conseguiremos atingir essa situação de máximo teor de umidade com cunhas ou discos de madeira. Todas as recomendações são para se

trabalhar com fragmentos de madeira com espessuras entre 1 a 3 mm e larguras e comprimentos de no máximo 25 - 30 mm. Caso os fragmentos a testar sejam maiores do que isso, eles podem ser fatiados em mais pedaços menores para facilitação da saturação, principalmente no que diz respeito à dimensão crítica que é espessura. Inclusive as cunhas de madeira podem serem fatiadas em cavacos, caso se deseje usar dos métodos baseados em máximo teor de umidade. Definitivamente, não podemos sequer considerar o uso de peças grandes de madeira previamente secas para tentar trabalhar com o máximo teor de umidade – isso porque dificilmente atingiremos essa máxima saturação nessas peças grandes e já parcialmente secas de madeira.

Com a madeira no seu máximo teor de umidade, todos os poros da madeira estarão preenchidos por água. O que não for água será substância madeira, como já vimos na dedução da fórmula de densidade básica pelo MMTU – Método do Máximo Teor de Umidade.

Logo, teremos:

$$V_{água} = P_{água} = V_{poros}$$

e

$$P_{água} = P_{saturado.MTU} - P_{a.s.}$$

(como visto anteriormente)

E também:

$$\text{Porosidade (\%)} = \{(V_{poros}) : (V_{total})\} \cdot 100$$

Ou então:

$$\text{Porosidade (\%)} = \{(P_{água}) : (V_{total})\} \cdot 100$$

Sabemos ainda que:

$$V_{total} = V_{água} + V_{substância.madeira}$$

$$V_{total} = P_{água} + \{(P_{substância.madeira}) : 1{,}53\}$$

Do que resulta:

$$\text{Porosidade (\%)} = \{(P_{água}) : (V_{total})\} \cdot 100$$

$$\text{Porosidade (\%)} = \{(P_{água}) : [P_{água} + (P_{substância.madeira}) : 1{,}53]\} \cdot 100$$

$$\text{Porosidade (\%)} = \{(P_{saturado.MTU} - P_{a.s.}) : [(P_{saturado.MTU} - P_{a.s.}) + (P_{a.s.}) : 1{,}53]\} \cdot 100$$

$$\text{Porosidade (\%)} = \{(P_{saturado.MTU} - P_{a.s.}) : [(P_{saturado.MTU} - P_{a.s.}) + 0.654.P_{a.s.}]\} \cdot 100$$

$$\text{Porosidade (\%)} = \{(P_{saturado.MTU} - P_{a.s.}) : [(P_{saturado.MTU} - 0{,}346.P_{a.s.}]\} \cdot 100$$

Dessa forma, a partir de dados obtidos nas condições de máxima saturação da madeira, podemos obter por cálculos simples o volume de vazios ou a sua porosidade e também a densidade básica. Outro dado que pode ser obtido é o teor de umidade na máxima saturação – ou seja, a quantidade máxima de água e que preenche todos os vazios da madeira (algo próximo ao que acontece na árvore viva).

Cavacos de madeira de eucalipto
Da esquerda para direita: absolutamente secos, secos ao ar e totalmente saturados

A umidade da madeira costuma ser apresentada em condições práticas de duas formas de cálculo:

$$\text{Teor de umidade base peso seco (\%)} = \{(P_{água}) : (P_{a.s.})\} \cdot 100$$

$$\text{Teor de umidade base peso úmido tal qual (\%)} =$$

$$\{(P_{água}) : (P_{úmido.tal.qual})\} \cdot 100$$

O teor de umidade com base no peso absolutamente seco é bastante utilizado pelas indústrias de madeira processada mecanicamente (produtos serrados, produtos de alto valor agregado, painéis e chapas de madeira, etc.). Já a indústria de celulose e papel prefere trabalhar mais nos conceitos de consistência e de teor de umidade base peso úmido tal qual.

$$\text{Consistência (\%)} = \{(P_{a.s.}) : (P_{úmido.tal.qual})\} \cdot 100$$

Obviamente, existe uma relação entre os dois tipos de umidade, que são conceitualmente muito próximas e se valendo de dados complementares para os seus cálculos. Uma relação matemática pode ser encontrada através da manipulação organizada das duas fórmulas de cálculo desses dois tipos de umidade.

$U_{b.s.}$ = Umidade base peso seco (valor unitário) = $\{(P_{água}) : (P_{a.s.})\}$

$U_{b.u.}$ = Umidade base peso úmido (valor unitário) = $\{(P_{água}) : (P_{úmido})\}$

Entretanto:

$(P_{a.s.}) = (P_{úmido}) - (P_{água})$

Ou então:

$$U_{b.s.} = \{(P_{água}) : [(P_{úmido}) - (P_{água})]\}$$

$$U_{b.s} = \{1 : [(P_{úmido}):(P_{água}) - (P_{água}) : (P_{água})]\}$$

$$U_{b.s.} = \{1 : [(1/(U_{b.u.}) - 1]\}$$

$$U_{b.s.} = \{(U_{b.u.}) : [(1 - (U_{b.u.})]\}$$

Vamos agora verificar como aplicar essa descoberta de forma prática. Para isso, seja uma amostra de madeira que tenha um peso

absolutamente seco de 70 gramas e um peso de água nela contida de 30 gramas.

$U_{b.s.}$ = Umidade base peso seco (valor unitário) = {($P_{água}$) : ($P_{a.s.}$)}

$U_{b.s.}$ = Umidade base peso seco (valor unitário) = {(30) : (70)}

$U_{b.s.}$ = Umidade base peso seco (valor unitário) = 0,4286

$U_{b.s.}$ = Umidade base peso seco (%) = 42,86 %

E ainda:

$U_{b.u.}$ = Umidade base peso úmido (valor unitário) = {(30) : (100)}

$U_{b.u.}$ = Umidade base peso úmido (valor unitário) = 0,30

$U_{b.u.}$ = Umidade base peso úmido (%) = 30%

Aplicando a fórmula desenvolvida para relacionar as duas maneiras de expressar umidade (em base valores unitários):

$$U_{b.s.} = \{(U_{b.u.}) : [(1 - (U_{b.u.})]\}$$

$$U_{b.s.} = \{(0,30) : [(1 - 0,30)]\}$$

$$U_{b.s.} = \{(0,30) : (0,70)\} = 0,4286 \cong 42,86\%$$

cqd = como se queria demonstrar

Alternativamente, pode-se também se criar uma fórmula simples para expressar a umidade base peso úmido tal qual em função da umidade base peso seco da madeira:

$$U_{b.s.} = \{(U_{b.u.}) : [(1 - (U_{b.u.})]\}$$

$$(U_{b.s.}) \cdot [(1 - (U_{b.u.})] = (U_{b.u.})$$

$$(U_{b.s.}) - [(U_{b.s.}) \cdot (U_{b.u.})] = (U_{b.u.})$$

$$(U_{b.u.}) \cdot [1 + (U_{b.s.})] = (U_{b.s.})$$

$$(U_{b.u.}) = (U_{b.s.}) : [\ 1 + (U_{b.s.})]$$

No caso do exemplo anterior onde se tinha uma peça de madeira com teor de umidade base seca de 0,4286, ficaríamos com os seguintes cálculos para se encontrar sua umidade base peso úmido:

$$(U_{b.u.}) = (0{,}4286) : [\ 1 + (0{,}4286)] = 0{,}30 \cong 30\%$$

cqd = como se queria demonstrar

O máximo teor de umidade não é uma situação vivenciada pelas árvores em sua vida diária. Apesar de bastante úmidas, as madeiras das árvores vivas não estão no máximo teor de umidade. Sempre existe algum vazio ocupado por ar, oxigênio, nitrogênio, gás carbônico ou outros gases que estejam presentes no corpo da árvore. Afinal, as árvores buscam o ar para sua fotossíntese e geram gás carbônico na respiração metabólica, como também oxigênio pela fotossíntese. Elas ainda consomem oxigênio no metabolismo das células vivas para queima metabólica de suas reservas, pela respiração.

Disco amostrado de árvore recém-abatida
Fonte: Gonçalves, 2009

Ao se abater uma árvore viva e se determinar o seu teor de umidade, temos que ter o máximo cuidado para evitar perdas de água

das amostras de madeira, o que acontece com facilidade, pois a água chega a escorrer de dentro dos discos ou toretes pela ação da gravidade. Por isso, a chamada Umidade ao Abate da madeira pode ser muito afetada pela metodologia de determinação. Além disso, existem fatores inerentes às árvores para afetar seus valores:

- Déficit hídrico ambiental;
- Sazonalidade;
- Período do dia quando se amostrar a árvore;
- Presença de água no solo;
- Nível de turgidez ou turgescência das folhas;
- Estado de abertura dos estômatos;
- Intensidade da evapotranspiração do povoamento florestal;
- Tipo de madeira (por exemplo: cerne e alburno podem ter densidades básicas diferentes e com isso apresentarem teores de umidade distintos na árvore viva);
- Cuidados metodológicos na amostragem e no envio das amostras coletadas para os ensaios, pois pode ocorrer perda de água da madeira recém-cortada.

De maneira geral, o teor de umidade no abate de árvores vivas tem-se mostrado ligeiramente abaixo do teor na máxima saturação da madeira com água. Isso tem sido mostrado em diversas pesquisas que relatam valores de umidade ao abate entre 3 a 5% menores, quando a densidade está expressa base peso úmido da madeira. Por exemplo, uma madeira amostrada no abate das árvores pode apresentar valores de umidade base peso úmido entre 60 a 62% e ao se ter essa amostra levada a plena saturação, pode apresentar teor de umidade de 65%.

Também aqui, o teor de umidade da madeira no abate das árvores se relaciona à sua densidade básica. Nada mais natural e entendível, pois madeiras mais densas possuem menor porosidade e menor volume de vazios com capacidade para ser preenchido com água.

Alguns métodos de medição de densidade básica se baseiam exatamente na relação que existe entre:

- Densidade básica do alburno ou da região mais exterior da madeira nas toras com a densidade média total da árvore;

- Teor de umidade e resistência da madeira;

- Resistência da madeira da parte externa da árvore com densidade básica.

Com isso, existem aparelhos como o Pilodyn, os torsiômetros e os resistômetros que tentam expressar a densidade média da árvore com base na resistência da madeira, em medições realizadas na árvore viva na região do DAP (do Diâmetro à Altura do Peito – ou 1,30 metros de altura em relação ao solo), ou em outras alturas padronizadas. Pelos valores de resistência da madeira úmida, estabelecem equações de correlação desses valores com a densidade básica média da árvore. Em alguns casos, esses métodos podem até apresentarem boas correlações, mas em outros casos, nem tanto. São métodos mais indicados para pré-seleção de árvores ou de plantações do que métodos com precisão suficiente para tomadas importantes de decisão.

A água que está presente nas madeiras das árvores vivas e depois nas toras colhidas pela colheita florestal está relacionada e afeta algumas características dessa madeira, as quais também se relacionam com as medições de densidade básica. Isso porque a água da madeira se relaciona muito às alterações de volume da madeira, algumas alterações sendo de caráter irreversível. Portanto, toras, discos, cunhas, cavacos e baguetas – todos são afetados pelas variações do teor de água da madeira.

Dentre as características da madeira que estão fortemente relacionadas à presença de água e aos seus movimentos e alterações podemos citar as seguintes:

- **Higroscopicidade**

É a capacidade que a madeira apresenta de interagir com a água ambiental, podendo absorver a mesma e a reter devido à polaridade da água e às forças eletrostáticas de alguns de seus constituintes, como a celulose e as hemiceluloses. Em função dessa higroscopicidade, a

madeira pode ter seu peso úmido e seu volume atual alterados conforme variarem as condições ambientais de umidade relativa, precipitação pluviométrica, temperatura, nível de insolação, etc.).

Toras ou árvores secando no campo para perda de água por secagem natural

- **Secagem**

Consiste na perda natural ou forçada da umidade da madeira. A secagem das peças de madeira está relacionada aos fluxos de liberação de água, tanto presente na macroporosidade (grandes vazios dos lúmens) como na microporosidade e capilaridade das paredes celulares.

Conforme a madeira cede água, seu volume pode se modificar. Isso passa a acontecer depois que a água livre presente nos grandes vazios de lúmens de vasos e fibras se perder. A partir do momento que a água das paredes celulares começar a deixar a madeira, ela começa a se contrair, dando origem a mais uma importante característica que é a contração ou retração volumétrica da madeira.

- **Contração ou Retração Volumétrica**

Consiste na redução do volume das peças de madeira, quaisquer que sejam os seus formatos ou dimensões. Inicialmente, a perda de volume é pequena, entre 3 a 6%, mas conforme a perda de umidade

avança, essa retração pode atingir valores de 15 a 20%. Isso acontece quando os teores de umidade despencam de 25% até 0% (esse último, no caso de madeira absolutamente seca).

A contração da madeira acontece nas direções de seu comprimento e diâmetro, existindo contrações dos sentidos longitudinais, radiais e tangenciais da estrutura da madeira.

A perda de água e a velocidade dessas mudanças em teor de umidade estão relacionadas aos valores de densidade básica da madeira. Quanto menor a densidade básica de uma madeira (por exemplo: 0,4 g/cm³), maior será a sua porosidade e maior também o potencial valor de teor de umidade das toras ao abate dessas árvores. Devido a essa alta umidade livre, a perda de água de madeiras de baixa densidade é rápida. Até mesmo porque a porosidade é maior e não há tantos empecilhos (como a água ter que atravessar paredes celulares) para dificultar a saída de água da madeira.

As madeiras mais densas demoram mais tempo para perder água, em função das dificuldades de movimentação e dos fluxos dentro da madeira. Com isso, a velocidade de secagem é mais lenta, o mesmo podendo acontecer com a contração volumétrica dessas madeiras. Logo, a contração volumétrica também está associada à quantidade de água na madeira e à sua densidade.

Apesar de todas as possíveis diferenças entre madeiras, quando os teores de umidade base peso úmido das peças de madeira de eucalipto estiverem entre 35 a 45%, a retração volumétrica da madeira já deverá estar em valores próximos (ou inclusive acima) de 5% do volume original encontrado nas árvores quando vivas e com madeiras bastante úmidas.

A contração volumétrica da madeira afeta muito as medições de volume de toras de madeira, que pode mostrar diferenças conforme o tempo de pós-corte. Toras de árvores abatidas e medidas logo após o abate possuem necessariamente maiores volumes do que toras previamente secadas no campo até teores de umidade entre 35 a 45%. Essas diferenças podem estar na faixa de 3 a 6% a menor em relação aos volumes originais determinados nas toras cubadas logo após o abate.

A contração da madeira tem sido relatada como acontecendo com maior intensidade em toras com madeira com grã-espiralada, pois

essa característica influencia na estabilidade dimensional das toras e das peças de madeira.

A secagem e a consequente contração do volume afetam também as medições de densidade aparente e densidade básica da madeira. Isso porque existe uma outra propriedade da madeira que está relacionada à secagem da madeira – que é a histerese.

- **Histerese**

A histerese na madeira se resume na dificuldade de reidratação da mesma, depois que a peça de madeira tenha sofrido secagem além do ponto de liberação de sua água livre, ou perda da água da macroporosidade. Conforme a água vai-se perdendo da madeira, passa a ocorrer uma aproximação muito intensa dos grupos hidroxilas da holocelulose presente nas microfibrilas. Essa aproximação favorece a formação de fortes ligações eletrostáticas entre muitos desses grupamentos e algumas moléculas polares de água, dentre outras. Essas ligações são tão fortes, com a secagem, que quando se tenta reidratar a madeira, a água não mais consegue penetrar em espaços onde antes ocupara. O inchamento da madeira se reduz em relação ao original, bem como a quantidade de água a ocupar espaços na mesma.

Com isso, o volume de uma peça de madeira que sofrera redução por contração, não mais recuperará o tamanho original. Devido à histerese, o inchamento mais restrito não permitirá que o volume seja resgatado, nem tampouco a água entrará na madeira nos mesmos níveis que ocorria, quando a madeira era "nunca-seca".

Disso posto, pode-se de imediato se concluir que é algo muito pouco aconselhável se secar peças de madeira para depois buscar hidratá-las e saturá-las para realizar testes de densidade básica. O volume, mesmo após intensa tentativa de hidratação, dificilmente voltará às condições que tinha na madeira original, que nunca sofrera secagem.

Ou seja, um disco, uma cunha, um cavaco ou qualquer peça de madeira que tenham sofrido secagem abaixo do ponto de liberação de sua água livre, dificilmente recuperarão os seus volumes originais, pela contração durante essa secagem e pela histerese que se manifestará. Isso é tanto mais verdadeiro, quanto mais seca estiver a madeira.

Melhor deixar então bem claro que não é nada recomendável se determinar a densidade básica da madeira em amostras de madeira que tenham sido secadas até sua umidade de equilíbrio com o ar (cerca de 10 – 12% de umidade). As tentativas de reidratação e inchamento por longos períodos de imersão, ainda que a vácuo, não conseguirão saturar as peças de madeira e as inchá-las para as mesmas condições que se tinham nas madeiras "nunca-secas" ("never-dried"). Obviamente, isso é tão mais difícil quanto maiores forem as peças de madeira sendo reidratadas.

Se alguém tiver que proceder a esse tipo de reidratação de peças secas, melhor dividir essas peças em pedaços menores (tamanho de cavacos) e depois deixar reidratando em equipamentos onde se possa aplicar vácuo para retirada do ar do corpo dos pedaços de madeira. Isso pode ajudar a reduzir o erro da medição do volume; porém, se o tempo de hidratação for muito longo (muitos dias ou semanas), pode-se incorrer em outro erro, que é o da dissolução de material orgânico da madeira para a água, em função de reações de hidrólise e de ataques microbiológicos na madeira.

Esse é um erro muito comum de acontecer na reidratação de cascas de árvores, muito sensíveis à liberação de materiais facilmente dissolvíveis em água e metabolizáveis por microrganismos.

É muito importante que não se cometam erros nas determinações da densidade básica, em função dela ser um excelente parâmetro de aferição da qualidade da madeira.

A principal vantagem da densidade básica sobre outros tipos de medição de densidade da madeira, é que o volume verde ou saturado, quando medido corretamente, é constante nessas condições de saturação e não se contrai ou incha.

Acontece amigos, que todas as fábricas que usam a madeira do eucalipto como matéria-prima industrial não trabalham com madeira verde ou saturada. Elas recebem toras de madeira, que foram deixadas estocadas durante algumas semanas na própria área florestal ou nos pátios de estocagem de madeira para perder peso. Com isso, economiza-se no transporte (e no manuseio) e se favorecem algumas propriedades no desempenho das madeiras para algumas utilizações. Assim sendo, acompanhando essa perda de umidade, algum nível de contração da madeira (e de histerese) definitivamente também terão acontecido, quando as cargas chegarem nas fábricas.

O volume atual e recebido das toras dificilmente corresponderá ao volume saturado ou verde, o que acontecia no momento do abate das árvores ou no seccionamento dessas toras. Acredito que esse seja um dos principais fatores que empresas e técnicos do setor precisam estar atentos. Muitos técnicos usam valores de densidade básica para relacionar peso de madeira com volumes consumidos nas fábricas (medidos no recebimento das toras), mas esses volumes (verdes/saturados comparativamente aos parcialmente secos do recebimento das toras) são definitivamente diferentes em seus valores numéricos.

Deve-se também entender que todas as medições de toras de madeira que entram em processos industriais são expressas com base em valores de volume de um material misto de madeira, casca e contaminantes (folhas, galhos, areia). São esses valores de volumes que são utilizados nos cálculos de consumo específico de madeira. Todo esse material florestal sofreu uma secagem prévia no campo e não se encontra mais na forma verde e saturada, como se encontrava na floresta em pé, antes de ser colhida. Essa secagem acaba provocando uma contração volumétrica das toras (madeira e casca) em cerca de 2 a 6%, dependendo da intensidade da secagem e do clone. Caso essa secagem seja mais prolongada, essa contração poderia ser inclusive maior.

Repeti isso diversas vezes para lhes mostrar o tipo de erro que muitos podem estar cometendo.

Existem, portanto, diferenças significativas entre os valores de densidade básica da madeira (somente madeira) e a densidade do material referida como "Densidade Aparente da Madeira no Recebimento", que engloba madeira, casca, galhos, etc. Essa densidade é facilmente calculada pela seguinte relação - peso seco da carga recebida em um caminhão pelo volume de material medido da mesma carga. A medição do volume de madeira pode ser feita manualmente (em estéreo e depois convertida em metros cúbicos sólidos); por medidores baseados em "scanners" ou por métodos de imersão em água (princípio de Arquimedes).

Mesmo incluindo galhos, folhas e casca, as densidades medidas como densidade aparente na recebimento das cargas de madeira são superiores às densidades básicas da madeira, e esses valores correspondem a diferenças entre 2 a 6%, dependendo do comportamento dos fatores antes relatados (contração volumétrica da madeira, teor de casca e outras impurezas, intensidade de secagem das

toras, perda de peso seco por deterioração, precisão do equipamento ou do método de medição de volumes, precisão das balanças, etc.).

Esses, dentre outros fatores, são responsáveis por erros nos balanços de massa da matéria-prima lenhosa que é utilizada nas fábricas do setor de base florestal. Um dos principais problemas encontrados é o não fechamento dos balanços de massa ou de volume entre o que existe de madeira disponível nas florestas (medições do inventário florestal) e o que se recebe e se consome de madeira. Já vi alguns amigos que tenho no setor passarem por sérios constrangimentos e até mesmo perderem suas posições na gestão de unidades empresariais pelo não fechamento desses balanços de disponibilidade e uso de madeira. É claro que essas diferenças só podem acontecer mesmo – existem perdas de madeira, existe a contração do volume, existe um material misto sendo recebido que não é só madeira. Porém, os cálculos de disponibilidade acabam sendo feitos com base em densidade básica apenas da madeira.

Sem levar em conta as perdas e as contrações volumétricas – só podemos ter diferenças mesmo!

Madeira sendo recebida em unidade industrial após secagem natural na floresta

A madeira de processo é algo que pode ser muito variável em qualidade
Isso precisa ficar bem claro a todos

RELAÇÕES DA DENSIDADE BÁSICA COM OUTRAS PROPRIEDADES DA MADEIRA

Existem algumas razões para justificar o interesse dos técnicos pelos cálculos da densidade básica, embora às vezes seus valores possam ser utilizados de forma enganada, como vimos em caso de madeiras parcialmente secas e que sofreram contração volumétrica e histerese.

Em geral, os técnicos estão interessados em conversão de volumes de madeira para pesos secos, e isso costuma acontecer para:

- Estoques de madeira empilhada e medidas em volumes referidos a estéreos;

- Volumes de madeira referenciados em metros cúbicos sólidos, em florestas formadas em crescimento ou em estoques de madeira recebidos e estocados nas fábricas;

- Volumes de pilhas de cavacos de madeira ou fluxos volumétricos de cavacos alimentando digestores, desfibradores ou fornalhas de caldeiras de biomassa;

- Produtividade florestal equivalente a massa seca de madeira ou a produtos equivalentes, como IMACel, IMACarvão e IMAChapas.

A densidade básica da madeira fornece muitas outras indicações sobre desempenhos operacionais e qualidades e especificações de

produtos em fabricação. Algumas dessas relações possuem altos níveis de impacto nos processos de conversão da madeira ou sobre a performance dos produtos para venda.

A densidade básica da madeira costuma ter relação com a constituição química e com as proporções e dimensões dos elementos anatômicos que formam a estrutura dessa madeira. Portanto, anatomia e química da madeira afetam e se relacionam aos valores de densidade básica. Na verdade, não é a densidade básica que define essas características – são elas, que se arranjam de tal forma, que impactam e resultam nos valores de densidade básica.

O fato importante é que as medições de densidade básica ajudam a predizer o desempenho das matérias-primas lenhosas para as fábricas. Melhor que isso, o controle adequado da densidade da madeira pode ajudar a se terem operações mais estáveis, produtos vendáveis mais homogêneos e até mesmo diferenciados em relação aos da concorrência.

A densidade básica pode oferecer indicações de situações de otimização fabril, assim como permite se antever e controlar muitas operações fabris com mais efetividade. Isso acontece para produtos como celulose e papel, painéis e chapas de madeira, carvão vegetal, biomassa energética, produtos serrados - e agora, os novos produtos em evolução nas biorrefinarias de biomassa florestal.

Centenas (ou mesmo milhares) de artigos técnicos podem ser encontrados na literatura brasileira, mostrando a importância da densidade básica para diversos produtos fabricados com madeiras de eucaliptos. Alguns desses artigos podem ser considerados verdadeiros referenciais históricos, mostrando muitas dessas relações para os mais diversos setores de manufatura de produtos madeireiros.

Na seção **Referências da Literatura e Sugestões para Leitura** selecionamos e lhes apresentamos mais de 280 referências técnicas, em muitas das quais são encontradas verdadeiras pérolas da literatura técnica sobre densidade básica e qualidade das madeiras de eucalipto.

Já vimos também que conforme o tipo de processo e de produtos originados da madeira do eucalipto, as qualidades das madeiras podem ser diferentes, às vezes ligeiramente, outras vezes, significativamente. Sabe-se muito bem, que as qualidades desejadas nas madeiras dos eucaliptos para fabricação de celulose, papel e painéis de madeira

podem ser bem diferentes às que se desejam para produção de biomassa energética e de carvão vegetal.

Existem correlações muito bem conhecidas e comprovadas entre densidade básica e outras propriedades das madeiras de eucalipto. Desde que estejamos tratando de clones e espécies afins, a densidade básica da madeira se relaciona muito fortemente com:

- Espessura da parede das fibras (++++)
- Fração parede ou relação percentual entre espessura da parede celular e raio da fibra (++++)
- Índice de Runkel das fibras (++++)
- "Coarseness" das fibras (++++)
- População fibrosa das polpas celulósicas (---);
- Diâmetro das fibras e diâmetro do lúmen das fibras (---)
- Relação Alburno/Cerne para árvores até cerca de 10 anos de idade em condições brasileiras (+)
- Relação lenho inicial/lenho tardio (---)
- Teor de fibras (+++)
- Teor de células de parênquima (---)
- Teor de elementos de vaso (---)
- Diâmetro dos elementos de vaso (--)
- Teor de extrativos da madeira (++) – válido para árvores de maior idade
- Teor de celulose (++) – função da espessura da parede secundária, com maior proporção de camada S2
- Consumo de produtos químicos na polpação kraft (+++)

- Rendimento depurado na polpação kraft (--)
- Teor de rejeitos na polpação kraft (++)
- Rendimento volumétrico na produção dos digestores de fabricação de celulose (+++)
- Consumo específico de madeira na fabricação de celulose (----)
- Consumo específico de madeira na fabricação de painéis e chapas (MDP, MDF e Chapas Duras) (---)
- Propriedades do papel que dependem da ligação entre fibras (---)
- Propriedades do papel que dependam da resistência e rigidez das fibras individuais (++)
- Propriedades de chapas que dependam da resistência das fibras individuais (++)
- Propriedades mecânicas da madeira (++++)
- Volume específico aparente, porosidade, maciez de folhas de papel (+++)
- Lisura das folhas de papel (--)
- Densidade energética do carvão ou da biomassa florestal (+++)
- Trabalhabilidade da madeira para produtos serrados (---)

Etc. – etc., etc.

Quando um determinado clone de eucalipto sofre um melhoramento que contempla como fator de seleção ou aperfeiçoamento a densidade básica da madeira, estaremos atuando concomitantemente não apenas sobre a densidade, mas sobre inúmeras outras características anatômicas, físicas, mecânicas e de desempenho da sua madeira.

Por isso digo e afirmo os seguintes pontos vitais:

- "Densidade básica não é causa, mas sim consequência da atuação do melhorista florestal ou dos técnicos das fábricas sobre outros inúmeros parâmetros de qualidade da madeira, ou então sobre o processo metabólico de formação da madeira".

- Já vimos isso, mas é bom repetir: "densidade básica não é uma propriedade pura e linear – ela é resultante de múltiplos fatores de qualidade, que acabam resultando em um valor de densidade básica, que pode às vezes ser conseguido de uma forma e às vezes de outra".

- "É exatamente por isso, que é interessante não usar todos os cartuchos apenas na densidade básica como parâmetro de qualidade da madeira, mas nela e em alguns outros. No caso das madeiras de eucalipto para produção de celulose podem ser: densidade básica, teor de lignina, tipo de lignina (relação Siringila/Guaiacila), teor de extrativos, rendimento em conversão da madeira em celulose, dentre outros".

- "A densidade básica pode não ser o único parâmetro de qualidade, mas ela é definitivamente muito importante, principalmente em função de suas correlações com outras características importantes da madeira, como já vimos; e de sua facilidade de mensuração".

Amostrando árvores para avaliações de qualidade da madeira

DENSIDADE BÁSICA DA CASCA DAS ÁRVORES DOS EUCALIPTOS

Os eucaliptos de cascas lisas são os mais comuns como espécies de reflorestamento para uso industrial. Com a continuada queda de cascas mortas no solo devido à troca anual de parte da casca externa (fenômeno conhecido como ritidoma), junto com folhas e galhos mortos, há uma grande ciclagem de nutrientes entre solo e planta. Também, para o uso comercial da árvore, o tronco ficará com menos casca, tanto em espessura, como em peso e volume. As cascas lisas são também mais facilmente removidas nas operações de descascamento das árvores. Podem ainda terem sucesso em aplicações industriais, quando misturadas às madeiras – como o caso de fabricação de chapas de madeira.

Como a casca das árvores consiste em uma parte menos valiosa nas utilizações industriais, quanto menor é seu teor nas árvores, melhor é a árvore para fins comerciais. Por isso, o teor de casca, é inclusive um fator considerado no melhoramento genético das árvores. Isso significa, que dentre outros parâmetros de qualidade buscados nas árvores para sua viabilidade comercial, o teor de casca é um deles.

A quantidade de casca nas árvores varia com a espécie, com a idade cronológica e fisiológica, com o tamanho das árvores, e com a estação do ano. Não é tão simples a determinação da quantidade de casca nas árvores, como pode parecer. Isso porque a casca não forma

uma capa uniforme sobre o tronco. Há irregularidades em sua espessura e o desprendimento do ritidoma colabora ainda mais para agravar essa desuniformidade. Entretanto, na maioria das vezes, não se busca uma quantificação exata e matemática desse valor, mas sim uma aproximação a melhor possível, para se saber realmente a quantidade de madeira e casca que as árvores fornecerão no momento da colheita. Há sempre algumas confusões envolvendo as expressões de produtividade florestal, pois alguns mostram incrementos florestais de árvores com sua casca e outros o fazem apenas de madeira, descontando a casca, já que a finalidade maior da floresta é produzir madeira e não casca.

Ao se inventariar uma área plantada com *Eucalyptus*, pode-se relatar tanto os volumes de madeira como os de casca esperados que sejam produzidos por hectare de floresta. Trata-se então de uma quantidade bruta de casca disponível para uma determinada área plantada, por exemplo, metros cúbicos de casca por hectare. Por uma simples relação com a densidade básica da casca da árvore viva, pode-se transformar isso em peso seco de casca por hectare (toneladas absolutamente secas por hectare).

Outra forma de se relatar a quantidade de casca é porcentualmente (base volume ou base peso), mas em relação a que base? Há duas opções mais comuns para se determinar esses valores médios: base volume ou base peso total da árvore (ou do povoamento). A outra , é base volume ou peso de madeira produzida. A forma mais usual é se relatar a porcentagem de casca média da árvore comercial base seu volume comercial (madeira mais casca da base até um diâmetro de cerca de 4 a 6 cm).

Há alta correlação inversa entre o crescimento da árvore e a porcentagem de casca. Árvores maiores (em diâmetro e altura) de uma mesma espécie e a uma mesma idade, tendem a ter menor percentual de casca. Isso significa que a árvore é mais especializada em "fabricar" madeira do que casca. Além disso, a casca está sendo continuamente perdida por esfoliamento do ritidoma.

A influência da idade da árvore está também relacionada às suas dimensões e ao fenômeno de perda de casca por queda do ritidoma. Árvores mais jovens, com menor diâmetro, possuem proporcionalmente maior teor de casca em relação às árvores mais adultas, de porte mais avantajado. Entretanto, apesar de porcentualmente esses teores serem menores nas árvores mais maduras, a quantidade total de casca (em metros cúbicos ou toneladas por hectare) é maior nos povoamentos

mais velhos que em povoamentos mais jovens. Isso, pela maior dimensão de suas árvores. Fácil de entender, mas sempre motivo de confusão por falta de entendimento nas comunicações entre as pessoas.

Há espécies muito cascudas, que chegam a ter entre 25 a 30% do volume de seu tronco comercial como sendo casca. As espécies comerciais de eucaliptos de reflorestamento possuem entre 10 a 18% do volume de seu tronco comercial como sendo de casca. As árvores clonais melhoradas geneticamente para alto incremento volumétrico mostram entre 9 a 12% de casca em volume. Povoamentos comerciais de eucaliptos de menor incremento apresentam entre 15 a 20% de casca no volume das árvores.

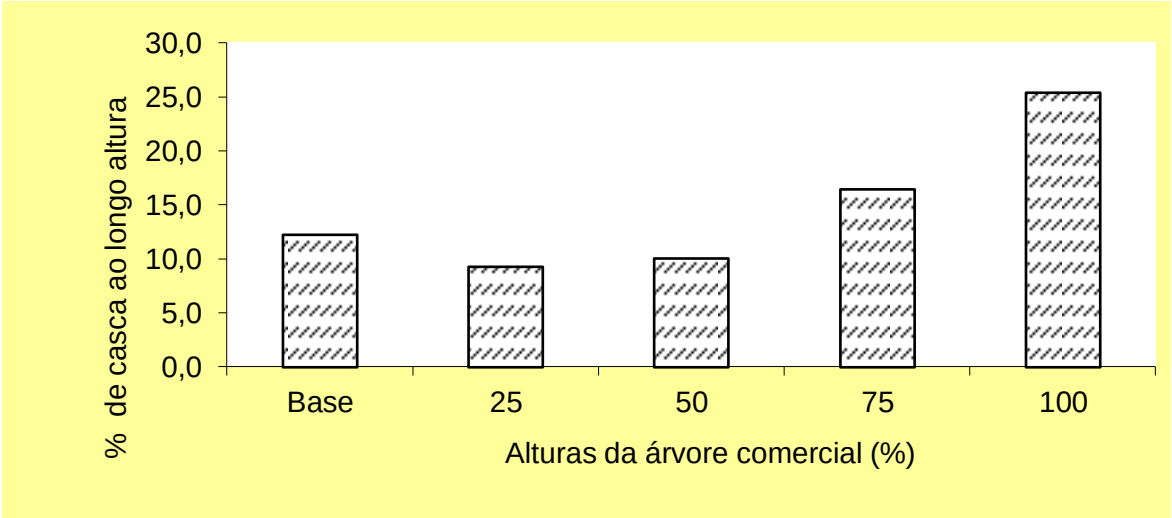
A quantidade de casca nas árvores depende de inúmeros fatores, entre os quais o tipo de casca e o estágio de melhoramento genético do material em questão. As espécies que perdem a casca externa morta possuem menor espessura de casca ao longo de seu ciclo, o que é muito bom para a floresta (ciclagem de nutriente) e para o usuário da floresta (maior percentual de madeira na colheita). Isso quando o objetivo principal da floresta é a madeira. Se for exatamente a casca devido a presença de óleos ou para a extração de taninos, então a situação se modifica.

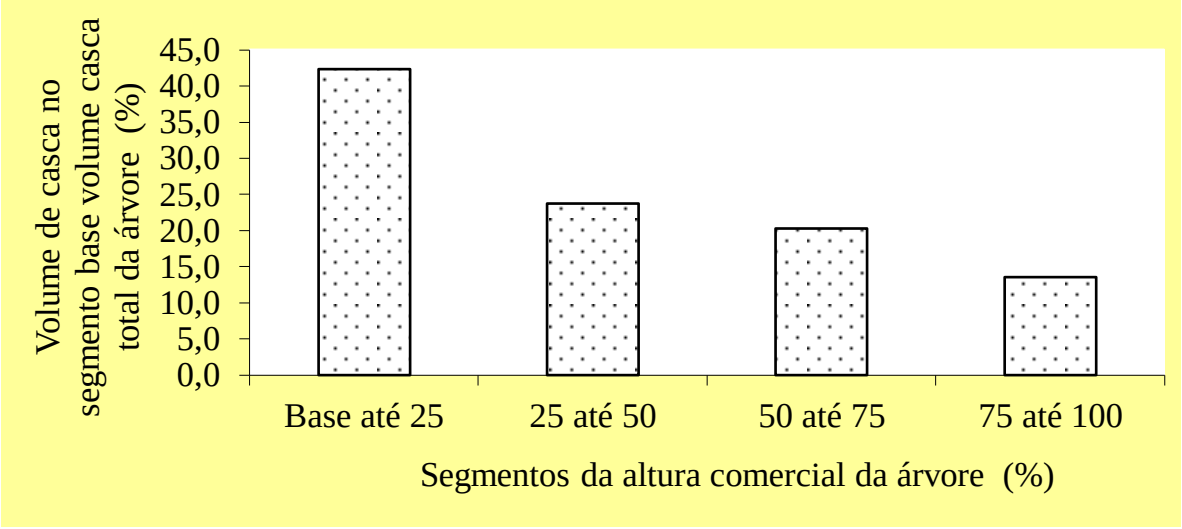
Apesar das árvores de maior DAP (Diâmetro à Altura do Peito) tenderem a mostrar menor porcentagem volumétrica de casca, não se pode afirmar que para a mesma árvore, a proporção de casca diminui com o aumento do diâmetro do disco. O que ocorre pode ser até mesmo o inverso, dependendo da região da árvore. A árvore, com sua conicidade, vai diminuindo seu diâmetro da base até o topo. A espessura do anel de casca também diminui, pois nas alturas maiores, a casca é muito mais delgada e jovem, até mesmo infantil no topo da árvore. Entretanto, nessa região do topo, o diâmetro do xilema é também muito pequeno. A atividade da casca é muito intensa nessa região, pois ela já deve estar recebendo para translocar enormes quantidades de seiva elaborada formada pelas folhas e ramos da copa, tecidos clorofilados em alta atividade. A seiva orgânica descerá pela casca para outras regiões vitais da árvore, onde necessária, como outros ramos, xilema, raízes, etc.

Resultado disso, a porcentagem de casca em relação ao xilema varia com a altura da árvore. Na sua base, pode ocorrer alta proporção de casca, pois predomina a casca morta externa, que a planta tende a manter para se defender das adversidades que podem afetar sua base e suas raízes superficiais. No topo da árvore, pelo menor diâmetro do

tronco e pela grande necessidade de translocar a recém produzida seiva orgânica, a proporção de casca é também alta em relação ao xilema juvenil dessa região. Na região mediana da altura da árvore, a proporção de casca é menor. Nessa região, ocorre o melhor balanceamento entre fluxo de seiva e proporção de casca viva interna para fazer essa função de movimentação descendente da seiva orgânica. As diferenças percentuais em teor de casca não são grandes, mas esses teores estão em um mínimo de 8 a 12% nas regiões de menos casca, até cerca de 20 a 25% nas regiões de maior teor de casca (topo e ramos finos). O xilema sempre é o tecido principal do tronco, não importa a altura da árvore ou a espécie de eucalipto em questão.

Vejam-se a seguir dados de *Eucalyptus saligna* com 7,5 anos de idade:





Em plantações comerciais de *Eucalyptus*, cerca de 65% do volume da casca do tronco comercial da árvore encontra-se na metade inferior dessa altura e cerca de 85% da casca até 75% da altura. Os ponteiros, que oferecem toras finas, representam menos de 10% do volume comercial do fuste, mas possuem cerca de 15% da casca do tronco. É por isso, que em algumas situações, esses ponteiros finos recebem manejo especial, sendo destinados para biomassa, inclusive sem serem descascados. Isso porque são difíceis de serem descascados, ou no campo, ou nos descascadores industriais a tambor. Como geram toras finas, as dificuldades no descascamento são inevitáveis, bem como os rendimentos são menores nessa operação.

A casca dos eucaliptos possui densidade básica menor que a madeira, já que ela se mostra porosa na parte morta e pouco fibrosa nas camadas internas vivas. Suas células são destinadas para reserva de extrativos e transporte de seiva elaborada. Elas não têm função de sustentação da árvore, como as células de xilema. Por isso, não exigem paredes muito espessas e com alta fração parede. Até mesmo o conteúdo de fibras é bem menor do que para a madeira.

A densidade básica da casca do eucalipto varia entre 0,24 até 0,40 g/cm³ (mais usual entre 0,3 a 0,35) e a da madeira entre 0,4 até 0,6 g/cm³. Por isso, a proporção de casca no peso da árvore é menor do que no volume. Valores mais usuais para as espécies de reflorestamento mostram que a casca representa entre 8 a 12% do peso do tronco comercial.

A menor densidade básica da casca, bem como seu tecido poroso, faz com que ela tenha mais espaço para reter água ou ar. Por isso, e também pela lavagem das toras nas operações industriais, a umidade da casca pode ser muito alta. Isso não acontece, quando as toras ficam aguardando estocadas muito tempo antes de serem enviadas para consumo nas fábricas, pois a casca das árvores abatidas perde água muito facilmente, por ser a parte mais externa das toras, e em contato direto com o ar.

Como já vimos, existe altíssima relação entre a capacidade de retenção de água de um material fibroso e sua densidade básica. Quanto mais baixa a densidade básica (Db), mais espaço existe como vazios para serem preenchidos por água. Uma casca de Db igual a 0,35 g/cm³ conseguiria ter quase 70% de umidade ocupando seus espaços vazios na sua máxima capacidade de absorção, isso sem considerar a água livre nas superfícies que ela ainda poderia reter. Definitivamente uma esponja.

Muitas vezes, a casca acaba sendo considerada um combustível de segunda categoria, pois acaba quase sempre carregando muita umidade para as fornalhas das caldeiras. Essa umidade pode ser interna da própria casca da árvore ou água adicionada na lavagem das toras. Umidade e densidade das cascas são duas propriedades fundamentais para se eleger opções para seu uso e manuseio.

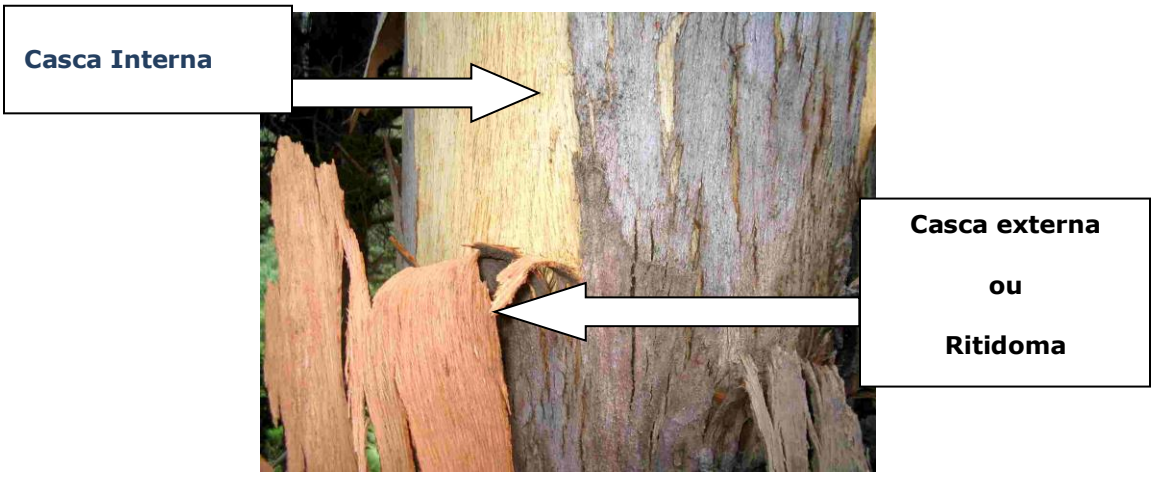
No abate das árvores, tanto a madeira como a casca estão bastante "verdes" ou muito úmidas. Há uma íntima relação entre densidade básica e teor de umidade no máximo de saturação , como já mencionado. Para espécies que possuem baixa densidade básica, como *E.grandis* e *E.nitens*, a umidade é altíssima em ambos, no momento do abate das suas árvores. Povoamentos de *E.grandis*, abatidos aos 8 anos de idade, têm mostrado densidade básica da casca tão baixas como 0,28 g/cm³ e umidade da casca no abate de 71,8%. Essa umidade em geral está muito próxima ao que seria obtido na máxima saturação do material, ou seja, cerca de 74,6%. Já a madeira das mesmas árvores mostrando Db de 0,486 g/cm³, mostram umidade ao abate de 53,63% e umidade ao máximo teor de umidade de 58,59%.

Resumidamente, árvores recém-abatidas são bastante úmidas, quer sejam suas madeiras ou suas cascas. Esses valores dependem da densidade dos materiais e das condições ecofisiológicas do povoamento.

Uma das grandes dificuldades para se medir a densidade básica das cascas de árvores do *Eucalyptus* é que o método se baseia em saturar o material com água para se obter o chamado volume verde ou

saturado. Para isso, o corpo de prova permanece imerso em água por alguns dias. Como a casca possui elevada solubilidade em água , mesmo fria, a perda de peso é considerável. Isso exige uma correção do cálculo da densidade, determinando-se a perda em peso das cascas imersas em água. Toda vez que se realizar a avaliação da densidade básica de cascas de *Eucalyptus*, deve-se paralelamente se executar uma avaliação de perda de peso devido a imersão em água do material. A seguir, deve-se corrigir o valor do peso seco antes de se calcular a Db. Essa perda de material orgânico causa inclusive uma coloração escura na água onde a casca fica mergulhada. Perdas de peso de até 10 a 15% são relatadas. Perdem-se: minerais, açúcares, corantes naturais, ácidos orgânicos, etc.

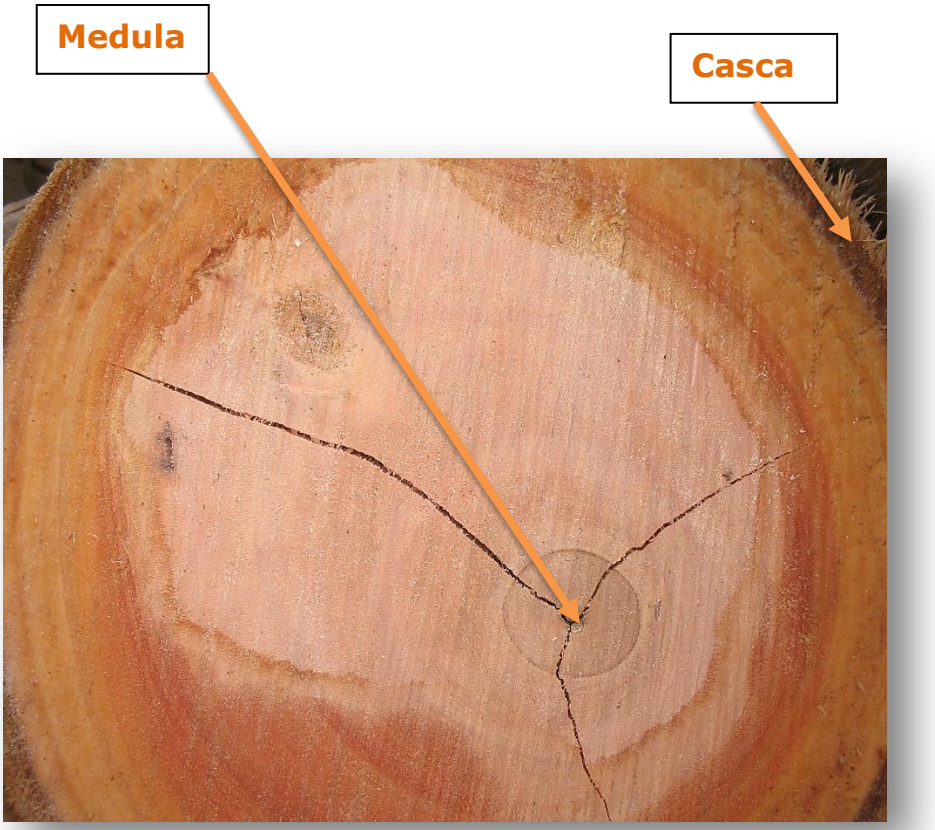
O mais recomendado é amostrar as cascas na árvore viva e evitar que essas amostras se sequem, o que dificulta a reidratação do material. Deve-se amostrar o material verde e trazer de imediato ao laboratório para se realizar o teste de determinação de densidade básica, após mínima impregnação com água. As amostras colhidas no campo podem vir para o laboratório dentro de sacos plásticos previamente tarados. Com isso, pode-se facilmente determinar o teor de umidade das cascas no abate ou na coleta das amostras das árvores vivas. Também se previne a perda de água das amostras da casca, reduzindo ao mínimo o tempo para sua saturação.



Outro problema no que diz respeito às determinações de densidade básica de cascas ocorre quando as amostras são colhidas de toras já submetidas à secagem natural na área florestal ou nos pátios de estocagem de toras. Essa casca ressecada é ávida por absorver água. Ela se reidrata logo, mas também perde peso pela dissolução de materiais.

Quando se quiser determinar a densidade aparente da casca, ou seja, na umidade em que se encontra o material, o método pela imersão em água precisa ser executado com cuidados, pois se o tempo de imersão for longo, a casca ficará absorvendo água e o seu volume será subavaliado em relação ao real. Recomenda-se que o tempo de imersão não ultrapasse 10 segundos para se aplicar o princípio de Arquimedes em materiais secos, independentemente de ser casca ou peças de madeira.

VARIABILIDADE DA DENSIDADE DA MADEIRA



As madeiras dos eucaliptos costumam mostrar ampla variabilidade em algumas de suas características, mesmo que elas sejam obtidas de um mesmo clone, espécie ou idade da árvore. Como a densidade básica é consequência de diversas dessas características variáveis, ela também mostra variabilidade, a qual se deve a parâmetros genéticos, ambientais, idades, localizações das amostras nas árvores, etc.

Embora a silvicultura clonal de florestas plantadas de eucalipto tenha conseguido reduzir bastante a variabilidade das árvores em suas dimensões a uma mesma idade e sítio de crescimento, a variabilidade das características da madeira continua a existir, apenas que em menores níveis de desvios padrões ou de coeficientes de variação.

As empresas industriais que usam a madeira dos eucaliptos gostariam que a variabilidade da qualidade da madeira fosse a menor

possível. Com isso, ganhariam em produtividade de seus processos e em qualidade de seus produtos, desde que essa qualidade estivesse dentro de valores desejados. Portanto, cabe aos gestores florestais usarem de sua criatividade e conhecimentos técnicos para tentarem domar essa variabilidade e entregarem às unidades industriais as requeridas madeiras com maior uniformidade e homogeneidade nas propriedades especificadas.

A densidade da madeira é uma característica fácil de ser medida, seja por métodos tradicionais ou por métodos rápidos, destrutivos ou não-destrutivos das árvores. Como ela se relaciona com tantas outras características das madeiras, ela tem sido sempre uma das primeiras das propriedades determinadas para as madeiras de uso industrial.

Sabemos que a densidade básica varia com a posição onde se colhem as amostras das madeiras nas árvores, varia entre árvores do mesmo povoamento florestal, varia com a idade das florestas, varia entre espécies ou clones e ainda com o ambiente onde está se desenvolvendo a floresta. Todos esses fatores acabam causando essa ampla variabilidade, pois afetam o crescimento das árvores e o seu processo metabólico de formação de madeira pelo câmbio. Conforme o tipo, o arranjo, a proporção e a localização dos elementos anatômicos e constituintes químicos que formam as madeiras, poderemos ter resultados distintos para a densidade básica da madeira.

Portanto, a variabilidade da densidade básica tem como causas:

- Estrutura anatômica da madeira (teores de fibras, células de parênquima, elementos de vasos; dimensões desses elementos; espessura de suas paredes celulares; proporção de lenho inicial ou tardio; proporção de cerne ou alburno, etc.).

- Composição química da madeira, em especial dos teores de celulose nas paredes celulares e extrativos presentes como tiloses, bolsas de resina, substâncias de reserva em vacúolos em células de parênquima, etc.

- Propriedades físicas das madeiras, como porosidade, capilaridade e proporções de paredes celulares por unidade de volume de madeira.

Aumentar ou diminuir a densidade básica da madeira em programas de melhoramento genético florestal significa não apenas

tentar domar e obter os desejados valores para densidade básica, mas também em alterar inúmeras outras dessas características da madeira, as quais acabam por resultar nos valores de densidade básica almejados pelos melhoristas. Por essa e por outras causas é que as determinações de densidade básica precisam ser complementadas pelas avaliações anatômicas e químicas das madeiras.

Praticamente todos os engenheiros florestais, que trabalham com a produção de florestas de eucalipto, conhecem a importância da densidade básica. Ela costuma ser índice de especificação de qualidade das madeiras para inúmeros usos industriais das mesmas. Todos esses engenheiros florestais já devem ter ouvido dos usuários dessas madeiras, que um determinado clone, uma determinada espécie ou uma região onde crescem as florestas mostram resultados distintos para desempenho das madeiras sendo produzidas. Por isso, costuma-se dizer, que a qualidade da madeira pode ser a principal razão para o sucesso ou o fracasso no uso industrial da mesma, desde que ela esteja disponível em quantidades volumétricas adequadas. Exagero ou não, todos sabem que qualidade da madeira é fundamental - felizmente essa é uma realidade que já se firmou no setor de base florestal plantada.

Conhecendo-se os fatos de que a densidade básica varia em função de tantos fatores - e já que um mesmo valor numérico de densidade básica pode não significar mesmo desempenho industrial na conversão da madeira - porque ela é tão importante para o setor de base florestal? A razão para isso é simples: embora existam situações extremas onde essas dissintonias possam ocorrer, o controle da densidade básica das cargas de madeira recebidas pelas empresas industriais acaba por estabilizar os fluxos mássicos de matéria-prima e os consumos específicos de madeira na produção de celulose, carvão vegetal, painéis de madeira, termoeletricidade, etc., etc.

Como a madeira é comprada, transportada, transferida e manuseada com base em volumes de toras ou cavacos, ao se determinar e se estabilizar a densidade básica, estaremos homogeneizando e otimizando tanto os fluxos volumétricos como os mássicos. Dominando esses dois tipos de fluxos, e sim a partir daí, é que os técnicos industriais podem tentar inovar em diferenciação de produtos e de distintos níveis de qualidade no que vão produzir para seus clientes.

Tomando como premissa fundamental que o controle, o monitoramento e a estabilização da densidade básica são vitais para quaisquer dos produtos fabricados com madeiras de florestas de

eucalipto, e muito importante que se conheçam as fontes de variação dessa densidade básica, para poder se atuar sobre as mesmas. Esse conhecimento permite estabelecer estratégias de ações para domar a variabilidade e melhorar o desempenho industrial.

Existem empresas industriais que preferem trabalhar com madeiras obtidas de árvores jovens, entre 6 a no máximo 7 anos de idade, porque querem valores mais uniformes de densidade básica e menores teores de extrativos e de proporção de cerne nas toras. Outras preferem trabalhar com clones intraespecíficos e não com clones interespecíficos, para com isso manter mais uniforme ainda a qualidade dentro dos suprimentos de madeira. Também existem empresas que fixam com rigor as faixas de densidade básica que podem receber nas fábricas. A partir daí, monitoram suas florestas e criam planos de entrega e estocagem de madeira de forma a se atingirem valores médios de densidade básica dentro dessas faixas de aceitação.

Também é comum o inventário florestal incluir o monitoramento das densidades básicas para permitir predições do momento ideal de colheitas florestais dentro dos planos de suprimento de "madeiras ideais" para as fábricas.

Para os técnicos florestais que produzem a madeira, é vital que eles conheçam o que precisam produzir e quais as fontes de variação que precisam controlar. Só assim, com adequados níveis de informações e conhecimentos é que poderão trabalhar bem e atingir as metas de melhoria contínua.

As principais causas de variabilidade da qualidade da madeira, e por extensão de sua densidade básica, são as seguintes:

1. Espécie de *Eucalyptus*

A decisão sobre qual espécie de *Eucalyptus* utilizar nas plantações pode agregar ou desagregar competitividade à toda a rede de valor em questão. Muitas vezes, a decisão sobre a espécie obedece critérios meramente silviculturais ou de adaptabilidade a uma determinada região (clima, solos, pragas, doenças, etc.). São esquecidas algumas características típicas de cada espécie em suas madeiras, tais como: teor de lignina, relação S/G na lignina, densidade básica da madeira, freqüência e dimensões dos elementos de vaso, teor de hemiceluloses, consumo específico da madeira, teor e tipo de

extrativos, população fibrosa das fibras celulósicas, etc. Poderemos ter excelentes e adaptadas espécies, maravilhosas florestas e árvores, mas madeiras pouco atrativas para os processos industriais a que se destinam.

Em situações como essa, onde uma espécie não muito adequada tecnologicamente é definida para a floresta e não há como voltar atrás, melhor então focar muito bem o que vamos construir como unidade industrial consumidora dessa madeira para tentar minorar os impactos da qualidade da madeira.

Existem diversos exemplos sobre espécies de *Eucalyptus* com características bem diferenciadas nas madeiras e que podem interferir nos processos de fabricação industrial e nos produtos resultantes.

Vejam alguns casos:

- *Eucalyptus grandis, Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus nitens*: são espécies, que em geral nas plantações florestais produzem madeiras de baixa densidade básica (0,40 a 0,48 g/cm³). Sem um adequado melhoramento genético, acabarão demandando altos volumes de madeira como consumo específico para alguns tipos de produtos industriais.

- *Eucalyptus deglupta*: espécie que mostra baixa densidade básica nas madeiras de plantações e com elevada proporção de elementos de vaso de dimensões maiores.

- *Eucalyptus urophylla*: espécie com madeira rica em lignina total (praticamente 30% do peso), baixa relação S/G na lignina, densidade básica de média a alta e em níveis de 0,5 a 0,6 g/cm³, alta adaptação a condições climáticas, especialmente tropicais. Ideal para usos energéticos e hibridações em programas de melhoramento florestal.

- *Eucalyptus globulus*: espécie com elevado teor de hemiceluloses e baixo de lignina nas suas madeiras, além de alta relação S/G. Por sua mais alta densidade básica nas madeiras (0,5 a 0,6 g/cm³) e fácil deslignificação é uma matéria-prima muito apreciada pelos fabricantes de celulose.

- *E.paniculata, E.cloeziana, Corymbia citriodora*: espécies reconhecidas pela alta densidade da madeira, por essa razão exigindo condições especiais na área de preparo de cavacos.

- *Eucalyptus dunnii, E.benthamii e E. maidenii*: espécies de bom crescimento em regiões meridionais frias e com madeiras de média densidade e médios a baixos teores de lignina.

Como visto acima, cada espécie tem características florestais e tecnológicas próprias para suas madeiras. Pelas técnicas de hibridação e cruzamentos controlados, e depois clonagem dos indivíduos superiores selecionados, as espécies podem transferir genes para esses híbridos. Isso permite excelentes combinações nas características das florestas, madeiras e produtos sendo fabricados. Isso se afina com a antiga sabedoria chinesa: "cada opção pode ser uma ameaça ou gerar uma oportunidade".

Frente ao grande número de espécies de *Eucalyptus* e de *Corymbia*, mais de 600, são fantásticas as opções para otimizações nas empresas da base florestal plantada. Além disso, existem ainda ecotipos, variedades, sub-espécies, etc.

Evidentemente, ao se variar as espécies, estaremos com enormes chances de variar a qualidade da madeira e as condições operacionais das fábricas que usam essas madeiras. O que precisamos é domar isso tudo a nosso favor: reduzir a variabilidade, aumentar a uniformidade, conseguir as vantagens que cada espécie oferece e otimizar as necessidades fisiológicas vitais dos fabricantes (qualidades, produtividades e custos).

As diferenças entre as espécies permite o alargamento da base genética para os eucaliptos. Estamos distantes de estar utilizando todo esse potencial florestal e madeireiro que a Natureza nos oferta. Como complemento a essa fantástica base genética, temos tecnologias que permitem aproveitar as melhores características das madeiras, até porque muitas delas possuem comprovada herdabilidade e são propagadas nas árvores clonadas.

2. Clone (intra ou interespecífico) sendo propagado

Muitas surpresas têm acontecido no desempenho florestal e industrial de materiais genéticos aparentemente similares. Mesmo se trabalhando com clones obtidos por cruzamentos de mesmas espécies

(*E.urograndis*, por exemplo), os comportamentos industriais e florestais podem ser bastante diferenciados entre clones.

Quando uma determinada fábrica adequa o seu processo à madeira de um determinado clone, ela tende a estranhar no momento em que se troca o clone no fornecimento de madeira. As condições operacionais precisam ser realinhadas e ajustadas, e às vezes, isso traz dificuldades e contrariedades. O mais usual é que surjam reclamações toda vez que a madeira de um novo clone entra no processo. Ele (o clone) acaba "recebendo a culpa" pelas perdas de produção ou por novos gargalos que surgem. Isso, até que as novas receitas e poções mágicas sejam restabelecidas e criadas. Deve-se, por isso, ter um muito adequado serviço analítico de pré-avaliação da qualidade da madeira de cada clone, antes mesmo dele ser propagado e de ser consumido comercialmente.

Então, esses procedimentos devem ocorrer tanto no momento da seleção do clone, como também um pouco antes de seu uso comercial (pela colheita e envio da madeira à fábrica). Com isso, as fábricas terão informações relevantes para o que deve ser ajustado em seu processo, tais como para compensar: maior densidade básica da madeira, maior teor de lignina, menor teor de hemiceluloses, maior teor de extrativos, etc.

3. Idade das árvores na colheita florestal

A densidade básica das madeiras e todas as demais características a ela associadas variam com o envelhecimento da floresta de eucalipto. O modelo de variação mais usual consiste no aumento da densidade básica com o aumento da idade. Isso porque o câmbio vai aprendendo a formar células com paredes mais espessas para poderem suportar as maiores dimensões das árvores, que crescem em volume e em peso. Com isso, aumenta a proporção de camada S_2 na parede celular das fibras, o que se traduz em aumentos na proporção de holocelulose na madeira.

Além disso, outro item da composição química da madeira também se altera. Em idades mais avançadas, cresce o teor de extrativos na madeira, pela maior cernificação e deposição de extrativos como tiloses para preenchimento dos vazios da porosidade no cerne das árvores. Isso tem acontecido no Brasil, principalmente para árvores de eucalipto com idades superiores a 10 anos, para os principais clones

comerciais em uso no momento. Por essa e outras razões, as indústrias de celulose e papel e de painéis e chapas de madeira preferem trabalhar com árvores em idades de florestas abaixo de 10 anos – entre 6 a 8 anos na maioria de suas unidades produtivas.

Apesar do aumento da densidade básica para idades superiores a isso, existem outros parâmetros de qualidade que afetam os processos industriais de produção.

Para a produção de biomassa energética ou de carvão vegetal, esses modelos de qualidade de madeira com a idade não são negativos, pelo contrário, são favoráveis, pois aumentam-se os valores do poder calorífico e da densidade energética dos materiais e de seus produtos. Enfim, cada produto e cada processo têm demandas e especificações típicas, muitas vezes relacionadas mais a gargalos e restrições das fábricas, do que por outras causas relacionadas às madeiras.

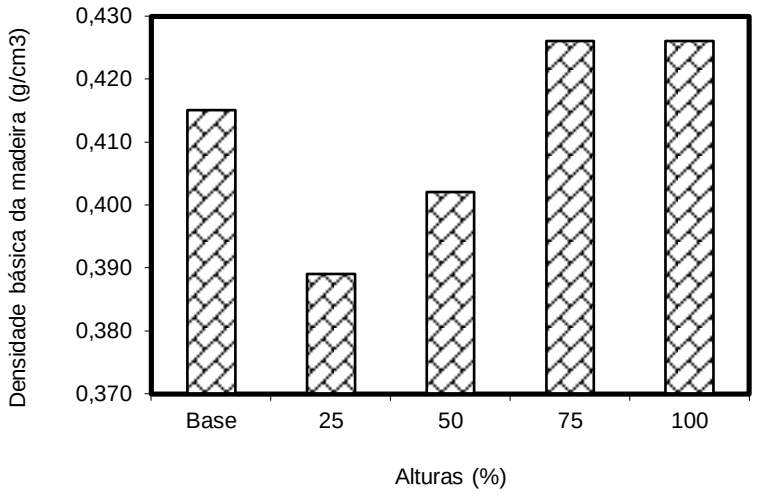
São ainda comuns os exemplos práticos de empresas de celulose ou de painéis de madeira que, frente à escassez de matéria-prima florestal, acabam tendo que consumir florestas mais jovens (entre 5 a 6 anos), reduzindo também a sua poupança florestal para utilização futura. Nessas situações, notam-se imediatos reflexos nos fluxos mássicos de madeiras para os processos, com aumento de consumos específicos e redução de produtividade das máquinas. Obviamente, a principal causa são os menores valores de densidade básica das madeiras dessas florestas juvenis, às vezes, quase infantis (em situações de idades abaixo de 5 anos).

4. Variabilidade da densidade básica no sentido base-topo da árvore

Esse tipo de variabilidade da densidade básica com a altura das árvores é conhecido desde tempos históricos do uso das árvores. Em espécies de coníferas, essa variabilidade é mais uniforme, pois a densidade básica tende a mostrar valores decrescentes da base para o topo das árvores. Com isso, as toras retiradas na parte inferior das árvores, mais próximas ao solo, mostram os maiores valores de densidade básica.

Curiosamente, esse modelo consagrado de variabilidade não é seguido nas árvores de eucalipto nas idades em que são consumidas suas árvores no Brasil. Para a maioria dos clones e das espécies de eucaliptos nessas idades jovens, com baixa cernificação de suas madeiras, o que se nota é uma rápida e brusca redução da densidade básica da madeira da região próxima ao solo (interface com as raízes) até cerca de 10 a 15% de sua altura comercial, para depois se elevar de novo até cerca de 80% da altura comercial, para em seguida sofrer uma ligeira queda em valores para a região mais alta da árvore (próxima à copa). Na região próxima ao solo estão madeiras formadas em toda a vida da planta, enquanto nas proximidades da copa, estão madeiras "mais jovens", formadas em períodos mais recentes.

Inúmeros estudos estão disponibilizados na literatura global mostrando esse tipo de variabilidade para espécies e clones de *E.globulus, E.saligna, E.urograndis, E.urophylla, E.grandis*, e muitas outras espécies e clones interespecíficos e intraespecíficos.



Valores médios de densidade básica da madeira em função da altura de árvores de um clone de *Eucalyptus saligna*

Alguns autores sugerem, em função dos valores de densidade básica e dos teores de lignina e extrativos, bem como de outras características anatômicas e químicas das árvores de eucalipto, que "*a madeira de melhor qualidade das árvores de eucalipto*" estaria situada entre 30 a 70% da altura comercial, ou seja, mais próxima ao meio da árvore. Isso pode ser válido para algumas utilizações, mas nem todas. Não se deve generalizar isso, pois existem dois grandes grupos de uso industrial de madeiras de eucalipto que demandam qualidades completamente diferentes: são os grupos que se valem da madeira para fabricar celulose, papel, painéis e chapas e o grupo de uso energético da madeira.

Essa variabilidade ou heterogeneidade da densidade básica (e portanto, da qualidade da madeira) em função da posição de amostragem na altura das árvores tem levado a inúmeros estudos e discussões sobre a altura ideal de amostragem das árvores para predições de qualidade da madeira. Quanto à amostragem de árvores

para essa finalidade, debaterei mais sobre esse tema em outro capítulo, o que se segue a esse, no Eucalyptus Online Book.

Definitivamente, não existe uma altura universal para se amostrar madeira para se avaliar qualidade da madeira do eucalipto. O que se costuma fazer é definir uma altura, que pode ser à altura do peito (1,30 metros do solo) ou a um certo nível da altura comercial (15%, 25% ou 50%) e se estabelecerem equações de correlação desses valores com o valor da densidade média da árvore (estabelecida com base em amostras colhidas em diferentes pontos ao longo da altura da árvore).

Isso facilita que os avaliadores de qualidade da madeira possam realizar testes rápidos e não-destrutivos, sem terem que abater árvores e avaliarem centenas ou milhares de amostras. Por isso, entende-se perfeitamente as razões de tantos estudos disponíveis na literatura sobre esse tema.

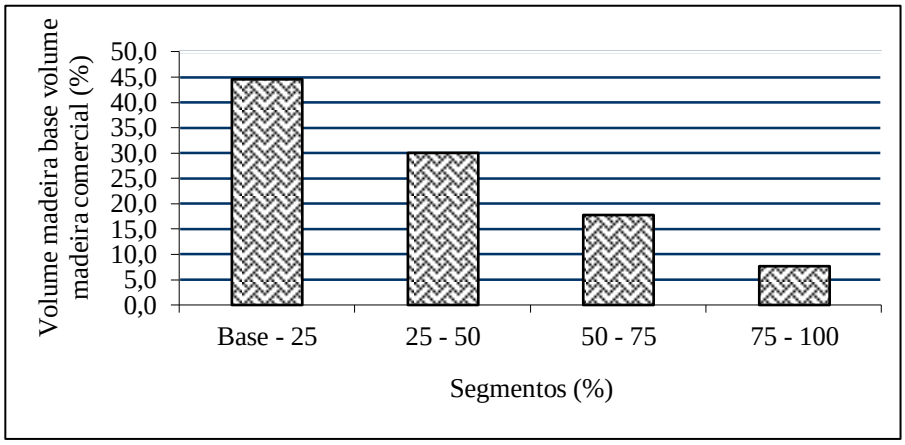
Outros autores preferem coletar amostras ao longo da árvore toda para se ter um valor médio representativo da árvore e não de uma região da árvore. Mesmo os que coletam esse tipo de amostras, há que ter muito cuidado nas amostragens para não se privilegiar uma posição em relação às outras.

A heterogeneidade da densidade básica em função da altura das árvores pode até mesmo merecer alguns índices para se apresentá-la. Barrichelo e Brito (1984) tentaram criar um "Índice de Heterogeneidade" da qualidade da madeira com base na variabilidade da densidade básica em relação à altura comercial das árvores. Quanto maior essa heterogeneidade, mais cautelosos teriam que ser os avaliadores em tomar suas amostras de madeira para análises. Em geral, quanto maior a variabilidade da madeira, maior deverá ser o número de amostras (ou tamanho da amostra) a serem tomadas para se conseguirem dados mais confiáveis para tomadas de decisão.

A densidade básica da madeira amostrada ao nível do DAP não corresponde de maneira alguma à densidade média da árvore. Até mesmo porque, em geral, a densidade básica nessa altura corresponde a um dos menores valores de densidade básica em árvores de povoamentos florestais jovens de eucaliptos no Brasil. Porém, como já mencionado, essa madeira amostrada ao nível do DAP pode manter correlações válidas com a madeira de outras alturas e até da madeira da árvore integral. Por exemplo: existem diversas provas estatísticas de que árvores de um mesmo clone com maiores densidades básicas ao

nível do DAP também possuem maiores densidades básicas nas árvores em sua totalidade do volume comercial. Ou de outra forma de se dizer isso: densidade básica ao DAP se correlaciona positivamente com densidade básica média da árvore em toda sua altura comercial. Também existem correlações positivas dessas densidades com densidades de amostras colhidas a 15%, 25% e 50% da altura comercial. Em resumo, com número adequado de amostras e com testes estatísticos válidos, pode-se predizer o comportamento de um povoamento a partir de amostragens em alturas pré-estabelecidas. Porém cuidado, cada clone ou cada espécie merecerá ter suas correlações estabelecidas – não existe uma equação universal para essas relações que seja válida para todas as árvores em quaisquer situações de sítios florestais.

A partir dessas confirmações de centenas de estudos, podem-se criar modelos para facilitação das amostragens e das avaliações prévias de qualidade da madeira nas florestas de eucalipto. Assim, muitas empresas conseguem antecipar ou predizer a qualidade da madeira (pelo menos de sua densidade básica) para suas florestas, que estarão entrando no plano de abastecimento de suas fábricas.



Contribuição de cada segmento de tronco ao longo da altura para a formação do volume de madeira comercial da árvore de um clone de *Eucalyptus saligna*

É também importante se lembrar que cerca de 75% do volume das árvores das florestas de eucaliptos está contido em até 50% da altura de suas árvores a partir da base. Ou seja, a metade inferior da árvore do eucalipto carrega a maior responsabilidade sobre a qualidade geral da madeira da floresta. Esse conhecimento tem sido pouco utilizado nos planos de amostragens – Porque se tirar tantas amostras ao longo da árvore, inclusive da metade superior? Porque não concentrar então os esforços nessa metade inferior da árvore, já que ela

é que mais concentra a quantidade da madeira das árvores e da floresta?

Nesse volume de árvore estão localizadas as maiores proporções de cerne, de madeira de tensão, de fibras, de extrativos, bem como de muitos outros elementos de qualidade da madeira, que afetam o desempenho industrial das mesmas. E que se relacionam à densidade básica dessas madeiras.

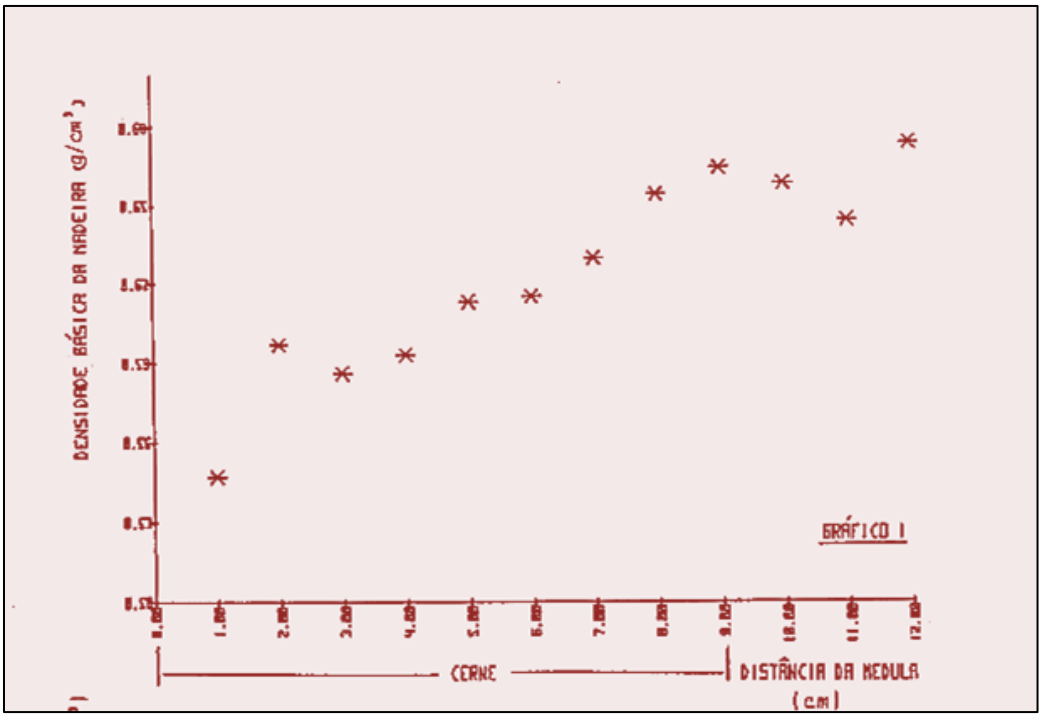
Madeira de tensão é um tipo de madeira comum nas árvores de eucalipto, em função das reações das árvores frente às ações de ventos fortes dominantes e da força gravidade. A madeira de tensão costuma aparecer nas regiões onde se concentram essas forças (base e meio da árvore). Essa madeira mostra paredes celulares alteradas, tanto estruturalmente, como quimicamente.

Enfim amigos, quanto a esse tipo de variabilidade, temos milhares de estudos na literatura, mas ainda faltam muitos mais – enquanto isso, sugiro que naveguem nas literaturas oferecidas ao final do capítulo para aumentar a base de conhecimentos sobre o tema.

5. Variabilidade da densidade básica no sentido medula-casca no diâmetro do tronco das árvores

Existe definitivamente um modelo típico de variabilidade da densidade básica da madeira no sentido radial do tronco das árvores.

Para as árvores jovens de eucaliptos no Brasil (até idade de 10 anos), esse modelo é quase sempre o mesmo: aumento da densidade básica do ponto da medula (madeira mais central do diâmetro das toras) até o ponto de xilema mais próximo da casca (imediatamente antes da região do câmbio). Na prática, esse modelo não é tão perfeito ou regular assim, pois podem acontecer variações nos teores de lenho inicial e tardio ao longo do raio do tronco e também pode haver algum tipo de declínio da densidade básica no final da região do alburno.



Variabilidade radial da madeira de *Eucalyptus saligna*
Fonte: Foelkel e colaboradores (1983)

O aumento da densidade básica não é linear, ocorre por alterações que guardam um modelo de curva com crescimentos iniciais maiores e depois tendendo à estabilização na região próxima à casca. Também o crescimento não é homogêneo, pois existem picos e vales de densidade, representando as alterações na formação de madeiras de lenho inicial e tardio.

A variabilidade muda de tipo de curva conforme o tipo de clone, de espécie de eucalipto e de idade das árvores. Há espécies ou clones que mostram significativas diferenças de densidade básica entre a região da medula e do xilema próximo à casca (por exemplo: variações entre 0,35 até 0,7 g/cm³). Outras espécies ou clones possuem

pequenas diferenças entre esses pontos de valores mais extremos (por exemplo: 0,4 a 0,5 g/cm³).

Algumas espécies ou clones intraespecíficos mostram modelos de variação pouco pronunciados, outros bem mais significativos. As madeiras de *E.grandis* possuem pequena variabilidade no sentido medula-casca (entre 0,35 até 0,45 g/cm³). O mesmo acontece para as madeiras de *Corymbia citriodora* (entre 0,6 até 0,7 g/cm³). Apesar das dificuldades taxonômicas em se hibridar *E.grandis e C.citriodora*, pois são de espécies e gêneros diferentes dentre os eucaliptos, existiriam grandes vantagens nesse tipo de híbrido. Isso porque poder-se-iam obter híbridos intragenéricos com densidade básica de madeira mais uniforme e em níveis de densidade básica intermediárias entre esses dois extremos mostrados por cada espécie por si só.

Se isso fosse conseguido por técnicas de biotecnologia florestal, seria possível um maior controle da densidade básica da madeira em modelos de variabilidade mais homogêneos que os atuais, assim se prognostica. Existem diversos consagrados melhoristas florestais trabalhando em desenvolver híbridos para o gênero *Corymbia*, como nosso celebrado amigo Teotônio Francisco de Assis. Leiam o que ele tem escrito sobre esse tema, em passado recente:

Melhoramento genético de *Eucalyptus*: desafios e perspectivas. T.F. Assis. 3º Encontro Brasileiro de Silvicultura. 22 pp. (2014)

http://www.expoforest.com.br/silvicultura/wp-content/uploads/2013/09/encontro-silvicultura-2014-bloco-2-pdf-artigo-pag-127.pdf

Os estudos de variabilidade da densidade da madeira no sentido medula-casca podem ser alavancados em qualidade através da utilização de métodos nucleares, utilizando radiações (raios gama ou X) para obter a variação a cada milímetro do raio dos discos ou amostras de baguetas tiradas no raio do tronco (ou a qualquer altura da árvore, tronco, galhos e raízes).

Essas variações na forma de picos e vales de valores de densidade da madeira e que aparecem a espaços muito próximos uns dos outros para os eucaliptos estão associadas às alterações do processo de formação da madeira devido às mudanças de condições ambientais. Por condições ambientais ou de sítio florestal podem ser entendidas alterações em: disponibilidade ou não de água de nutrientes, de calor, de insolação, ataque de pragas ou doenças, etc.

6. Variabilidade da densidade básica influenciada pelas condições ambientais

Todas as árvores de eucalipto possuem em seu genoma os genes que comandarão o processo de formação de suas madeiras, nos diferentes compartimentos onde elas ocorram (galhos, tronco, raízes, etc.). Entretanto, o metabolismo e a fisiologia das árvores são bastante afetados pelas condições ambientais, que incluem efeitos climáticos e das técnicas silviculturais de manejo florestal.

Alguns desses fatores ambientais são de difícil controle pelos silvicultores produtores de florestas plantadas:

- Estações do ano (efeitos sazonais do clima);
- Situações climáticas adversas extremas (geadas, ventos fortes, secas desproporcionadas, etc.);

As situações climáticas extremas e as estações do ano afetam a formação da madeira, seja na formação de novas células (e tipos delas) como na constituição química das paredes celulares e extrativos depositados. Com isso, a densidade básica resultante na madeira formada nessas situações pode variar para maiores valores (situações de déficit) ou menores (situações de abundância).

As características das madeiras que são diretamente afetadas por essas situações de maior amplitude ambiental são: relação entre lenhos inicial e tardio; teor de madeira juvenil; teor de lignina; teor de extrativos; tipo de lignina; relação cerne/alburno; proporção de elementos de vaso ou de células de parênquima, espessura da parede celular, diâmetro das fibras, etc. Todas elas estão associadas à atividade meristemática do câmbio e aos processos de diferenciação das células, onde se incluem o espessamento da parede celular, a lignificação dos tecidos, etc. Por isso, parte da variabilidade da madeira se deve às condições que são oferecidas às florestas para que elas cresçam – e também à adaptação das mesmas florestas a essas condições ambientais para seu crescimento.

São bastante conhecidas as consequências e alterações na qualidade das madeiras em situações de seca prolongada. Não se trata

apenas de uma perda de volume de madeira, que deixaria de ser formada por redução do crescimento. A própria madeira formada nessas condições de adversidade mostra características diferenciadas em relação à madeira produzida em condições normais – ou em condições de ótimo ambiental. Logo, o desempenho dessas madeiras será também impactado, além da menor disponibilidade pela redução da produtividade florestal.

O déficit hídrico mostra os seguintes tipos de impacto para as florestas de eucalipto, que são relativamente sensíveis a ele:

- Menores ritmos de crescimento e de produtividade;
- Árvores de menores volumes individuais;
- Maiores teores de casca nas árvores;
- Maiores valores de densidade básica nas madeiras;
- Maiores teores de extrativos nas madeiras;
- Maiores teores de lignina nas madeiras;
- Menores incrementos em peso de madeira por hectare.ano;
- Menores produtividades equivalentes em produto (por exemplo: celulose) por hectare.ano;
- Menores rendimentos em conversão da madeira em celulose;
- Maiores cargas de álcali ativo na polpação kraft dos cavacos de madeira;
- Maiores consumos específicos de madeira por unidade de produto sendo fabricado;
- Maiores gerações de sólidos secos totais para o ciclo de recuperação nas fábricas de celulose kraft, com possíveis efeitos nas capacidades de produção das fábricas;
- Alterações nas qualidades dos produtos sendo fabricados (celulose, papel, chapas, painéis, madeira serrada, etc.)
- Etc., etc.

Ao conhecerem as influências marcantes do meio ambiente sobre o crescimento, produtividade e qualidade da madeira, os técnicos e melhoristas florestais podem antecipar a implantação de técnicas de manejo florestal para estimular o crescimento das florestas e prevenirem a perda dessa produtividade e da qualidade dos produtos da floresta.

A moderna silvicultura tem procurado oferecer às árvores as condições de ótimo e exatamente nos momentos onde esses ótimos se fazem requeridos (através da silvicultura de precisão). Além disso, existem programas de melhoramento florestal sendo continuadamente realizados nas empresas e universidades, visando à melhoria constante da qualidade e produtividade das florestas plantadas de eucaliptos.

Esses estudos e desenvolvimentos objetivam:

- Adequações no melhoramento genético para desenvolvimento de clones com especificidade para cada tipo de ambiente (clones específicos para distintos sítios florestais). Isso significa que cada um desses clones tem potencial maior de crescer e se adaptar a certas condições de ambiente ou sítio florestal. Dessa forma, desaparece a vertente de universalidade que se imaginava dar aos clones, acreditando que os clones plásticos fossem os ideais, por serem capazes de crescerem e produzirem bem em quaisquer condições de clima e solo.

- Promoção do crescimento volumétrico das florestas por técnicas silviculturais associadas aos efeitos positivos que possam dar para atingimento das especificações de densidade básica das madeiras.

Dentre inúmeras, as seguintes técnicas e práticas florestais promovem o crescimento florestal e têm efeito sobre a densidade básica das madeiras sendo produzidas:

- Espaçamento entre árvores, pois ele influi na disponibilidade de água, luz e insolação para as árvores, o que afeta crescimento e processo de formação da madeira;

- Irrigação ou oferta de água para as plantas jovens;

- Nutrição/fertilização das árvores – "comida correta nos momentos adequados";

- Controle de pragas e doenças (fitossanidade controlada e praticada com determinação). Algumas doenças como o cancro e a ferrugem dos eucaliptos afetam não apenas a produtividade florestal, mas a qualidade da madeira.

- Desbastes e poda de galhos de árvores;

- Melhoramento florestal com ênfase na genética e na seleção de materiais sítio-específicos;

- Etc.

Quando iniciei minhas atividades profissionais na Cenibra (fábrica de celulose de mercado), em 1976, deparei-me de imediato com um grande problema de fitossanidade das árvores de eucalipto que abasteciam a fábrica. O "cancro do eucalipto" foi uma doença muito grave que começou a surgir de forma epidêmica nos eucaliptais em princípio dos anos 70's, nas regiões quentes e úmidas do Brasil (Espírito Santo, Bahia, Minas Gerais e algumas regiões de São Paulo). O efeito da doença era terrível e se notavam grandes alterações na produtividade e na qualidade das madeiras sendo formadas. Isso em função das feridas enormes que apareciam nas árvores devido ao ataque fúngico sobre as plantas.

Madeiras afetadas por cancro do eucalipto – região da ferida do ataque fúngico

Para conhecerem um pouco sobre esse efeito da fitossanidade das árvores sobre a qualidade da madeira, sugiro a leitura do artigo:

Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* afetados por cancro. C.E.B. Foelkel; C. Zvinakevius; J.O.M. Andrade. IX Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p.: 255 – 266. (1976)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/1976.%20madeira%20com%20cancro.pdf

Acredito que deva ter ficado muito claro, depois de tudo que tem sido apresentado, que densidade básica não é apenas um fator a ser controlado geneticamente. Os técnicos que produzem florestas têm a obrigação de manter atuação constante sobre as condições que afetam a qualidade da madeira (...e, portanto, da densidade básica, dentre outros parâmetros), da mesma forma que o fazem para a produtividade volumétrica das florestas. Se isso não acontecer, podem ficar navegando às cegas – quando a floresta ficar no ponto de ser colhida, pode-se descobrir tardiamente que a qualidade não era bem aquela que se desejava produzir.

O pior em tudo que vejo na realidade prática das coisas acontecendo em muitas regiões do mundo, é que algumas empresas ainda não se atentaram para isso – ou preferem ingenuamente acreditar (seus técnicos) que o mais importante é a produtividade volumétrica das plantações – em muitos casos, medem apenas o IMA do crescimento volumétrico das árvores com casca, sem sequer terem condições de previsão sobre qual será o teor de casca no momento da colheita. Isso mesmo em empresas que não usam a casca em seus processos industriais. Porém não podemos generalizar essa situação de "mundo do menos" – há muitos excelentes exemplos de empresas de ponta, com sofisticados sistemas de controle e monitoramento da qualidade da madeira e do crescimento volumétrico da floresta.

A interação genética/ambiente tem sido cada vez mais estudada para permitir que se possam tirar os melhores resultados dos genótipos disponíveis nas plantas. Cada vez mais se conhece o fato que não basta apenas se selecionarem clones com base em uma característica desejada e se acreditar que todas as progênies apresentarão essas características nos valores que se adotou selecionar.

Essa é uma das razões que algumas empresas procuraram selecionar no passado clones com média de densidade básica da madeira sempre acima de 0,5 g/cm³. Entretanto, ao se plantarem extensas áreas com esses clones selecionados ou "de elite", acabaram sendo surpreendidas com valores médios de densidade básica abaixo dos valores eleitos como desejados. Como se tomam cerca de 10 a 20 anos para se eleger um clone para ser colocado em escala de plantios comerciais, nesse período, a silvicultura evolui muito, oferecendo novas condições de nutrição, irrigação, preparo do solo, ciclagem de

nutrientes, etc. Logo, o ambiente que os clones encontraram quando viraram comerciais foram ambientes bem diferentes daqueles quando foram selecionados pelos melhoristas para a futura propagação em larga escala.

Bom, assim aconteceu para alguns e novas surpresas surgirão no futuro ou mesmo no presente – estamos tratando com seres vivos, que acreditamos que não pensam por serem árvores, mas que nos dão sempre surpresas para nos forçar a refletir e pensar.

E assim caminhará a humanidade – pelo menos no momento atual temos muito mais conhecimentos e ferramentas silviculturais, informacionais e de genética que estão a nos ajudar a trabalhar melhor.

Produzir florestas exige tecnologia, conhecimentos e vontade de se obter tanto volume como qualidade de madeira

==========

MELHORAMENTO GENÉTICO PARA DENSIDADE DA MADEIRA

Um dos principais fatores alavancadores do sucesso comercial das florestas plantadas de eucaliptos foram os programas bem-sucedidos de melhoramento genético florestal. Inicialmente, esses programas se apoiaram na escolha das melhores árvores para produção de sementes melhoradas. A partir daí, surgiram os pomares de sementes onde as melhores árvores se cruzavam entre si em locais onde eram plantadas para cruzamentos livres (polinização aberta) ou controlada (polinização controlada).

Posteriormente, com o desenvolvimento e popularização da clonagem (propagação vegetativa), a silvicultura clonal passou a ser a forma dominante para novas plantações florestais – o melhoramento genético passou não a buscar sementes, mas novos e produtivos clones especializados em produção das demandas dos engenheiros florestais e das empresas usuárias da madeira.

Entretanto, para que possa haver melhoramento genético é necessário que se mantenham excelentes níveis de variabilidade para as propriedades as quais se queira melhorar. As fontes de variabilidade não podem ser esmagadas pela clonagem de indivíduos iguais.

Isso se deve ao fato que se quisermos aumentar a densidade básica para mais altos valores (por exemplo – 0,65 g/cm³), precisaremos encontrar indivíduos que carreguem essa mensagem genética para ser transferida aos clones atuais em produção. O melhorista genético precisa estar sempre à caça de indivíduos que tenham características de desempenho excepcionais, para tentar introduzir esses genes em seus programas de melhoramento genético.

Resumidamente, seria algo como o seguinte: se tivermos populações naturais ou comerciais de eucaliptos onde a variabilidade da densidade básica da madeira entre os indivíduos esteja entre 0,45 a 0,55 g/cm³, muito dificilmente teremos condições de aumentar nossos clones para densidades básicas para valores próximos a 0,65 g/cm³. Isso porque não estaremos encontrando fontes de genes capazes de nos dar isso. Como existe um efeito importante de meio ambiente na expressão fenotípica dos genes, até que eventualmente poderemos ter árvores com densidade básica nessa faixa desejada, mas isso não terá herança genética, pois esse valor terá sido mais influenciado pelo ambiente do que pela carga genética. É o caso de árvores crescendo em situações de déficit hídrico, onde a densidade básica se eleva pelas restrições ao crescimento e formação exagerada de madeira de lenho tardio e de cerne rico em extrativos. Isso não será mais atingido tão logo as condições ambientais retornem ao normal – exatamente porque a carga genética não contempla o atingimento desses valores nas condições de crescimento normal das árvores.

O bom melhorista florestal está sempre buscando associar altos ritmos de crescimento com valores adequados de densidade básica – isso para ser conseguido simultaneamente nas idades de colheita florestal que se tenha como meta.

Para que se atinjam esses graus de sucesso, o melhoramento florestal vai precisar de:

- Disponibilidade de variabilidade para as características desejadas em termos de material genético;

- Conhecimento das potencialidades de ganhos de produtividade ou qualidade em função da heterose ou vigor híbrido (que acontece quando as novas gerações apresentam propriedades superiores às gerações parentais);

- Conhecimento das interações genótipo/ambiente;

- Conhecimento da qualidade desejada na madeira futura e que essa qualidade possa ser herdável;

- Paciência entre os técnicos para se conduzir os ensaios de melhoramento no longo prazo, incluindo diferentes materiais genéticos e sítios ambientais;

- Capacidade de obtenção de dados confiáveis e seguros para evitar se cometer erros graves na seleção dos novos materiais genéticos para introdução em plantios comerciais em larga escala;

- Conhecimentos de técnicas estatísticas e de seu bom uso;

- Conhecimentos econômicos e financeiros para avaliação das rotas de sucesso – isso não da técnica em si, mas do negócio em questão.

Enfim amigos, não há mágica alguma no melhoramento florestal. Há que se ter muita ciência, enorme paciência, honestidade e bom-senso. Deve também se ter muito compromisso e responsabilidade para evitar estabelecimento de metas inadequadas, seleção de genótipos indesejáveis, perda de foco, descarte de materiais genéticos bons, etc.

De uma maneira geral, o setor de base florestal que trabalha com os eucaliptos está em busca de valores de densidade básica das madeiras, que possam significar avanços de produtividade, homogeneidade e qualidade nas fábricas usuárias dessas madeiras. Isso faz parte dos objetivos do melhoramento florestal.

Para produção de celulose e papel no Brasil, os valores objetivados de densidade básica da madeira do eucalipto variam no melhoramento genético quase sempre para amplitudes entre 0,46 a 0,54 g/cm³. Nessas faixas, os melhoristas estão quase sempre dispostos a aceitar o material quanto ao primeiro item da qualidade da madeira, desde que outras propriedades importantes no melhoramento sejam também conquistadas: crescimento volumétrico, resistência a pragas e doenças, teor de casca nas árvores, qualidade do fuste ou tronco, forma das árvores, capacidade de enraizamento das estacas, resistência das árvores ao vento e ao stress hídrico ou térmico, etc., etc.

Em Portugal, os melhoristas do eucalipto podem ser mais audaciosos em relação ao que selecionar para madeiras do *E.globulus* –

muito frequentemente, objetivam densidades básicas acima de 0,55 g/cm³.

Já para seleção de material genético para ser usado em produção de biocombustíveis lenhosos ou para produção de carvão vegetal, os valores de densidade básica são os maiores possíveis e acima de 0,55 g/cm³. Mais uma vez, mantendo-se outras propriedades e características desejáveis para as florestas sendo melhoradas, inclusive outros itens de qualidade de madeira, como teores de lignina e de carbono fixo.

Os melhoristas de florestas de eucaliptos para produção de chapas e painéis de madeira possuem amplitudes menores em suas metas para as densidades básicas da madeira de eucaliptos – entre 0,44 a 0,48 g/cm³ - isso frente às limitações dos processos produtivos e das qualidades dos produtos atuais.

A busca da variabilidade em densidade básica pode ser feita inclusive entre os diferentes setores industriais, que trabalham com níveis de qualidade da madeira bastante distintos. Caso se queira material com menores níveis de densidade básica, pode-se negociar obtenção de material genético com as empresas de painéis de madeira. Já se os objetivos forem para mais altas densidades básicas, as fontes de variabilidade podem ser encontradas nas empresas de bioenergia. Através de técnicas de hibridação e clonagem, podem ser tentadas introduções de genes que governam a expressão da densidade básica. Infelizmente, nem sempre isso é possível, pois algumas empresas de bioenergia trabalham também com espécies do gênero *Corymbia* (*C. citriodora, C.maculata, C.torelliana*).

De qualquer maneira, sempre é possível se adequar o melhoramento genético com novos materiais genéticos sendo introduzidos para hibridações, polinizações controladas (compra de pólen), seleções clonais e até mesmo troca de clones.

Paralelamente, as empresas florestais também mantêm bancos de clones e de populações de árvores seminíferas superiores para continuarem seus programas de busca de genes, retrocruzamentos, seleções recorrentes, etc.

A tarefa é dura e de longo prazo – por isso, recomenda-se complementar e dar mais tempero ao melhoramento florestal, avaliando também outros parâmetros de qualidade da madeira: teor de lignina, teor de extrativos, relação Siringila/Guaiacila, rendimentos na conversão

da madeira, qualidade dos produtos fabricados (fibras celulósicas, painéis de madeira, carvão vegetal, etc.).

Outra forma de aumentar a variabilidade é através da engenharia genética. A poliploidia e a indução de mutações têm sido ferramentas que o setor florestal passou a introduzir em seus programas de melhoramento genético. Outras técnicas da biotecnologia florestal também têm ganhado avanços significativos: transgenia, genômica e combinações gênicas. Descreveremos mais sobre isso, em capítulos futuros do Eucalyptus Online Book.

Os eucaliptos, frente à enorme diversidade de espécies e agora distribuídos em três gêneros vegetais (*Eucalyptus, Corymbia e Angophora*) possuem muita variabilidade genética, com inúmeros ecotipos, raças, híbridos naturais, além de todo patrimônio genético melhorado e acumulado pelo setor de florestas plantadas.

Em função dessa variabilidade, torna-se mais fácil se encontrarem indivíduos com características excepcionais para uma determinada característica florestal ou de qualidade da madeira. Depois, através de algumas técnicas consagradas (e outras em plena evolução), algumas outras imitando a natureza (hibridação), pode-se tentar a introdução dessas características desejadas para outros materiais genéticos já mais domesticados. Dentre essas técnicas se destacam a polinização controlada, a hibridação e a transgenia. Já existem no mercado genes para aumento da densidade básica ou para redução do teor de lignina da madeira.

O sucesso de cada técnica varia caso-a-caso e também é variado o tempo de atingimento do sucesso comercial. Existem muitas expectativas de aceleração dos ganhos com a adoção da transgenia. Trata-se de algo novo no setor de base florestal, que trabalha com plantas de ciclos longos – diferentemente das culturas anuais, onde a transgenia já é muito praticada com culturas como soja, milho, etc.

Apesar de todas as expectativas biotecnológicas de rápidos sucessos, as técnicas tradicionais de hibridação e clonagem ainda podem oferecer muitos ganhos adicionais em nosso caminho para o futuro – portanto, são coisas para acontecerem conjuntamente e não em competição.

Novos ferramentais de avaliação tecnológica são buscados – mas se precisam neles de confiabilidade metodológica, precisão dos resultados e velocidade de realização dos testes. O processo de

melhoramento genético é lento, demanda uma enormidade de avaliações florestais e laboratoriais, porém e apesar disso tudo, tem avançado muito rapidamente no Brasil – nesse nosso País já se conseguem produtividades inquestionáveis e invejáveis para as florestas plantadas de eucaliptos. Em situações tradicionais de hibridação/clonagem, o tempo para se gerar um novo clone elite para implantação comercial pode atingir entre 10 a 20 anos, pela utilização dos ferramentais clássicos, como já vimos.

Para acelerar esse processo, as avaliações de qualidade da madeira vêm sendo realizadas precocemente em árvores entre 2 a 3 anos de idade. A seleção precoce em plantações com 3 anos tem sido referida como a mais indicada para projeção futura de valores de produtividade florestal em volume e em densidade básica.

Métodos rápidos têm sido introduzidos, *até de forma atabalhoada e inapropriada*, porém alguns têm sido usados com algum sucesso para pré-seleção de materiais genéticos ou para controle operacional de fábricas de celulose, painéis e produtos serrados de madeira. Os métodos baseados em espectroscopia do infravermelho próximo (NIRS – "Near Infra-Red Spectroscopy") e de resistência da madeira à penetração de uma haste metálica (Pilodyn) têm sido os mais estudados e recomendados por alguns pesquisadores.

Nos últimos 5 anos, com os avanços da genômica, principalmente em função dos avanços das tecnologias de computação, esse novo ferramental vem sendo propagado como uma oportunidade dourada para seleções genéticas precoces, até mesmo a nível de embriões.

O sequenciamento genético do genoma do eucalipto já está concluído e com sucesso. Já se conhecem diversas sequências de bases associadas a expressões fenotípicas dos genótipos – dentre as quais algumas para expressão da densidade básica da madeira.

Dessa maneira, muitos melhoristas já estão enxergando um futuro menos árduo e mais rápido em seus programas genéticos – já que esperam ter seleções muito precoces de embriões ou de plantas muito jovens através da genômica. Acredita-se, que pelo estudo do genoma se possam predizer as rotas metabólicas de formação da madeira, o que vai levar a antecipar valores maiores ou menores de densidade básica. Dentre essas rotas, especiais atenções estão sendo dadas à engenharia de formação da parede celular e ao processo de lignificação da madeira.

É óbvio, porém, que a real expressão da qualidade da madeira só ocorrerá após as árvores interagirem com os sítios florestais (ou ambientes) onde vierem a ser plantadas. Não basta se ter apenas potencial genético para uma determinada amplitude de densidade básica na madeira. Há que se favorecer silviculturalmente que isso venha a acontecer no campo (ou seja, na floresta comercial plantada).

A domesticação dos eucaliptos começou faz mais de 150 anos, quando os agricultores australianos passaram a selecionar árvores nativas dos gêneros *Eucalyptus* , *Corymbia* e *Angophora* para finalidades onde elas teriam melhores desempenhos (postes, moirões, móveis, dormentes de estradas de ferro, construções rurais, pequenas construções rurais, etc.).

O melhoramento genético clássico com produção de sementes melhoradas já tem mais de 70 anos no Brasil – desde a época do Horto Florestal de Rio Claro – com o grande silvicultor brasileiro Edmundo Navarro de Andrade.

A clonagem foi introduzida no Brasil há não mais do que 40 anos (Campinhos Júnior, 2014). Por outro lado, a engenharia genética e as modificações genéticas estão avançando e ganhando terreno há mais de uma década. Portanto, estamos ainda em idades tecnológicas juvenis e com tecnologias e biotecnologias em ritmos acelerados de descobertas e de desafios.

Interessante se dar uma olhada em um interessante artigo escrito pelos amigos Edvins Ratnieks e Teotônio Francisco de Assis em 1993, que ousaram dar também uma espiadela no futuro há mais de duas décadas:

O que há adiante da árvore? Tecnologia florestal presente e futura. E. Ratnieks; T.F. Assis. O Papel (Janeiro): 41 - 48. (1993)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1993_Adiante_da_Arvore.pdf

Já temos mais de vinte anos de expectativas de novos avanços da ciência nas ferramentas da biotecnologia. Não tenho dúvidas que muita coisa aconteceu nesse período de tempo, mas ainda há muito mais a acontecer em anos próximos – esperamos que sejam para um mundo florestal melhor, seja ambientalmente, como social e economicamente.

Recomendei anteriormente, mas reforço mais uma vez a leitura de alguns artigos muito válidos disponíveis na seção de referências da literatura e escritos pelo Teotônio Francisco de Assis e Ismael Eleotério Pires. Esses dois grandes mestres do melhoramento florestal do eucalipto no Brasil possuem alguns escritos em linguagem simples e direta sobre o que podemos esperar para o melhoramento genético da densidade básica da madeira - em diversos tipos de industrializações.

O sucesso no melhoramento da qualidade da madeira do eucalipto tem sido embasado em seis fundamentos de sustentação tecnológica:

+ A aceitação e comprovação de que muitas características da qualidade da madeira podem ser explicadas e avaliadas por meio da densidade básica;

+ A alta herdabilidade da densidade básica, o que permite o desenvolvimento de novas gerações de florestas com densidades básicas mais próximas dos valores objetivados para seus melhores usos industriais;

+ A manutenção de uma base genética ampla e diversificada para o *Eucalyptus*;

+ A técnica da propagação vegetativa, que favorece tempos mais curtos de melhoramento florestal e de atingimento de ganhos comerciais, bem como de maior uniformidade dos produtos obtidos das florestas clonais;

+ O entendimento de inter-relações entre genética e ambiente, o que estimula a busca de materiais geneticamente melhorados para sítios ambientais específicos;

+ A possibilidade de se buscar materiais genéticos que permitam combinar em um clone diversas variáveis quantitativas (volume, ritmo de crescimento, produtividade) e qualitativas (densidade básica, espessura de parede celular, teor de lignina, etc.)

Desses fundamentos tecnológicos se derivam os materiais genéticos superiores, os quais podem ainda serem distribuídos conforme zoneamentos edafoclimáticos onde a empresa florestal atua (clones aptos e distribuídos de acordo com mapas de solo e clima). Ao mesmo tempo, esses clones podem ser agrupados em conjuntos de materiais

genéticos com potenciais para resultarem em um tipo ou outro de qualidade de madeira, conforme os mapas edafoclimáticos.

Exemplos disso são as separações de clones mais indicados para a fabricação de chapas duras e outros mais orientados para produção de MDP ou MDF na indústria de chapas e pisos de madeira. Já na indústria de celulose de mercado, os clones de densidade básica entre 0,45 a 0,48 g/cm³ podem ser destinados à fabricação de um tipo de celulose com alta população fibrosa e mais baixa "coarseness" das fibras; enquanto as madeiras com densidades básicas acima de 0,48 e até 0,55 g/cm³ podem servir para produção de celulose para fabricação de papéis sanitários, filtros e decorativos.

Com esforço, competência e disponibilidade de base genética, o melhoramento florestal do eucalipto pode combinar em um único clone, por exemplo:

- Ritmo de crescimento e produtividade florestal elevados (IMA em m³/hectare.ano);
- Densidade básica dentro de amplitudes adequadas;
- Produtividade em peso seco das florestas ou em equivalente em produto fabricado em níveis otimizados;
- Qualidades dos produtos das fábricas em padrões otimizados;
- Diferenciação de produtos fabricados nas fábricas para orientação a nichos especiais de mercado.

Muito embora a domesticação exagerada feita no passado para algumas espécies (*E.grandis; E.saligna; E.urograndis*) tenha reduzido de alguma forma a base genética, reduzindo a disponibilidade de variabilidade, sempre se tem conseguido resgatar essa variabilidade retornando a populações originais de indivíduos seminais, ou buscando em outras empresas, institutos de pesquisa e universidades as requeridas fontes de variabilidade ou de genes – estejam essas fontes no Brasil ou no exterior.

A produção de novos tipos de híbridos interespecíficos englobando mais de duas espécies tem sido também uma alternativa válida e praticada.

Também deve ficar claro que a herança para densidade básica não é total, pois essa propriedade é complexa e determinada por inúmeras características da madeira. Muito provavelmente, *não existem genes para determinar a densidade básica das madeiras*, mas genes que determinam espessura da parede celular, comprimento das fibras, teores de parênquimas ou elementos de vaso, etc. São das combinações

dessas características que resultam os valores de densidade básica da madeira. Portanto, são das herdabilidades e das interações entre essas propriedades que resultam os valores e a herança da densidade básica da madeira.

Isso significa que na verdade não existem nos eucaliptos e em outras espécies de árvores, os tais genes que sejam genes apenas para controlar densidade básica – o que existem são genes que controlam e orientam a divisão e a diferenciação celular (anatômica e quimicamente) durante a produção de células de xilema (ou lenho ou madeira). Esses genes orientam a formação de paredes celulares, deposição de fibrilas de celulose nas paredes, proporções dos tecidos, lignificação, etc. Também devem existir comandos genéticos para orientar o metabolismo de formação dos extrativos, quais tipos e em que momentos devem ter sua produção intensificada nas árvores. Tudo isso acontece de forma orquestrada – o que acaba resultando, em função das inter-relações existentes, em mudanças dos valores de densidade básica.

Do exposto, o somatório de todas essas mensagens genéticas e atuações metabólicas das árvores é que determinará a densidade básica resultante na madeira.

Entende-se ainda que a densidade básica é uma característica com herança aditiva. Isso significa que não existe vigor híbrido ou heterose em sua manifestação genética.

Exemplificando o que seria herança aditiva: caso se disponham de dois clones e com esses se deseje a produção de híbridos, as densidades básicas das madeiras de todos os híbridos resultantes (para um mesmo tipo de ambiente) deverão estar entre os valores de um ou de outro clone parental. Se temos dois clones para serem hibridados por razões de ganhos em fitossanidade e um tenha densidade básica média das árvores aos 7 anos de 0,52 g/cm³ e o outro um valor de 0,48 g/cm³, é certo se afirmar que os híbridos resultantes terão densidades dentro dessa amplitude de valores. Alguns com densidades básicas mais próximas de um dos clones parentais, outros híbridos do outro e muitos entre os dois valores parentais.

A partir desse conhecimento científico, cabe aos melhoristas florestais a difícil tarefa de testar dezenas, centenas ou milhares de novos clones para encontrar aqueles onde a combinação de características florestais e de qualidade de madeira estejam próximas às ideais.

A seleção clonal, a busca contínua de novos clones superiores e a própria tecnologia de clonagem é que têm ajudado a serem atingidos os enormes ganhos em produtividade e em qualidade da madeira com os eucaliptos.

Depois de eleitos os novos clones para serem plantados em escala comercial, a expectativa é sempre para que os valores da pesquisa sejam reproduzidos nos novos plantios de florestas comerciais. Mais uma vez, aqui se tem que estar atento às interações entre os genótipos e as condições ambientais dos locais onde serão plantadas as novas florestas desses clones. Por essa razão, os melhoristas florestais testam esses clones em diversas condições edafoclimáticas para destinar cada clone elite ao ambiente que mais lhe for favorável (onde ele consiga ter seu melhor desempenho florestal - e também tecnológico).

Com esse conjunto de cuidados e de orientações no melhoramento florestal, conseguem-se otimizar ao mesmo tempo:

- A produtividade florestal;
- A qualidade da madeira (no mínimo sua mais uniforme e desejada densidade básica);
- A homogeneidade das árvores e da madeira;
- A tolerância ou a resistência a pragas, doenças e situações de stress climático;
- O portfólio de clones para plantios em larga escala e nas condições edafoclimáticas existentes na região de atuação da empresa florestal.

Muitos clones de eucaliptos já estão disponíveis para venda no mercado de mudas clonais. Alguns são clones mais antigos, que acabaram sendo substituídos por outros mais recentes pelas empresas líderes, mas que ainda podem trazer grandes benefícios para os produtores rurais, que estejam ingressando nas tecnologias e nas produções de florestas clonais.

Atualmente, os clones são registrados (patentes de cultivares) e considerados como propriedade tecnológica das empresas ou instituições que os desenvolveram. Existe sempre a chance de que clones antigos (mesmo os de domínio público e sem registro de cultivar)

possam ser resgatados e reintroduzidos nos programas de melhoramento genético, para que alguma de suas propriedades possa ser reaproveitada em novos clones. Portanto, eles costumam ser mantidos, até mesmo como um banco de material genético, que possa ser resgatado a qualquer momento pelos melhoristas.

Muitas vezes, uma empresa orientada para a produção de carvão vegetal desenvolve clones para seu próprio uso, mas em função de algumas propriedades desses clones, eles podem fazer parte do melhoramento florestal de outros tipos de empresas, com outros processos industriais (celulose e papel, painéis de madeira, madeira serrada, etc.). É por essa razão que o mercado de clones e até mesmo de pólen tem crescido – muitos clones de um segmento industrial podem perfeitamente se agregar com sucesso ao melhoramento genético florestal de outros segmentos, introduzindo novas fontes de variabilidade para algumas das características florestais ou de qualidade da madeira. Dentre essas características se destacam: tolerância a condições climáticas extremadas, resistência a algum tipo de praga ou doença, densidade básica ou teor de lignina na madeira, etc.

Atualmente no Brasil, um clone de eucalipto para ser considerado potencial para introdução comercial deve apresentar:

- IMA acima de 40 m^3/hectare.ano;
- IMA em toneladas de matéria seca por hectare.ano no mínimo igual à média dos valores dos clones elites sendo utilizados pela empresa;
- IMA em toneladas equivalentes de produto por hectare.ano no mínimo igual à média dos valores dos clones elites sendo utilizados pela empresa;
- Alto nível de brotação das cepas;
- Alto nível de enraizamento das estacas;
- Qualidade de madeira adequada ao potencial uso da mesma;
- Baixo teor de casca na árvore;
- Baixas exigências nutricionais e de água;

- Tolerância ao déficit hídrico ou a condições climáticas adversas extremas (ventos; geadas; secas; frio; etc.)

- Etc.; etc.

Há mais de quatro décadas, o setor brasileiro de florestas plantadas de eucalipto tem colocado a densidade básica da madeira como parâmetro de melhoramento florestal – isso tanto para florestas seminais ou clonais. Existe pleno reconhecimento da importância desse indicador de qualidade da madeira para inúmeras destinações das madeiras sendo produzidas por essas florestas.

Entretanto, valores muito altos ou muito baixos de densidade básica nem sempre estão entre os desejados, apesar de serem importantes para o banco de variabilidade genética. Cada empresa florestal, ou cada tipo de produto sendo fabricado tem exigências e especificações. Também os gargalos e as restrições tecnológicas dos processos industriais podem afetar as especificações de densidade de madeira. Muitas vezes, as principais razões dessas especificações são os processos industriais – por exemplo: em fábricas de celulose de mercado, muitas delas trabalhando acima dos valores das capacidades originais de projeto, são comuns os gargalos operacionais no setor de recuperação do licor preto ou de produção de licor branco. Essas limitações acabam orientando a um tipo de madeira, que consuma baixas quantidades de licor branco, ou que gere baixas toneladas de sólidos secos no licor preto destinando à caldeira de recuperação. Tão logo essas limitações tecnológicas sejam eliminadas por uma modernização dos equipamentos da fábrica, a especificação da qualidade da madeira poderá ser alterada também.

Muitas vezes, essas modificações são pouco conhecidas ou dialogadas pela falta de integração floresta/indústria e os conflitos podem surgir entre essas áreas, bem como com o setor comercial, que passa a exigir respeito às especificações de qualidade dos produtos sendo fabricados.

O que me surpreende bastante são as inúmeras potencialidades e vertentes focais que existem para o melhoramento da madeira dos eucaliptos, em especial na silvicultura clonal. Muitas empresas focam na otimização do consumo específico de madeira; outras na geração de sólidos secos no licor preto; outras na qualidade das fibras celulósicas; enquanto outras querem altos níveis de IMACel, IMAChapas ou IMACarvão, não importando como eles sejam obtidos.

Apenas a título de exemplos, podemos citar dois magníficos exemplos, um no setor de carvão vegetal e outro no setor de celulose e papel:

- O setor de carvão vegetal passou recentemente a testar e a introduzir novos clones de eucaliptos do gênero *Corymbia* (*C.citriodora x C.torelliana*, por exemplo) em função do aumento e maior homogeneidade da densidade básica da madeira – do que resultam carvões vegetais de melhor qualidade.

- O setor brasileiro de celulose e papel tem trabalhado faz mais de vinte anos na introdução de genes de *E.globulus* em seus clones, no que se denominou de "*globulização*" dos eucaliptos brasileiros. Os objetivos estão concentrados em modificações favoráveis na qualidade das madeiras dos clones que vêm sendo historicamente produzidos no Brasil. Com isso, esperam atingir (e já existem exemplos de sucessos): maiores densidades básicas, menores teores de lignina, maiores teores de holocelulose, maiores relações Siringila/Guaiacila, menores consumos de álcali ativo nos processos de polpação, maiores rendimentos nas linhas de fibras, maiores facilidades de branqueamento da celulose, menores gerações de sólidos secos no licor preto para as caldeiras de recuperação e alterações favoráveis em algumas propriedades dos produtos finais. As primeiras tentativas surgiram com a produção de híbridos do tipo *tri-cross* (três espécies em um único clone) por cruzamentos entre *E.urograndis* com *E.globulus*; porém muitos outros tipos de híbridos vêm sendo testados para melhor combinação das características adequadas de um ou outro deles.

É claro que esses desafios não são tão simples e nem são tão imediatos, mas eles estão acontecendo e muitos outras possibilidades existem e podem ser criadas. É um jogo sem fim de alternativas que não dependem só de sorte (embora às vezes, sim), mas de trabalho dedicado e com milhares de avaliações. Só tenho receio de que algumas dessas avaliações não sejam conduzidas com os níveis de repetições e avaliações metodológicas, que permitam garantir que o material genético que foi selecionado como bom (ou melhor) seja realmente bom. É um tipo comum de erro que se pode cometer ao se trabalhar com números elevados de dados e de tipos de análises.

O melhoramento genético da qualidade da madeira deve então estar inserido no melhoramento global das florestas – deseja-se manter, por exemplo, os níveis de produtividade e de rusticidade das florestas

de *E.urograndis* para fabricação de celulose, mas ao mesmo tempo se usufruir das vantagens da madeira do *E.globulus*, através da *globulização* dos eucaliptos brasileiros para esse segmento industrial.

Enfim, o melhoramento da qualidade da madeira, pelo menos a nível de densidade básica (mas de outros parâmetros também) já é uma realidade no setor brasileiro de florestas plantadas de eucaliptos. Mesmo se considerando que a densidade não seja a única característica de qualidade da madeira para algumas destinações, todos os melhoristas florestais sabem que não podem se privar de inclui-la em seus programas de melhoramento. É algo inexorável e ponto final – densidade básica precisa ser avaliada e otimizada, ainda que concomitantemente a outros fatores de qualidade da madeira. Ela encontrou, portanto, o seu espaço no setor florestal brasileiro.

Há uma enorme efervescência nas empresas – ainda mais agora que clones podem ser registrados e comercializados. Ainda existe toda a potencialidade das novas ferramentas de biotecnologia florestal, como poliploidia, indução de mutações, genômica e transgenia.

Isso me faz recordar ainda com mais saudades e a reconhecer ainda mais os esforços e a determinação de muitos estudiosos e pesquisadores de madeira, os quais relatei no início desse capítulo. Graças aos milhares de estudos, aos cursos, às contribuições compartilhadas foi que atingimos esse adequado nível de tecnologia florestal. Entretanto, prometo surpreendê-los com mais algumas revelações em meus próximos capítulos do Eucalyptus Online Book, não apenas falando dos acertos, mas também de alguns erros sendo cometidos no uso da densidade básica para predizer qualidade da madeira. E complementarei depois com mais capítulos, abrangendo muitos outros itens de qualidade da madeira, além da densidade básica.

Madeiras e cascas se complementam nas árvores dos eucaliptos, merecendo atenção constante dos técnicos de melhoristas florestais

Nem tudo que se colhe da floresta de eucalipto é madeira – isso também precisa ser muito bem entendido e avaliado pelos que otimizam a qualidade da madeira para uso industrial

A DENSIDADE APARENTE DE CAVACOS DE MADEIRA

A densidade aparente ou densidade a granel dos cavacos de madeira é uma das formas mais utilizadas para se converter volume de madeira em peso seco. Esse tipo de densidade costuma ser bastante comum em fábricas de celulose, painéis e usos energéticos da madeira, pois todas costumam converter as toras e cavacos para aplicação em seus processos industriais.

Densidade aparente ou a granel de cavacos pode ser expressa de duas formas:

- Densidade aparente anidra ou base seca: expressa em peso absolutamente seco de cavacos por unidade de volume (t a.s./m³; kg a.s./m³).

- Densidade aparente atual ou tal qual: apresenta os resultados em peso na umidade em que se encontram os cavacos pela unidade de volume dos mesmos (t/m³ e kg/m³).

A densidade aparente tal qual é pouco utilizada pela indústria, que tem foco em consumos específicos e está mais interessada em uma base constante que é o peso seco da madeira. Por isso, a preferência da indústria pela densidade aparente anidra. Com uma base fixa, que não

varia com o teor de umidade, os balanços mássicos e os cálculos de rendimentos podem ser usados com muito sucesso nesses tipos de industrializações.

A base anidra permite se determinar as exatas quantidades de substância madeira entrando nos processos industriais, facilitando assim as determinações de rendimentos de conversão (caso da produção de celulose). Permite também se determinar as quantidades de madeira sendo consumidas para fabricação de chapas de madeiras (exemplo: MDP).

Nas fábricas de celulose, os digestores são alimentados por cavacos de madeira, que são medidos em volume pelos alimentadores e medidores de cavacos. A partir dos valores de densidade aparente base anidra, os sistemas se adequam para converter os volumes alimentados em peso absolutamente seco de madeira. A partir daí, fica fácil se calcular o rendimento da conversão da madeira em celulose, que é determinada pela relação:

Rendimento polpação (%) =
100 . {(Peso a.s. celulose produzida) : (Peso a.s. madeira alimentada)}

As fábricas que consomem madeira energética na forma de cavacos já dependem mais de um outro parâmetro de controle, que é calculado para os cavacos a partir dos valores da densidade aparente tal qual. Isso porque a umidade dos cavacos afeta a densidade energética, que é a quantidade de energia primária disponível no combustível por metro cúbico de cavacos. A densidade energética é determinada com base no poder calorífico da biomassa na umidade em que se encontram os cavacos, no volume e na densidade aparente tal qual dos cavacos.

Densidade energética (GJ/m³ cavacos) =

(Densidade aparente tal qual, t/m³) . (Poder calorífico inferior, GJ/t)

Entretanto, o controle dos operadores deve focar: densidade aparente, teor de umidade e poder calorífico inferior dos cavacos.

Fica claro do exposto, que a densidade aparente dos cavacos é um excelente parâmetro de controle operacional e da qualidade dos cavacos, para as fábricas que necessitam deles.

Também é muito importante para os transportadores de madeira na forma de cavacos, seja em exportação de cavacos em grandes navios

especializados, ou no transporte dos mesmos em barcaças, caminhões ou vagões ferroviários. Evidentemente, esse tipo de atividade tem interesse de transportar cavacos os mais secos possíveis, para evitar ocupar espaço e transportar peso de água, que não agrega valor comercial algum ao produto cavacos – só mais despesas de manuseio, estocagem e transporte.

As densidades aparentes dos cavacos dependem de um conjunto de fatores, que podem influenciar bastante os resultados de suas medições, tais como:

- ✓ Densidade básica da madeira;
- ✓ Densidade aparente da madeira base seca ou anidra (t a.s./m³ tal qual);
- ✓ Dimensões dos cavacos (ou granulometria);
- ✓ Umidade dos cavacos;
- ✓ Pressão aplicada sobre os cavacos, que colabora para a compactação dos mesmos (na pilha de cavacos devido ao peso da coluna de cavacos; em digestores de polpação de celulose, etc.).

Como essas características tendem a variar momento-a-momento nas empresas industriais, há que se exercer monitoramento constante sobre elas para se garantir maior uniformidade da matéria-prima e das operações processuais. Valores de densidade de cavacos, que sofrem variações bruscas, podem afetar a própria estabilidade das operações, a inobservância de especificações de processo e problemas operacionais em digestores contínuos de produção de celulose (como perda de nível dos cavacos no digestor, variações na alimentação de pesos secos de madeira e de licores de cozimento, prisão da coluna de cavacos, etc.).

Para se manter controle sobre isso tudo, as fábricas de celulose e as de painéis de madeira analisam até mesmo de forma contínua (quando possível) ou em frequências bastante intensas, a granulometria, a umidade e a densidade aparente dos cavacos. Até mesmo a área florestal fica bastante envolvida com isso, para garantir tempos adequados de períodos pós-corte da madeira, quando se deixam as toras de madeira secando naturalmente no campo ou nos pátios de toras.

As práticas mais usuais nesses tipos de processos fabris são:

- ✓ Controle da umidade dos cavacos;
- ✓ Controle do TPC – Tempo Pós-Corte (em dias);
- ✓ Controle da densidade básica da madeira;
- ✓ Controle da densidade aparente base anidra dos cavacos;
- ✓ Controle das dimensões dos cavacos e de sua granulometria;
- ✓ Controle da quantidade de casca presente percentualmente nos cavacos;
- ✓ Controle do "mix" de madeira, para garantir uniformidade de densidade aparente anidra dos cavacos sendo alimentados nos processos (digestores, desfibradores e moinhos de partículas).

A densidade aparente dos cavacos costuma ser determinada através de metodologias padronizadas (Métodos ABNT e SCAN, como já apresentados). Definitivamente, há que se padronizar essas medições, pois existe grandes efeitos na acomodação dos cavacos no recipiente de teste, bem como há grande influência da pressão que se coloca sobre os cavacos. Quanto maior for a pressão, dentro de certos limites, mais se compactam os cavacos por unidade de volume e maiores serão os valores de densidade aparente.

O teor de umidade da madeira também tem efeito importante sobre os resultados. Cavacos verdes, obtidos de toras de árvores recém-abatidas, ainda não tiveram a influência da contração volumétrica da madeira com a secagem da mesma. Isso significa que um menor número de cavacos será colocado no volume definido pelo recipiente de ensaio, pois os cavacos estão úmidos e inchados pela umidade. Quando esses cavacos se secam, eles se contraem, e a contração depende do teor de umidade. Com a contração, os cavacos diminuem de volume e mais cavacos caberão nesse mesmo volume. Logo, maior será o peso seco por unidade de volume nessa segunda situação.

Do exposto, pode-se concluir que a umidade da madeira afeta - e bastante – a densidade aparente base anidra dos cavacos. Quanto mais seca a madeira, maior será sua contração volumétrica, mais cavacos

estarão presentes em um metro cúbico e maior será o valor da densidade aparente base anidra, exatamente por essas razões.

Em geral, esse efeito do teor de umidade é mais notado em teores extremos de umidade (próximos ao da madeira saturada e próximos ao da madeira quase completamente seca). Isso significa que madeiras muito úmidas (teores de umidade base peso úmido entre 55% a 70%) e madeiras bastante secas (umidades entre 0 a 25%) mostrarão as diferenças mais significativas em valores de densidade aparente de cavacos, seja base anidra ou base tal qual.

Reconhece-se que, para valores da umidade encontrada na madeira verde e saturada até valores de umidade de 40% (consistência de 60%), a contração volumétrica da madeira do eucalipto já pode ter acontecido até níveis de 5 a 6%. Já quando a madeira passa a ter umidades abaixo de 25% (consistências acima de 75%), a contração é bastante alta, podendo atingir valores acima de 10% até 20%, conforme a intensidade da secagem chegar mais próxima do seco absoluto. Conforme a madeira seca, mais cavacos poderão estar contidos em um metro cúbico, e com isso, a densidade aparente anidra aumentará. E esse aumento pode ser considerável, conforme atestam as pesquisas.

Vejam o interessante estudo publicado em 2002 por uma de nossas equipes de pesquisadores:

Variação da densidade a granel de cavacos de *Eucalyptus saligna* em função de suas dimensões e da umidade. M.C.H. Souza; E.R. Reis; K.P. Serafim; C. Pedrazzi; S.M.B. Frizzo; P. Oliveira; C.E.B. Foelkel. 35º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 07 pp. (2002)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202002c.pdf

Nesse trabalho técnico, os autores demonstraram os importantes efeitos do teor de umidade dos cavacos bem como da pressão aplicada sobre eles sobre a expressão dos valores de densidade aparente anidra (ou a granel) dos cavacos. No estudo, o valor da pressão aplicada de 0,35 kgf/cm² foi estabelecido com base em valores médios de pressão que acontecem em pilhas de cavacos, devido ao efeito da coluna de cavacos estocados nas pilhas.

As dimensões dos cavacos, principalmente comprimento e espessura, também afetam os resultados de densidade aparente. Extremos em dimensões prejudicam a densidade aparente, pois causam

engaiolamentos e excesso de vazios com ar entre as partículas de madeira. O excesso de vazios com ar acontece tanto para cavacos muito pequenos ou até com serragem de madeira (densidade aparente anidra de 0,11 a 0,14 t a.s./m³). Esse fenômeno de engaiolamento se nota também com cavacos ricos em materiais sobre-dimensionados, que têm dificuldades de acomodação no recipiente de teste, deixando muitos espaços vazios com ar no volume de cavacos.

Os operadores de picadores de toras precisam conhecer bem as características das madeiras para ajustar as facas e os demais itens de controle do picador. Lembrar que um picador não é um mero quebrador de toras em fragmentos de madeira, mas um equipamento para fabricar cavacos dentro de especificações técnicas adequadas.

As dimensões dos cavacos que afetam a densidade aparente dos mesmos são controladas pelos operadores do picador através:

- Ângulo de corte das facas;
- Qualidade dos blocos e contrafacas;
- Afiação das facas;
- Controle do comprimento dos cavacos, que se relaciona também com a espessura dos mesmos;
- Teor de umidade das madeiras sendo picadas;
- Diâmetro das toras que são alimentadas;
- Homogeneidade em diâmetros, pesos e umidade das toras;
- Presença excessiva de cascas e outros contaminantes (areia, pedras, etc.).

Os cavacos devem ser produzidos de acordo com especificações rígidas para que não se rejeitem muitos cavacos na etapa seguinte de classificação dos mesmos por dimensões (peneiras de classificação). Em termos gerais se desejam cavacos com:

- ✓ Maior homogeneidade possível em dimensões (95% ou mais de cavacos com espessura entre 2 a 8 mm);

- ✓ Baixos teores de serragem e palitos (minicavacos);

- ✓ Mínima presença de cavacos sobre-espessos, lascas, pedaços grandes de cascas, etc.;

- ✓ Teores adequados de casca, base peso seco;

- ✓ Teor de umidade em consonância com o desejado no processo (em geral, entre 35 a 50% de umidade);

- ✓ Densidade aparente a mais homogênea possível, o que também pode ser conseguido por ajustes no "mix" de madeira que se envia aos picadores.

Os operadores do picador devem conhecer não apenas as especificações técnicas que devem atingir nos cavacos, mas também as características das toras a picar. Existem relações bem conhecidas entre as características das madeiras das toras e as dos cavacos. Ao picar toras em cavacos, o que se deseja é aumentar a superfície da madeira e converter as toras em um produto mais facilmente manuseável, transportável e alimentado em unidades industriais, como reatores, desfibradores, digestores, caldeiras de força, etc.

Muitos operadores desenvolvem níveis de experiência que lhes permitem antever problemas e estrategiar ações corretivas, conforme notam mudanças na qualidade das toras. Essas mudanças podem ser de umidade, de densidade, de diâmetros, de variabilidade de qualidade, de contaminações com casca, etc.

Vejam um exemplo disso:

Os operadores sabem que não devem cortar cavacos muito curtos em comprimento (menores que 20 mm de comprimento), pois terão muito maior consumo de energia elétrica nos picadores. Uma tora de 3,6 metros de comprimento será fatiada 180 vezes quando os cavacos forem cortados em comprimentos de 20 mm. Caso o comprimento seja alterado para 30 mm, o número de fatias cortadas será reduzido para 120. Ou seja, uma grande economia de energia.

Entretanto, quando a densidade das toras for muito alta, ou a sua umidade for muito baixa, é mais difícil se cortarem as fatias de toras e a resistência da madeira leva a muitos cavacos de maior espessura do que o desejado – logo, aumentam os descartes de cavacos. A solução que

sobra aos operadores é cortar cavacos mais curtos, pois com isso conseguirão reduzir a espessura dos cavacos e o nível de rejeição de sobre-espessos. Essas ações interferem também no maior consumo de energia e na densidade aparente dos cavacos.

Enfim, relações entre os parâmetros de qualidade e as condições de operação existem – elas precisam ser conhecidas, entendidas e otimizadas pelos produtores de cavacos.

Outros parâmetros fundamentais para atuações dos operadores são: teor de umidade das toras, densidade aparente tal qual das toras, resistência mecânica ao corte de fatias das toras pelos picadores, variações em diâmetros das toras, teor de cerne das mesmas, níveis de deterioração (toras apodrecidas), etc. Todos os operadores sabem muito bem das dificuldades para picar madeiras densas e secas – e isso afeta a contração volumétrica e as dimensões resultantes nos cavacos – tudo isso relacionando-se à densidade aparente dos cavacos.

Curiosamente, muitos técnicos atribuem tão somente à densidade básica da madeira as alterações na densidade aparente anidra dos cavacos. Espero que alguns que pensem assim leiam com atenção essa seção, até mesmo para refletirem mais sobre o que estarão lendo.

Em fábricas de produção de celulose kraft de eucalipto, os cavacos costumam ter dimensões que estão entre:

- ✓ 18 a 30 mm de comprimento;
- ✓ 2 a 8 mm de espessura;
- ✓ 0,44 a 0,52 t a.s./m³ de densidade básica após saturação dos cavacos, conforme rege o ensaio desse tipo de densidade;
- ✓ 0,15 a 0,20 t a.s./m³ de cavacos para densidade aparente anidra ou densidade a granel;
- ✓ 0,4 a 0,8% de contaminação com casca também picada e referida em percentagem do peso seco do material.

No caso da fabricação de painéis de madeira, a presença de casca é até bem-vinda, dentro de certos limites, pois em excesso pode afetar a qualidade dos painéis e o consumo de resinas. Pode também,

acima de certos limites, enfraquecer a resistência de alguns tipos de painéis, como as chapas de MDP.

Apesar de algumas dificuldades e de maiores controles, a casca é bem aceita na fabricação dos painéis, pois a fábrica não terá tanta demanda (e custos) para descascamento das toras e também usará como matéria-prima mais um dos produtos da árvore, ou seja, a sua casca.

No caso de cavacos alimentados a termoelétricas, as toras são picadas sem descascamento algum. O principal controle passa a ser o teor de umidade das toras – até mesmo as dimensões dos cavacos não são tão críticas. Além disso, para madeiras bem secas, o que é desejável, a densidade aparente é melhorada pelo efeito da contração volumétrica dos cavacos.

Cascas são constantes presenças nos cavacos de madeira

Deve ser ainda lembrado, que a densidade aparente dos cavacos é influenciada pelo teor de casca presente nos mesmos, já que a densidade da casca é menor que a densidade da madeira, para a quase totalidade dos eucaliptos.

Fica claro então, que conforme a destinação dos cavacos em processos industriais distintos, teremos especificações de qualidade diferentes – bem como variações na densidade aparente, já que essa pode ser afetada pelos diferentes níveis de presença de casca, dimensões das partículas ou cavacos, teores de umidade, etc.

Para quaisquer que sejam as destinações dos cavacos, a densidade aparente dos mesmos é um dos principais parâmetros medidos para controle de qualidade.

Dentre os níveis mais usuais de qualidade de cavacos de eucaliptos, costumam-se encontrar valores distintos para densidade aparente dos cavacos, em função dos fatores que a afetam e que discorremos até agora.

Observem alguns valores comuns sendo encontrados, muito em função obviamente da espécie, clone, idade, sanidade, dimensões dos cavacos, umidade, contração volumétrica, contaminantes como casca, etc., etc.

Material	Densidade aparente anidra cavacos (t a.s./m³)	Densidade básica madeira t a.s./m³
Serragem	0 ,11 – 0,14	0,42 – 0,45
Cavacos (2 a 6 mm)	0,16 – 0,19	0,46 – 0,50
Sobre-espessos (Maior 8 mm)	0,2 – 0,23	0,50 – 0,54

As madeiras mais densas apresentam maiores quantidades de substância madeira por unidade de volume, menor porosidade e produzem cavacos mais espessos. As toras são mais difíceis de serem picadas em cavacos e os cavacos de impregnar e de reagir com compostos químicos usados para amolecimento, hidrólise, solubilização, polpação, etc.

Por essa razão, apesar de alguns setores desejarem aumento de densidades dos cavacos e da madeira para economias tanto em consumo específico e em produtividade dos equipamentos, esse aumento deve estar dentro de limites aceitáveis pelas máquinas e pelos processos e produtos.

Esses limites variam caso-a-caso, já que podem também dependerem de gargalos e de restrições tecnológicas e operacionais das fábricas, das capacidades produtivas e das práticas operacionais sendo adotadas.

Em função disso, da madeira disponível e de outros fatores já debatidos, existem fábricas de celulose trabalhando com densidades aparentes base anidra em seus cavacos de processo em valores de 0,15 a 0,17 t a.s./m³ e outras com valores acima disso (0,17 a 0,20 t a.s./m³).

No setor de produção de painéis de madeira, as densidades aparentes base anidra dos cavacos (muitas vezes ricos em casca) variam entre 0,145 a 0,165 t a.s./m³. Isso pelas características de densidade desejada para a formação do painel ou da chapa e pela presença de casca nos cavacos. Lembrar que a densidade da casca é inferior à da madeira, como visto em seção anterior desse capítulo.

No caso de termoelétricas movidas a cavacos de biomassa, desejam-se cavacos com as maiores densidades energéticas possíveis e isso pode ser conseguido com: altas densidades aparentes dos cavacos, baixos teores de umidade e altos teores de lignina na madeira. Quando se utilizam eucaliptos com altas densidades de madeira, mesmo a presença da casca (que vai também para as fornalhas das caldeiras) não impede que se obtenham densidades aparentes nos cavacos entre 0,22 a 0,24 t a.s./m³ - ou até mesmo maiores do que isso.

Esses valores de densidade aparente e densidade energética dos cavacos são engenheirados por uma combinação de fatores, que começam no melhoramento genético, nos controles na floresta (tempo

pós-corte, por exemplo), no pátio de toras, na picagem das toras e na seleção dos cavacos.

Em todos os casos, os teores de constituintes não-lenhosos indesejáveis como areia, pedras e metais precisam ser muito bem controlados.

De tudo o que foi exposto, pode-se concluir que a densidade aparente base anidra dos cavacos depende de um conjunto de fatores técnicos que associam qualidade da própria madeira com fatores operacionais e de idades tecnológicas das fábricas. Dentre todos esses fatores, os associados à qualidade da madeira (densidade básica) e o controle operacional do "mix" de madeira são os que são mais visíveis e mais otimizados nas fábricas.

Nos setores de produção de celulose e de chapas de madeira, a ênfase é bastante colocada sobre a densidade básica da madeira nas florestas e na densidade aparente base anidra dos cavacos nas fábricas. Existem controles, monitoramentos, sistemas automáticos de medição, especificações, planos de melhoria contínua, estratégias de melhoramento clonal, e muito mais coisas acontecendo para domar esses dois parâmetros de qualidade de madeira, seja como toras ou como cavacos.

São comuns as predições de valores de densidade básica e de densidade aparente dos cavacos de madeira com base em modelos de crescimento das florestas, tipo de clone, ambiente onde se desenvolvem as florestas, idade das mesmas, características dos cavacos, etc., etc.

A cada instante, em função da madeira sendo picada ou utilizada, os sistemas de controle automático das empresas atualizam esses dados. Sabemos que devem existir erros, mas são sistemas que podem ser continuamente aperfeiçoados, baseados em experimentações de estatística, de modelagem e de ensaios laboratoriais. Só não podemos nos acomodar e deixar os algoritmos usados sem atualizações e sem correções de rumo. Também temos que ter técnicos espertos e atentos para detectar dissintonias e corrigir as mesmas.

Técnicas com estatística multivariada, redes neurais e outros sistemas de modelagens e predições costumam ser utilizados. Apesar de existirem desvios entre os valores reais e os estimados, sempre deverá existir também motivações entre os técnicos para aperfeiçoamento contínuo desses sistemas e programas.

Muita coisa foi feita para melhorar o controle de qualidade da madeira dos eucaliptos, seja nas árvores das florestas, nas toras recebidas nas fábricas e nos cavacos consumidos por diversos dos processos industriais. Em praticamente todas essas situações, a densidade da madeira está presente com um dos mais importantes critérios de avaliação e controle de qualidade da matéria-prima de base florestal – seja madeira, casca, cavacos ou algum tipo de mistura de materiais lenhosos.

Casca energética pura

Biomassa energética – cavacos de casca enriquecida com madeira

Toras de madeiras

Cavacos de madeira

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para mim, foi um privilégio ter podido escrever e lhes oferecer mais um dos capítulos do **Eucalyptus Online Book**. Esse capítulo foi o primeiro de uma série de alguns capítulos com elevado grau de aplicabilidade, onde procurarei apresentar conceitos, conquistas e recomendações sobre a qualidade das madeiras dos eucaliptos. Na verdade, esse é um tema praticamente inesgotável e em contínua evolução no Brasil e no mundo eucalíptico. Tenho certeza que frente às inúmeras universidades, institutos de pesquisa e empresas industriais estudando e praticando esses conceitos e os aplicando em suas atividades, o tema tenderá a evoluir muito rapidamente. Ainda mais que temos novos ferramentais sendo disponibilizados pela biotecnologia florestal.

O próximo capítulo dessa série trará algumas reflexões sobre erros e acertos na aplicação da densidade básica para predição da qualidade das madeiras de eucalipto para utilização industrial. Prometo lhes estar oferecendo um conjunto de alertas relacionados às metodologias de ensaios e tipos de erros estatísticos que o setor de base florestal possa estar cometendo, ao mesmo tempo que tem tido maravilhosos e numerosos acertos também.

Mais uma vez, agradeço a leitura de vocês, esperando que o que lhes escrevi nesse capítulo tenha sido de alguma utilidade técnica e prática. Aguardem novidades sobre esse tema: *minha meta é bastante clara* – quero colocar no ***Eucalyptus Online Book*** um conjunto de capítulos que possam se constituir em *um dos maiores bancos de conhecimentos sobre a qualidade da madeira dos eucaliptos* para ser compartilhado com a sociedade.

==========

REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

A literatura mundial e em especial a brasileira são riquíssimas em estudos sobre qualidade da madeira, sendo a grande maioria das publicações brasileiras dedicada a estudos sobre as madeiras dos eucaliptos. Essa tendência de se estudar a madeira se intensificou a partir dos anos 1970's, quando o eucalipto passou a ser a principal matéria-prima para inúmeras utilizações industriais, tais como: celulose e papel, madeira tratada, madeira serrada, painéis e chapas de madeira, carvão vegetal, lenha e bioenergia, etc.

Existem definitivamente milhares de estudos sobre a densidade básica da madeira dos *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucaria*, espécies nativas e muitas outras espécies de uso comercial, sejam de folhosas ou coníferas. As razões para isso são muito simples: há demanda para esse tipo de conhecimentos pelos usuários da madeira e de seus produtos, a qualidade da madeira interfere diretamente nos usos e especificações dos produtos dela derivados e os estudos sobre densidade da madeira ou de cavacos de madeira são relativamente simples de serem realizados por estudantes, técnicos, analistas e especialistas – enfim, há grande simplicidade envolvida nessas avaliações, o que acaba gerando uma quantidade enorme de informações técnicas para a sociedade. Muitas dessas informações são disponibilizadas por estudos acadêmicos, em trabalhos de conclusão de cursos, teses, dissertações, artigos em

revistas científicas e técnicas, etc. Outros estudos são também realizados por técnicos de processo ou de pesquisa das empresas industriais que se valem da madeira como principal matéria-prima industrial. Enfim, são milhares de estudos que podem ser facilmente encontrados na web e, por isso mesmo, criteriosas seleções merecem ser feitas através de pacienciosa navegação.

Para esse capítulo fizemos uma seleção mais relacionada à praticidade de uso da densidade básica da madeira pelo setor de base florestal. Não é uma revisão exaustiva – deixaremos para complementar isso nos demais capítulos dessa série do Eucalyptus Online Book. Entretanto, tivemos o cuidado de resgatar alguns artigos históricos e outros estudos pioneiros sobre a densidade básica da madeira, o que vai permitir que todos os interessados em estudar densidade de madeira possam encontrar elementos valiosos para fundamentações e embasamentos técnicos e científicos, antes de saírem afoitamente colhendo amostras e as analisando sem os cuidados requeridos para máxima confiabilidade dos resultados encontrados.

Espero sinceramente que vocês apreciem essa seleção de mais de 280 referências aqui colocadas para uso público, com links a dezenas de excelentes artigos e publicações. Aguardem próximos capítulos sobre o tema ***"Qualidade da Madeira do Eucalipto",*** pois traremos muito mais para que vocês possam se interessar cada vez mais acerca desse assunto.

É muito importante que vocês naveguem logo e façam os devidos *downloading's* dos materiais de seu interesse das nossas referências. Muitas vezes, as instituições disponibilizam esses valiosos materiais por curto espaço de tempo; outras vezes, alteram o endereço de referência em seu website. De qualquer maneira, toda vez que ao tentarem acessar um link referenciado e ele não funcionar, sugiro que copiem o título do artigo ou evento e o coloquem entre aspas, para procurar o mesmo em um buscador de qualidade como Google, Bing, Yahoo, etc. Às vezes, a entidade que abriga a referência remodela seu website e os endereços de URL são modificados. Outras vezes, o material é retirado do website referenciado, mas pode eventualmente ser localizado em algum outro endereço, desde que buscado de forma correta.

Espero que se divirtam navegando e aprendendo com essa seleção de textos e websites.

Symposium in Nondestructive Testing and Evaluation of Wood. Global Series of Symposium's. Acesso em 05.05.2015:

https://www.google.com.br/#q=%22symposium+on+nondestructive+testing%22+wood (em Inglês)

e

http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr213.pdf (em Inglês - História dos diversos simpósios desde 1991, quando ocorreu o primeiro evento na Hungria)

LAMEM– Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras. Escola de Engenharia de São Carlos. USP – Universidade de São Paulo. Acesso em 05.05.2015:

http://www.set.eesc.usp.br/lamem/

Angélica de Cássia Oliveira Carneiro - Publications. ResearchGate. Acesso em 05.05.2015:

https://www.researchgate.net/profile/Angelica_Carneiro/publications (em Inglês)

Augusto Fernandes Milanez - Publications. ResearchGate. Acesso em 05.05.2015:

https://www.researchgate.net/profile/Augusto_Milanez/publications (em Inglês)

Benedito Rocha Vital - Publications. ResearchGate. Acesso em 05.05.2015:

https://www.researchgate.net/profile/Benedito_Vital/publications (em Inglês)

Francides Gomes da Silva Júnior - Publications. ResearchGate. Acesso em 05.05.2015:

https://www.researchgate.net/profile/Francides_Junior/publications (em Inglês)

Jorge Luiz Colodette - Publications. ResearchGate. Acesso em 05.05.2015:

https://www.researchgate.net/profile/Jorge_Colodette/publications (em Inglês)

José Tarcísio Lima - Publications. ResearchGate. Acesso em 05.05.2015:

https://www.researchgate.net/profile/Jose_Lima21/publications (em Inglês)

Paulo Fernando Trugilho - Publications. ResearchGate. Acesso em 05.05.2015:

https://www.researchgate.net/profile/Paulo_Trugilho/publications (em Inglês)

Sebastião Rosado - Publications. ResearchGate. Acesso em 05.05.2015:

https://www.researchgate.net/profile/Sebastiao_Rosado/publications (em Inglês)

Teotônio Francisco de Assis - Publications. ResearchGate. Acesso em 05.05.2015:

https://www.researchgate.net/profile/Teotonio_Assis/publications (em Inglês)

Tensão de crescimento e sua relação com as rachaduras de topo em toras de *Eucalyptus spp*. R. Beltrame; M.L. Peres; M. Lazarotto; D.A. Gatto; E. Schneid; C.R. Haselein. Scientia Forestalis 43(105): 63 - 74. (2015)

http://ipef.br/publicacoes/scientia/nr105/cap06.pdf

Efeito da idade e do sítio na densidade básica e produção de massa seca de madeira em um clone do *Eucalyptus urophylla.* V.A. Meneses; P.F. Trugilho; N. Calegario; H.G. Leite. Scientia Forestalis 43(105): 101 - 116. (2015)

http://ipef.br/publicacoes/scientia/nr105/cap10.pdf

Thorough characterization of Brazilian new generation of eucalypt clones and grass for pulp production. F.J.B. Gomes; J.L. Colodette; A. Burnet; L.A.R. Batalha; F.A. Santos; I.F. Demuner. International Journal of Forestry Research 2015. 10 pp. (2015)

http://downloads.hindawi.com/journals/ijfr/2015/814071.pdf (em Inglês)

***Eucalyptus* wood evaluation for pulp production: the choice of key indicators and the knowledge of the variables role on the process as a tool for raising the productivity.** L.S. Caux; L.C. Dalvi; J.L. Colodette. 7th International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. 08 pp. (2015)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2015_Wood_evaluation.pdf (em Inglês)

Understanding pulpability of *Eucalyptus globulus* based on chemical, anatomical and genomics traits. R.T. Mendonça; S. Valenzuela; J.P. Elissetche; M.G. Aguayo; P. Martínez; I. Carrillo. 7th International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. 01 pp. (2015)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2015_Wood_pulpability.pdf (em Inglês)

Pulping potential of young eucalypts: a comparative study of wood and pulp properties of 12 eucalypt species. D.M. Neiva; L. Fernandes; S. Araújo; A. Lourenço; J. Gominho; R. Simões; H. Pereira. 7th International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. 07 pp. (2015)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2015_Young_eucalyptus.pdf (em Inglês)

Recent advances in the chemistry of *Eucalyptus* wood. J.C. del Rio; J. Rencoret; A.T. Martinéz; J.L. Colodette; A. Gutiérrez. 7th International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. 09 pp. (2015)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2015_Chemistry_Eucalyptus.pdf (em Inglês)

Drying of logs of clone Mn463 (*Eucalyptus urophylla*) in outdoor area. A.J.V. Zanuncio; A.G. Carvalho; E.M.G.C. Silva; J.T. Lima; J.L. Colodette. 7th International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. 02 pp. (2015)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2015_Drying_logs.pdf (em Inglês)

Effect of the availability of water and nutrients in the eucalypt wood quality and kraft pulp production. F.P. Leite; F.J.B. Gomes; I.F. Demuner; J.L. Colodette. 7th International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. 09 pp. (2015)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2015_Effects_water_nutrients.pdf (em Inglês)

Impact of qualitative management of feeding wood mix in the process and pulp quality. P.N. Pignaton; F. Costa Neto. 7th International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. 07 pp. (2015)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2015_Mix_management.pdf (em Inglês)

Relationship between wood density and biometric characteristics of fiber on genotypes of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens*. J.P.

Elissetche; C. Parra; I. Carrillo; S. Valenzuela. 7th International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. 01 p. (2015)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2015_Wood_characteristics.pdf (em Inglês)

Melhoramento genético de *Eucalyptus*: desafios e perspectivas. T.F. Assis. 3º Encontro Brasileiro de Silvicultura. 22 pp. (2014)

http://www.expoforest.com.br/silvicultura/wp-content/uploads/2013/09/encontro-silvicultura-2014-bloco-2-pdf-artigo-pag-127.pdf

Contribuição ao desenvolvimento da cultura do *Eucalyptus* no Brasil: uma realização surpreendente. E. Campinhos Júnior. Eucalyptus Newsletter nº 45. 09 pp. (2014)

http://www.eucalyptus.com.br/news/Eucalyptus_News45_Campinhos_Realizacao_Surpreendente.pdf

Artigos do Professor Dr. Setsuo Iwakiri sobre "Usos tecnológicos das madeiras dos eucaliptos e de outras folhosas (Dicotiledôneas arbóreas) de interesse econômico e comercial". C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 45. 15 pp. (2014)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2014_Setsuo_Iwakiri_Hardwoods.pdf

Homogeneizar e diversificar: exigências opostas na gestão das florestas plantadas. C. Foelkel. Grau Celsius. Website especializado. 03 pp. (2014)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Florestas_plantadas_Homogeneizar_e_diversificar.pdf

Efeito da idade e clone na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp visando à produção de bioenergia. T.P. Protásio; T.A. Neves; A.A. Reis; P.F. Trugilho. Ciência Florestal 24(2): 465 – 477. (2014)

http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/download/14587/9077

Estimativas dos parâmetros genéticos para seleção de árvores de *Eucalyptus.* C.B. Moraes; T.F. Brizolla; L.G. Teixeira; L. Zimback; E.V. Tambarussi; R. Chaves; M.L.T. Moraes; E.S. Mori. Scientia Forestalis 42(104): 623 - 629. (2014)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr104/cap16.pdf

Estimativas de parâmetros genéticos para seleção precoce de clones de *Eucalyptus* para região com ocorrência de geadas. C.B. Moraes; T.C.M. Freitas; G.B. Pieroni; M.D.V. Resende; L. Zimback; E.S. Mori. Scientia Forestalis 42(102): 219 – 227. (2014)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr102/cap06.pdf

Perfil de densidade do lenho utilizando métodos radiográficos. P.G. Surdi; G. Bortoletto Júnior; V.R. Castro; N.F. Almeida; R.F. Mendes; G. Chaix; M. Tomazello Filho. Scientia Forestalis 42(102): 229 – 236. (2014)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr102/cap07.pdf

Efeito da qualidade da madeira no desempenho da polpação kraft. D.M. Carvalho; M.R. Silva; J.L. Colodette. Ciência Florestal 24(3): 677 – 684. (2014)

http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/download/2957/pdf

Qualidade da madeira e da celulose de clones de *Eucalyptus* spp. de diferentes densidades. F.A. Diogo. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 47 pp. (2014)

http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/113794/000806799.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Determinação do teor de umidade e densidade básica para espécies de *Pinus* e eucalipto. D.H. Almeida; J.C. Molina; T.H. Almeida; C. Calil Júnior; A.C.L. Alves. FAIT – Revistas Científicas Eletrônicas – Engenharia Florestal. 4ª Edição. (2014)

http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/GJqhOS2OjOZ3IRW_2014-4-16-16-31-23.pdf

On the importance of raw material assessment and selection for low cost eucalypt kraft pulp production. J.L. Colodette; F.J.B. Gomes. 13th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp. 05 pp. (2014)

http://www.researchgate.net/profile/Fernando_Borges_Gomes/publication/263556881_3th_European_Workshop_on_Lignocellulosics_and_Pulp_ON_THE_IMPORTANCE_OF_

RAW_MATERIAL_ASSESSMENT_AND_SELECTION_FOR_LOW_COST_EUCALYPT_KRAFT_PULP_PRODUCTION/links/0c96053b3f0f3d3f9a000000.pdf?ev=pub_ext_doc_dl&origin=publication_list&inViewer=true (em Inglês)

Estimación indirecta de la densidad de la madera mediante el uso de Pilodyn en la selección de clones de *Eucalyptus pellita* F. Muell. D.L. Giraldo Charria; V.M. Nieto Rodríguez; M. Sarmiento; N. Borralho. Colombia Forestal 17(2): 181 – 192. (2014)

http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v17n2/v17n2a05.pdf (em Espanhol)

Inferência da densidade da madeira e**stimada por esclerometria.** N.S. Veiga. Dissertação de Mestrado. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 82 pp. (2014)

http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000930832

Efeito da fertilização na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp. B.M. Barbosa; J.L. Colodette; C.P.T. Cabral; F.J.B. Gomes; V.L. Silva. Scientia Forestalis 42(101): 29 – 39. (2014)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr101/cap03.pdf

Uso da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para predição não-destrutiva de densidade básica da madeira de *Eucalyptus benthammi* e *Eucalyptus pellita.* M. Lazzarotto; W.L.E. Magalhães. Embrapa Florestas. Comunicado Técnico nº 334. 06 pp. (2014)

http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/113491/1/CT-0334.pdf

Condições ideais para o consumo específico de madeira na produção de celulose. F.A.B. Moraes; C.L. Piratelli; J.A. Achcar. Production 24(3): 712-724. (2014)

http://www.scielo.br/pdf/prod/2013nahead/aop_prod0497.pdf

Grandes autores sobre o *Pinus*: Professor Dr. Setsuo Iwakiri. C. Foelkel. PinusLetter nº 40. 19 pp. (2013)

http://www.celso-foelkel.com.br/pinus/PinusLetter40_Setsuo_Iwakiri.pdf

Uso do Pilodyn como alternativa para estimativa da densidade básica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. R.A.P. Damásio; R.A. Estopa; A.C. Oliveira; B.L.C. Pereira; M.B. Gonçalves Sobrinho. Anais do Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira. 01 pp. (2013)

http://proceedings.galoa.com.br/cbcm-2013/trabalhos/uso_do_pilodyn_como_alternativa_para_estimativa_da_densidade_basica_da_madeira_de_eucalyptus

Estudo comparativo de métodos para determinação da densidade básica de cavacos e discos de madeira. R.R. Padula. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 76 pp. (2013)

http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99772/000758434.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Influência da variabilidade dimensional e da densidade da madeira de *Eucalyptus sp* e de *Corymbia sp* na qualidade do carvão. V.H.P. Moutinho. Tese de Doutorado. USP – Universidade de São Paulo. 164 pp. (2013)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-19022013-110220/publico/Victor_Hugo_Pereira_Moutinho_versao_revisada.pdf

Variação da umidade e densidade básica em *Eucalyptus* sp em Dueré - TO . V.D. Melo; E.E.P. Baraúna; R.S. Vieira; T.C. Monteiro. 9º Seminário de Iniciação Científica. UFT – Universidade Federal do Tocantins. 05 pp. (2013)

http://eventos.uft.edu.br/index.php/sic/IX/paper/download/786/274

Aplicação da radiação gama na determinação de parâmetros físicos em madeiras. G. Carvalho. Tese de Doutorado. USP – Universidade de São Paulo. 73 pp. (2013)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-10022014-143000/publico/2013CarvalhoAplicacao.pdf

Avaliação do crescimento e da qualidade do lenho de árvores de *Eucalyptus urophylla*, de 8 anos, de testes de progênies, visando a produção de carvão vegetal. M.A.A. Almonacid. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. 162 pp. (2013)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-30102013-110518/publico/Marco_Aurelio_Arizapana_Almonacid.pdf

Qualidade da madeira para a produção de celulose e papel. O.A. Dias; G. Simonelli. Enciclopédia Biosfera 9(17). 15 pp. (2013)

http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/MULTIDISCIPLINAR/qualidade%20da%20madeira.pdf

Caracterização química e física da madeira de procedências de *Eucalyptus.* I.L. Guimarães; J.B. Guimarães Junior; F.J.N. Lisboa; C.R. Andrade; H.F. Siqueira. Enciclopédia Biosfera 9(17): 636- 645. (2013)

http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/caracterizacao%20quimica%20e%20fisica.pdf

Modeling of basic density of wood from *Eucalyptus* and *Eucalyptus urophylla* using nondestructive methods. A.M. Couto; P.F. Trugilho; T.A. Neves; T.P. Protásio; V.A. Sá. Cerne 19(1): 27 – 34. (2013)

http://www.scielo.br/pdf/cerne/v19n1/04.pdf (em Inglês)

Interação genótipos x ambientes para produtividade de híbridos multi-espécies de eucalipto no Rio Grande do Sul. G.A. Santos. Tese de Doutorado. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 129 pp. (2012)

http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_dr/2012/t324_0389-D.pdf

Métodos de determinação da densidade básica e aparente da madeira de *Eucalyptus* sp. E.M. Bruder. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 113 pp. (2012)

http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0863.pdf

Caracterização dendrométrica e variação da massa específica básica em povoamentos de *Azadirachta indica* A. Juss, no município de São José de Espinharas – PB. M.M. Assis. Monografia de Conclusão de Curso. UFC – Universidade Federal de Campina Grande. 40 pp. (2012)

http://www.cstr.ufcg.edu.br/grad_eng_florest/mono_2012/mono_mayara.pdf

Avaliação das madeiras de *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla* e *Acacia mearnsii* para a produção de celulose kraft pelos processos convencional e Lo-Solids®. T.E.S. Segura. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. 100 pp. (2012)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-13022012-144051/publico/Tiago_Edson_Simkunas_Segura_versao_revisada.pdf

Nondestructive testing and evaluation of wood—50 years of Research International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium Series. R.J. Ross; X. Wang. Report FPL-GTR-213. U.S.D.A. Forest Products Laboratory. 09 pp. (2012)

http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr213.pdf (em Inglês)

Qualificação dos ensaios não destrutivos para estimar as características físico-mecânicas da madeira. R.C. Alves. Projeto de Curso de Mestrado. UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. 87 pp. (2012)

http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-95XGPF/254.pdf?sequence=1

Advanced technologies for bleached *Eucalyptus* pulp production: from wood to product. J.L. Colodette; J.L. Gomide; A. Magaton. VIII Simposio Internacional de la Industria de la Celulosa y Papel. Apresentação em PowerPoint: 57 slides. (2012)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2012_Wood_quality_Chile.pdf (em Inglês)

Qualidade de painéis de madeira compensada fabricados com lâminas de madeira de *Eucalyptus saligna, Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus urograndis*. S. Kazmierczak. Dissertação de Mestrado. UNIOESTE – Universidade Estadual do Centro-Oeste. 95 pp. (2012)

http://www.unicentro.br/ppgcf/dissertacoes/sandra_kazmierczak.pdf

Avaliação da qualidade da madeira de espécies de *Pinus* tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos. R. Trianoski. Tese de Doutorado. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 554 pp. (2012)

http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_dr/2012/t315_0415-D.pdf

Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. C.R. Sette Jr.; I.R. Oliveira; M. Tomazello Filho; F.M. Yamaji; J.P. Laclau. Revista Árvore 36(6): 1183 – 1190. (2012)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v36n6/19.pdf

Dimensões de cavacos industriais de eucalipto e relações com polpação, resistência e morfologia de fibras na polpa. J.P. Grande. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Júnior". 87 pp. (2012)

http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0836.pdf

Caracterização química e física da madeira de *Eucalyptus.* *(*Chemical and physical characterization of *Eucalyptus* wood). P.F. Trugilho; S.L. Goulart. Enerbiomassa 2012. Apresentação em PowerPoint: 16 slides. (2012)

http://2100.org/enerbiomassa/slides/A2/A2.1.pdf

Efeito do sítio nas características tecnológicas da madeira de *Eucalyptus* para produção de celulose kraft. A.F.G. Gouvêa; C.M. Gomes; L.M. Matos; T.A. Souza; F.J.B. Kumabe; P.K.R.M. Benites. Ciência da Madeira 3(2): 102 – 115. (2012)

http://www2.ufpel.edu.br/revistas/index.php/cienciadamadeira/article/viewFile/137/cienciadamadeirav3n2a137

Qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. H. Fantuzzi Neto. Tese de Doutorado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 119 pp. (2012)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=4145

Amostragens longitudinais alternativas para a determinação da densidade básica em clones de *Eucalyptus* sp. A.M. Couto; T.P. Protásio; A.A. Reis; P.F. Trugilho. Flor@am – Floresta e Ambiente 19(2): 184 – 193. (2012)

http://www.floram.org/files/v19n2/v19n2a10.pdf

Estudo comparativo da madeira e polpação de *Eucalyptus urophylla* e do híbrido *E.urophylla* x *E.grandis* em dois modelos silviculturais. F.M.L. Souza. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 83 pp. (2012)

http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0839.pdf

Amostragem não destrutiva e qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus spp*. A.C. Oliveira. Dissertação de Mestrado. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 92 pp. (2011)

http://www.prpg.ufla.br/ct-madeira/wp-content/uploads/2012/07/ADALBERTO-CALDAS-OLIVEIRA.pdf

Eficiência do Pilodyn para a seleção de materiais genéticos de eucalipto para fins energéticos. L.F. Rodrigues. Monografia de Conclusão de Curso. UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 30 pp. (2011)

http://www.if.ufrrj.br/inst/monografia/2011I/Lucas_Fernandes.pdf

Influência da produtividade de clones híbridos de eucalipto na densidade da madeira e na polpação kraft. D.E. Fernandes; J.L. Gomide; J.L. Colodette; M.Z. Ferreira. Scientia Forestalis 39(90): 143 – 150. (2011)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr90/cap02.pdf

Produtividade, idade e qualidade da madeira de *Eucalyptus* destinada à produção de polpa celulósica branqueada. M.G. Silva. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. 95 pp. (2011)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-17032011-162129/publico/Marileide_Gomes_da_Silva.pdf

Determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. A.F.G. Gouvêa; P.F. Trugilho; J.L. Gomide; J.R.M. Silva; C.R. Andrade; I.C.N. Alves. Revista Árvore 35(2): 349 – 358. (2011)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v35n2/a19v35n2.pdf

Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação das propriedades físicas do lenho de árvores de *Pinus caribaea var. hondurensis* Barr. et Golfari e *Tectona grandis*. V.R. Castro. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. 106 pp. (2011)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-13092011-112235/publico/Vinicius_Resende_de_Castro_versao_revisada.pdf

NIR spectroscopy to estimate *Eucalyptus* spp wood kraft pulping parameters. H. Fantuzzi Neto; J.L. Gomide; F.R. Milagres; A.S. Magaton. 5th ICEP - International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp. 09 pp. (2011)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2011_NIR_Spectroscopy.pdf (em Inglês)

The influence of wood quality in alkali consumption and pulp production – Case study. C. Ferreira; H. Garcia. 5th ICEP - International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp. Apresentação em PowerPoint: 25 slides. (2011)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2011_Wood_quality_pulp_production.pdf (em Inglês)

Estrutura anatômica e propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus pellita* F. Muell. D.S. Poubel; R.A. Garcia; J.V.F. Latorraca; A.M. Carvalho. Flor@am - Floresta e Ambiente 18(2): 117 – 126. (2011)

http://www.floram.org/files/v18n2/v18n2a1.pdf

Desenvolvimento de modelos de calibração NIRS para minimização das análises de madeiras de *Eucalyptus* spp. L.C. Sousa; J.L. Gomide; F.R. Milagres; D.P. Almeida. Ciência Florestal 21(3): 591 – 599. (2011)

http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/download/3817/2226

Quality of wood and pulp from a clone of *Eucalyptus grandis* planted at three locations. C.A. Sansigolo; E.S. Ramos. Cerne 17(1): 47 - 60. (2011)

http://www.scielo.br/readcube/epdf.php?doi=10.1590/S0104-77602011000100006&pid=S0104-77602011000100006&pdf_path=cerne/v17n1/v17n1a06.pdf (em Inglês)

***Eucalyptus* chip compaction disturbance analysis in a vapor phase continuous digester.** F.M. Correia. 5th International Coloquium on *Eucalyptus* Pulp. Apresentação em PowerPoint: 91 slides. (2011)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/03_Eucalyptus%20Chip%20Compaction.pdf (em Inglês)

Predição do impacto da madeira em fábrica kraft de eucalipto. W.P. Demuner. Monografia de Conclusão de Curso. UFES – Universidade Federal do Espírito Santo. 33 pp. (2011)

http://www.florestaemadeira.ufes.br/sites/www.florestaemadeira.ufes.br/files/TCC_Wendel%20Pianca%20Demuner.pdf

Predição do impacto da madeira em fábrica kraft de eucalipto. W.P. Demuner; O. Mambrim Filho; F. Costa Neto; J.I.M. Abad. 44º Congresso Internacional. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 25 slides. (2011)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2011_Predicao_impacto_madeira.pdf

Estudo da variação da densidade básica em plantios clonais de *Eucalyptus spp*. no extremo sul da Bahia e no norte do Espírito Santo. A.J. Souza. 44º Congresso Internacional. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 30 slides. (2011)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2011_Densidade_basica_plantios_clonais.pdf

Wood handbook. Wood as an engineering material. FPL – Forest Products Laboratory. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture. Forest Service. 508 pp. (2010)

http://www.fpl.fs.fed.us/products/publications/pubs_specified_topic.php?sort_criteria=year&groupings_id=106&unit_id=&employee_id (Todos os capítulos - em Inglês)

e

http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr190/chapter_04.pdf (Wood handbook, Chapter 04: Moisture relations and physical properties of wood, por S.V. Glass; S.L. Zelinka – 20 pp. – em Inglês)

Os amigos do *Eucalyptus*. Professor Dr. José Lívio Gomide. C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 25. (2010)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_jan10.html#dois

e

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_jan10.html#tres

e

http://www.eucalyptus.com.br/newseng_jan10.html#dois (em Inglês)

e

http://www.eucalyptus.com.br/newseng_jan10.html#tres (em Inglês)

Influência do cancro basal em *Eucalyptus grandis* nas propriedades da madeira e polpação kraft. S.E. Souza; C.A. Sansígolo; E.L. Furtado; W.C. Jesus Júnior; R.R. Oliveira. Scientia Forestalis 38(88): 547 – 557. (2010)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr88/cap01.pdf

Investigação do tempo de secagem no teor de umidade e nas características físicas e químicas da madeira para produção de celulose. F.P. Leite; F.J.B. Gomes; E. Souza; J.L. Colodette; A.M. Rosado; L.S. Amaral. 43º Congresso e Exposição Internacional de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 07 pp. (2010)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2010_Investigacao_tempo_secagem_madeira.pdf

Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. J.L. Gomide; H. Fantuzzi Neto; A.J. Regazzi. Revista Árvore 34(2): 339 – 344. (2010)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v34n2/v34n2a17.pdf

Proposta de índice de seleção no melhoramento genético do eucalipto. C.A.F. Reis. Tese de Doutorado. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 90 pp. (2010)

http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/3309/1/TESE_Proposta%20de%20%C3%ADndice%20de%20sele%C3%A7%C3%A3o%20no%20melhoramento%20gen%C3%A9tico%20do%20eucalipto.pdf

Modelagem de produção industrial de celulose kraft com modelos aditivos generalizados e redes neurais. F.R. Stein. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 109pp. (2010)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/54/TDE-2010-11-19T094711Z-2711/Publico/texto%20completo.pdf

Measuring wood specific gravity...Correctly. G.B. Williamson; M.C. Wiemann. American Journal of Botany 97(3): 519 - 524. (2010)

http://www.amjbot.org/content/97/3/519.full (em Inglês)

Produção de carvão vegetal utilizando madeira de florestas plantadas de eucalipto. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 18. (2010)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_abril10.html#quatorze

Os amigos do *Eucalyptus*: Dr. José Otávio Brito. C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 27. (2010)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_abril10.html#um

Análise de distúrbios de compactação de cavacos de eucalipto em digestores contínuos fase vapor. F.M. Correa. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 146 pp. (2010)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2693

e

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/02_DissertacaoFlavioCorreia.pdf

The importance of wood density and chemistry on *Eucalyptus* clone selection. J.L. Colodette; J.L. Gomide; A.S. Magaton; C. Pedrazzi. 4th ICEP – International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. Apresentação em PowerPoint: 59 slides. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/icep04/02_Colodette.et.all.pdf (em Inglês)

Amostragem para avaliação da densidade básica da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. F.A. Pádua. Tese de Doutorado. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 99 pp. (2009)

http://www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4193/Tese_Franciane-Andrade-de-Padua.pdf?sequence=1&isAllowed=y

e

http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/2937/1/TESE_Amostragem%20para%20avalia%c3%a7%c3%a3o%20da%20densidade%20b%c3%a1sica%20da%20madeira%20de%20um%20h%c3%adbrido%20de%20Eucalyptus%20grandis%20W.Hill%20ex%20Maiden%20x%20Eucalyptus%20urophylla%20S.%20T.%20Blake.pdf

Predição de qualidade da madeira e da polpa celulósica por técnica de espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS). R.B. Santos; J.L. Gomide; L.C. Sousa. Revista Árvore 33(4): 759 – 767. (2009)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v33n4/v33n4a19.pdf

e

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2009_NIR_qualidade_madeira.pdf

Estudio preliminar de la contracción y el colapso en *Eucalyptus nitens.* R.A. Ananías; C. Díaz; L. Leandro. Maderas Ciéncia y Tecnologia 11(3): 251 – 262. (2009)

http://www.scielo.cl/pdf/maderas/v11n3/art07.pdf (em Espanhol)

Ferramentas para a avaliação das propriedades da madeira em árvores vivas de *Toona ciliata* (Roemer) e aplicações no melhoramento genético. S.V.B. Gonçalves. Dissertação de Mestrado. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 74 pp. (2009)

http://www.prpg.ufla.br/ct-madeira/wp-content/uploads/2012/07/Dissertação-STELLA.pdf

Avaliação da madeira de híbridos de *Eucalyptus globulus* com *E. grandis* e *E. urophylla*, para produção de celulose, utilizando espectroscopia NIR. F.R. Milagres. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 142 pp. (2009)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/4/TDE-2009-07-09T080031Z-1792/Publico/texto%20completo.pdf

Secagem de toras de clones de *Eucalyptus* empregados na produção de carvão. R.N. Rezende. Dissertação de Mestrado. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 186 pp. (2009)

http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/2774/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_Secagem%20de%20toras%20de%20clones%20de%20Eucalyptus%20empregados%20na%20produ%c3%a7%c3%a3o%20de%20carv%c3%a3o.pdf

Fast grown wood from planted and natural forests – wood anatomy, quality and different utilizations by the industry. M. Tomazello Filho. 2009 Brazilian Summer Course. Forestry Production and Production Capacity of Forest Plantations. Apresentação em PowerPoint: 59 slides. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2009_Wood_quality_fast_grown_planted_forests.pdf (em Inglês)

Impacto da qualidade da madeira de eucalipto no desempenho financeiro de um modelo de fábrica brasileira de celulose. (*Influence of Eucalyptus wood properties on the financial performance of a modeled Brazilian pulp mill).* J. Lopez; J.L. Gomide; R. Phillips. O Papel 70(7): 53 – 71. (2009)

http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1311883616_dd97aa43f5c9de6dd29fd66d8b4dfceb_2096740057.pdf (em Português e Inglês)

Madeira para produção de celulose e chapas de fibras. Workshop PP&D - IPEF 2020. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Apresentação em PowerPoint: 17 slides. (2009)

http://www.ipef.br/apresentacao/ipef2020/IPEF2020_Tema%208_Madeira.pdf

***Eucalyptus* wood quality and its impact on kraft pulp production and utilization.** A.S. Magaton; J. L. Colodette; A.F.G. Gouvêa; J.L. Gomide; M.C.S. Muguet; C. Pedrazzi. Tappi Journal (Agosto): 32 – 39. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2009_Eucalyptus_wood_quality_impact_on_pulping.pdf (em Inglês)

Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de *Eucalyptus.* P.F. Trugilho. Ciência & Agrotecnologia 33(5): 1228 – 1239. (2009)

http://www.scielo.br/readcube/epdf.php?doi=10.1590/S1413-70542009000500005&pid=S1413-70542009000500005&pdf_path=cagro/v33n5/v33n5a05.pdf

Propriedades papeleiras das árvores, madeiras e fibras celulósicas dos eucaliptos. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 14. 111 pp. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT14_PropPapeleiras.pdf

Papermaking properties of *Eucalyptus* trees, woods, and pulp fibers. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Chapter 14. 110 pp. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/ENG14.pdf (em Inglês)

Seasonal variations in wood: perceived and real impacts on pulp yield. P.W. Hart. Tappi Journal (March): 04 – 08. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2009_Wood_quality_variations.pdf (em Inglês)

Os amigos do *Eucalyptus*. Dr. Luiz Ernesto George Barrichelo. C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 13. (2008)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_jan08.html#sete

e

http://www.eucalyptus.com.br/newseng_jan08.html#sete (em Inglês)

Effect of *Eucalyptus globulus* wood density on kraft pulp production and use. A. Santos; M.E. Amaral; A. Vaz; O. Anjos; R. Simões. Tappi Journal (Maio): 25 – 32. (2008)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2008_Eucalyptus_globulus_wood_density.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

Controle genético da densidade básica da madeira de *Eucalyptus viminalis* Labill. J.A. Sturion. Embrapa Florestas. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento nº 37. 32 pp. (2008)

http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/43532/1/BPD37_CD.pdf

Seleção de clones de *Eucalyptus* para as propriedades físicas da madeira avaliadas em árvores no campo. E.A.C. Rodrigues; S.C.S. Rosado; P.F. Trugilho; A.M. Santos. Cerne 14(2): 147 – 152. (2008)

http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/10-02-20092705v14_n2_artigo%2007.pdf

Efeito da idade da madeira de eucalipto na sua química e polpabilidade, branqueabilidade e propriedades físicas da polpa. P.H.D. Morais. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 79 pp. (2008)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/37/TDE-2009-11-27T093406Z-2061/Publico/texto%20completo.pdf

***Eucalyptus* wood quality and its impact on kraft pulp production and utilization.** J. L. Colodette; A. Magaton; A.F. Gomes; J.L. Gomide; P.H.D. Morais. Towards Understanding Wood, Fibre and Paper – Deeper Knowledge through Modern Analytical Tools. Apresentação em PowerPoint: 52 slides. (2008)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2008_Eucalyptus_wood_quality.pdf (em Inglês)

Espectroscopia na região do infravermelho próximo para predição de características da madeira para produção de celulose. L.C. Sousa. Tese de Doutorado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 100 pp. (2008)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3194

A importância relativa da densidade da madeira e do teor de carboidratos no rendimento de polpa e na qualidade do produto. A. Mokfienski; J.L. Colodette; J.L. Gomide; A.M.L. Carvalho. Ciência Florestal 18(3): 401 – 413. (2008)

http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/download/451/348

Parâmetros genéticos da densidade básica da madeira de *Pinus caribaea var. hondurensis*. S.P. Moraes Neto; E. Duboc. Embrapa Florestas. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento nº 213. 18 pp. (2008)

http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2010/30254/1/bolpd-213.pdf

Qualidade da madeira de eucalipto. J.L. Gomide. IX Biowork – Biotecnologia Florestal. Apresentação em PowerPoint: 36 slides. (2007)

http://forestbio.org/wp-content/uploads/2013/03/Qualidade_da_Madeira_de_Eucalyptus-Jose_Livio_Gomida.pdf

Interação madeira x processo. C.J.G. Carneiro; J.F. Silva; A.J. Souza; N.G. d'Assumpção; E. Salvador; L.F. Silva. 3rd ICEP – International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. 09 pp. (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/icep03/340Carneiro.text.pdf

Avaliação não destrutiva da madeira versus a produção de celulose kraft. F.J.B. Gomes; P.F. Trugilho; J.L. Colodette; A.F. Gomes; P.H.D. Morais. 3rd ICEP – International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. 09 pp. (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/icep03/03_Gomes_Trugilho_Colodette_Gomes_Morais.pdf

Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. M.C.G. Botrel; P.F. Trugilho; S.C.S. Rosado; J.R.M. Silva. Revista Árvore 31(3): 391 – 398. (2007)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v31n3/04.pdf

NIR on-line: an innovation in the VCP wood yard. A.F. Caldeira; A.P. Rocha; C.V.C. Santos; C. Almeida; J.E. Patelli; P.S.P. Calvosa; V. Sacon. 3rd ICEP – International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. 04 pp. (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/icep03/240Caldeira.text.pdf

NIR on-line: Inovação no pátio de madeira da VCP. A.F. Caldeira; A.P. Rocha; C.V.C. Santos; C. Almeida; J.E. Patelli; P.S. P. Calvosa; V. Sacon. 3rd ICEP – International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. Apresentação em PowerPoint: 22 slides. (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/icep03/241Caldeira.ppt.pdf

Avaliação das características da madeira e da polpa mediante a aplicação de métodos não destrutivos na árvore viva. A.F.

Gomes. Dissertação de Mestrado. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 141 pp. (2007)

http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/2275/1/DISSERTA%c3%87AO_Avalia%c3%a7%c3%a3o%20das%20caracteristicas%20da%20madeira%20e%20da%20polpa%20de%20Eucalyptus%20mediante%20e%20aplica%c3%a7%c3%a3o%20de%20m%c3%a9todo%20n%c3%a3o%20destrutivo%20na%20%c3%a1rvore%20viva.pdf

e

http://www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4423/Dissertacao_Adriana%20de%20F%C3%A1tima%20Gomes.pdf?sequence=1&isAllowed=y

O melhoramento do eucalipto em Portugal. N.M.G. Borralho; M.H. Almeida; B.M. Potts. 47pp. (2007)

http://borralhoidea.com.sapo.pt/index_ficheiros/Borralho%20et%20al%202006.pdf

e

http://www.researchgate.net/profile/Nuno_Borralho3/publication/268411432_O_Melhoramento_do_Eucalipto_em_Portugal/links/551021170cf224726ac522da.pdf?origin=publication_detail

Amostragem de toras de árvores de *Eucalyptus grandis* selecionadas para finalidades de serraria e energia. P.E.T. Santos; O.J. Lavoranti; L. Salante. PFB - Pesquisa Florestal Brasileira nº 54. 09 pp. (2007)

http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/download/130/90

Estimação de parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais para a qualidade da madeira de *Eucalyptus* em árvores vivas. E.A.C. Rodrigues. Tese de Doutorado. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 102 pp. (2007)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4076/Tese_Erica-de-Alvarenga-Crespo-Rodrigues.pdf?sequence=1

Utilização de cavacos para análises por espectroscopia de infravermelho próximo (NIR). R.B. Santos; L.C. Sousa; J.L. Gomide. O Papel (Maio): 84 - 93. (2006)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2006_NIR.pdf

Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*. M. Tomazello Filho. Tese de Livre Docência. USP – Universidade de São Paulo. 146 pp. (2006)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2006_Tomazello_Filho.pdf

e

http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/tomazello%20filho,m.pdf

Sistema para análise da madeira utilizando método de propagação de ondas sonoras. R.A. Silva. Monografia de Conclusão de Curso. Centro Universitário Positivo. 70 pp. (2006)

http://www.teatropositivo.com.br/painelgpa/uploads/imagens/files/EngComputacao/Projetos%20Finais/2006/SISTEMA%20PARA%20AN%C3%81LISE%20DA%20MADEIRA%20UTILIZANDO%20M%C3%89TODO%20DE%20PROPAGA%C3%87%C3%83O%20DE%20ONDAS%20SONORAS.pdf

Avaliação tecnológica de clones de eucalipto. Parte 1 - Qualidade da madeira para produção de celulose kraft. C.R. Ferreira; M. Fantini Júnior; J.L. Colodette; J.L. Gomide; A.M.M.L. Pereira. Scientia Forestalis 70: 161 – 170. (2006)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr70/cap16.pdf

Caracterização físico-energética da madeira e produtividade de reflorestamentos de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis x E. urophylla.* V.E. Costa. Tese de Doutorado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 114 pp. (2006)

http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0043.pdf

Uso da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para predição não-destrutiva de densidade básica da madeira de *Pinus taeda.* W.L.E. Magalhães; F. Zangiski; C.H. Klein; A.R. Higa. Embrapa Florestas. Comunicado Técnico nº 159. 04 pp. (2006)

http://www.researchgate.net/profile/Marcelo_Lazzarotto/publication/267391648_Uso_da_Espectroscopia_no_Infravermelho_Prximo_%28NIR%29_para_Predio_No-Destrutiva_de_Densidade_Bsica_da_Madeira_de_Eucaliptus_benthammi_e_Eucaliptus_pellita/links/544e4c150cf2bca5ce905bbc.pdf?origin=publication_detail

Melhoramento genético do *Eucalyptus* para biomassa florestal e qualidade do carvão vegetal. M.C.G. Botrel. Dissertação de Mestrado. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 79 pp. (2006)

http://bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4486/dissertacao_mariacarolinagasparbrotel.pdf?sequence=1

Casca da árvore do eucalipto: aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando à produção de celulose e papel. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 01. 109 pp. (2005)

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

Propriedades da madeira. J.C. Moreschi. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 208 pp. (2005)

http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES%20DA%20MADEIRA.pdf

Instruções para coleta de amostras de madeira destinadas a processos de análises químicas laboratoriais. L.E.G. Barrichelo; J.O. Brito; F.G. Silva Júnior. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. (2005)

http://www.ipef.br/tecprodutos/coleta.asp

Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. J.T.S. Oliveira; J.C. Hellmeister; M. Tomazello Filho. Revista Árvore 29(1): 115 – 127. (2005)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n1/24241.pdf

Melhoramento genético do eucalipto: que impacto na realidade? M.H. Almeida; C. Araújo; J.A. Araújo; F.C. Silva; I. Neves; V. Paiva; A. Santiago; D. Ribeiro. 5º Congresso Florestal Nacional. Portugal. 09 pp. (2005)

https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/696/1/Congress5-H.Almeida-Melhoram.pdf

Caracterização da qualidade da madeira por Espectroscopia no Infravermelho Próximo. A experiência da UFV no Projeto Genolyptus. L.C. Sousa; J.L. Gomide; J.L. Colodette. 38º Congresso e Exposição Internacional de Celulose e Papel. ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 06 pp. (2005)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2005_NIR_Genolyptus.pdf

Influência da qualidade da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla* e do processo kraft de polpação

na qualidade da polpa branqueada. S.R. Santos. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. 178 pp. (2005)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-18112005-143702/publico/SheilaSantos.pdf

Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis x urophylla*. S.B.A. Alzate. Tese de Doutorado. USP – Universidade de São Paulo. 151 pp. (2004)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-13012005-165158/publico/sandra.pdf

Relative importance of *Eucalyptus* wood density and carbohydrate content on pulping yield and product quality. J.L. Colodette; A. Mokfienski; J.L. Gomide; R.C. Oliveira. 2004 China International Papermaking & Environmental Conference. Apresentação em PowerPoint: 42 slides. (2004)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2004_Eucalyptus_wood_quality.pdf (em Inglês)

Melhoramento de eucalipto visando à obtenção de clones para a indústria de celulose. O. Bison. Tese de Doutorado. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 182 pp. (2004)

http://bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7677/Tese_Odair%20Bison.pdf?sequence=1

Incorporating wood quality and deployment traits in *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*. C.A. Raymond; L.A. Apiolaza. Plantation Forest Biotechnology for the 21st Century. 13 pp. (2004)

http://www.researchgate.net/publication/39729608_Incorporating_wood_quality_and_deployment_traits_in_Eucalyptus_globulus_and_Eucalyptus_nitens (em Inglês)

Importância relativa da densidade básica e da constituição química da madeira de *Eucalyptus spp*. no rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa kraft. A. Mokfienski. Tese de Doutorado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 153 pp. (2004)

http://www.tede.ufv.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1545

Aracruz encontra no *E.globulus* uma fonte de qualidade de madeira para se tornar mais competitiva. Celso Foelkel entrevista Teotônio Francisco de Assis. O Papel (Setembro): 41 – 43. (2004)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2018.%20aracruz%20encontra%20no%20e.globulus.pdf

Determinação de propriedades de madeira através do infravermelho próximo. W.L.E. Magalhães; J.C.D. Pereira; G.I. Muniz Bonson; U. Klock; J.R.M. Silva. 8º Congresso Florestal Brasileiro. 09 pp. (2003)

http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/60221/1/SP4707.pdf

A rapid quantitative method to assess *Eucalyptus* wood properties for kraft pulp production by FT – Raman spectroscopy. T. Ona; T. Sonoda; J. Ohshima; S. Yokota; N. Yoshizawa. Journal of Pulp and Paper Science 29(1): 06 - 10. (2003)

https://www.researchgate.net/profile/Toshihiro_Ona/publication/228859578_A_rapid_quantitative_method_to_assess_Eucalyptus_wood_properties_for_Kraft_pulp_production_by_FT-Raman_spectroscopy/links/00b495260e0ee7414c000000.pdf (em Inglês)

Qualidade da madeira de clones de *Eucalvptus* visando à produção de polpa celulósica. M.L. Bianchi; D.F.F. Gomes; P.F. Trugilho. 36º Congresso e Exposição Internacional de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 13 pp. (2003)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2003_Qualidade_madeira_clones_Eucalyptus.pdf

Importância da densidade e do teor de carboidratos totais da madeira de eucalipto no desempenho da linha de fibra. A. Mokfienski; J.L. Gomide; J.L. Colodette; R.C. Oliveira. 1st ICEP – International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. 14 pp. (2003)

http://www.eucalyptus.com.br/icep01/alfredo_mokfienski.pdf

Digestor contínuo. Práticas e melhorias para aumento de produção. F. Tesser. Seminário "Celulose: Novas Práticas e Tecnologias". ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 26 slides. (2003)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2003_Aumento_produtividade_digestor.pdf

Qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose e sua influência na formação de florestas industriais. O.N. Câncio. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 44 pp. (2003)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2003_Qualidade_madeira_Osvaldo_Cancio.pdf

Avaliação técnica do tempo de estocagem da madeira. F.R. Stein. Monografia. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 36 pp. (2003)

http://engmadeira.yolasite.com/resources/Monografia%20-%20Estocagem%20de%20madeira.pdf

Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira. M.C. Lopes. Dissertação de Mestrado. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. 111 pp. (2003)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ufsm/Merielen%20Lopes.pdf

Variação radial da densidade básica em função da altura de árvores de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus saligna*. D.S. Lazaretti; E.R. Reis; K. Serafim; M.H. Souza; S.M.B. Frizzo; C.E.B. Foelkel. 36º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 09 pp. (2003)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202003b.pdf

ABNT NBR 11941:2003. Madeira – Determinação da densidade básica. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003)

http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=002494

e

http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99772/000758434.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Método completo disponível como anexo ao final desse documento referenciado)

ABNT NBR 14984:2003. Madeira - Determinação da densidade aparente de cavacos. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003)

http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=002141

Basic density and fibre length at breast height of *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* for parameter prediction of the whole tree. D.V. Igartúa; S.E. Monteoliva; M.G. Monterubbianesi; M.S. Villegas. IAWA Journal 24(2): 173 – 184. (2003)

http://booksandjournals.brillonline.com/content/journals/10.1163/22941932-90000330?crawler=true (em Inglês)

Efeito das características anatômicas e químicas na densidade básica da madeira de clones híbridos de *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla*. S.C.S. Queiroz; J.L. Gomide. O Papel (Junho): 79 - 84. (2003)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2003_Simone_Queiroz.pdf

Efeito das características anatômicas e químicas na densidade básica da madeira e na qualidade da polpa de clones híbridos de *Eucalyptus grandis x urophylla*. S.C.S. Queiroz. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 91 pp. (2002)

http://www.tede.ufv.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=988

Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira. N.B. Logsdon; C. Calil Júnior. Cadernos de Engenharia de Estruturas 18: 77 – 107. (2002)

http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova_versao/pdf/cee18_77.pdf

Genetics of *Eucalyptus* wood properties. C.A. Raymond. Southern Cross University ePublications. 09 pp. (2002)

http://epubs.scu.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1583&context=cpcg_pubs (em Inglês)

Comparação entre três critérios de amostragem para a avaliação da densidade básica da madeira de florestas implantadas de eucaliptos. C.A. Benjamin. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 148 pp. (2002)

http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90648/benjamin_ca_me_botfca.pdf?sequence=1

Variação da densidade a granel de cavacos de *Eucalyptus saligna* em função de suas dimensões e da umidade. M.C.H. Souza; E.R. Reis; K.P. Serafim; C. Pedrazzi; S.M.B. Frizzo; P. Oliveira; C.E.B. Foelkel. 35º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 07 pp. (2002)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202002c.pdf

Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus globulus* no sentido longitudinal da árvore. G.V. Cardoso; S.M.B. Frizzo; C.A.B. Rosa; C.E.B. Foelkel. 35º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 05 pp. (2002)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202002d.pdf

A tool for the rapid assessment of wood and wood fibre quality. R. Evans. Marcus Wallenberg Prize Symposium. Apresentação em PowerPoint: 44 slides. (2001)

http://mwp.org/symposium/symposium-2001/ (em Inglês)

Wood formation in trees. C. Plomion; G. Leprovost; A. Stokes. Plant Physiology 127: 1513 – 1523. (2001)

http://www.plantphysiol.org/content/127/4/1513.full.pdf+html (em Inglês)

NIR infrared spectroscopy as an alternative to evaluate eucalypt wood quality at Aracruz. G.D.S.P. Rezende; L. Schimleck; B.J. Demuner. 7th Brazilian Symposium on the Chemistry of Lignins and Other Wood Components. 05 pp. (2001)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2001_NIR_Aracruz.pdf (em Inglês)

Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties I: Basic density. C.A. Raymond; A. Muneri. Wood Science and Technology 35(1-2): 27 - 39. (2001)

http://epubs.scu.edu.au/cpcg_pubs/584/ (em Inglês)

Adequação de metodologia amostral de madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus globulus* para determinação do teor de cinzas. G.V. Cardoso; C.A.B. Rosa; A.F. Guarienti; C. Pedrazzi; M.C.H. Souza; S.M.B. Frizzo; C.E.B. Foelkel. 34º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 08 pp. (2001)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202001a.pdf

Variação das características das árvores de *Eucalyptus saligna* Smith em função da altura do tronco. C.A.B. Rosa; D.M.M. Flores; G.V. Cardoso; C.E.B. Foelkel; S.M.B. Frizzo. Simpósio de Pós-Graduação. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. 13 pp. (2001)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Casca_arvores_simposio_PG2001.pdf

A densidade aparente como estimador de propriedades de resistência e rigidez da madeira. F.M. Dias. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. (2000)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-24072009-145333/publico/Dissertacao_capa_sumario_e_resumo.pdf (24 pp.)

e

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-24072009-145333/publico/Dissertacao_total.pdf (146 pp.)

Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. J.C.D. Pereira; J.A. Sturion; A.R. Higa; R.C.V. Higa; J.Y. Shimizu. Embrapa Florestas. Série Documentos nº 38. 112 pp. (2000)

http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/297469/1/doc38.pdf

Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização. R. Berger. Dissertação de Mestrado. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. 126 pp. (2000)

http://coral.ufsm.br/ppgef/pdf/DM/DM_Rute_Berger.pdf

e

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ufsm/04_Rute%20Berger.pdf

Amostragem de madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus globulus* para determinação de lignina Klason e e extrativos totais. A. Guarienti; C.A.B. Rosa; C. Pedrazzi; G.V. Cardoso; M.C.H. Souza; C.E.B. Foelkel; S.M.B. Frizzo. 33º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 11 pp. (2000)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202000a.pdf

Considerações acerca do tamanho da amostra e número de repetições para avaliação de dados dendrométricos em povoamento clonal de *Eucalyptus saligna*. D.M.M. Flores; C.E.B. Foelkel; S.M.B. Frizzo; G.V. Cardoso; C.A.B. Rosa. 33º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 15 pp. (2000)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202000c.pdf

Métodos não-normatizados para determinação de celulose como parâmetro de seleção de árvores matrizes visando à produção de polpa kraft-AQ. C.R. Santos; C.A. Sansígolo. I CIADICYP – Congreso Ibero-Americano de Investigación en Celulosa y Papel. 14 pp. (2000)

http://www.riadicyp.org/index.php/ciadicyp-2000/pulpa-y-pulpados/send/54-pulpa-y-pulpados/688-metodos-nao-normatizados-para-determinacao-de-celulose-como-parametro-de-selecao-de-arvores-matrizes-visando-a-producao-de-polpa-kraft-aq

Variação da densidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl no sentido longitudinal dos caules. L.M. Mendes; J.R.M. Silva; P.F. Trugilho; J.T. Lima. Cerne 5(1). 07 pp. (1999)

http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/13-02-20091727v5_n1_nt%2001.pdf

Amostragem de árvores para estudos tecnológicos da madeira para produção de celulose: tamanho da amostra, número mínimo de repetições e variabilidade das propriedades para um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. D.M.M. Flores; G.V. Cardoso; C.E.B. Foelkel; S.M.B. Frizzo. 32º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 18 pp. (1999)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%201999a.pdf

Variação das características dendrométricas, da qualidade da madeira e da celulose entre árvores de um clone de *Eucalyptus saligna*. D.M.M. Flores. Dissertação de Mestrado. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. 111 pp. (1999)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ufsm/UFSM%20%20Dorot%E9ia%20Flores.pdf

Mix de madeiras: a busca do melhor desempenho global. I.M.B. Gomes; A.M. Pereira; P. Yodoval. 31º Congresso Anual. ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 14 pp. (1998)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/07_mix%20madeira%20isabel.pdf

Um método alternativo para a determinação do peso seco de amostras de madeira. J.C.D. Pereira. Boletim de Pesquisa Florestal 35: 39 – 65. (1997)

http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/282176/1/pereira.pdf

Caracterização da variabilidade longitudinal da árvore visando à produção de celulose. C.J.G. Carneiro; C.A.S.A. Santos; V. Manfredi. 30º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p.: 271 - 280. (1997)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/13_variabilidade%20longitudinal%20madeira%20e%20qualidade%20polpas.pdf

Estado de arte do melhoramento genético para qualidade da madeira de eucalipto. I.E. Pires; R.A. Paula. Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos. Volume 3: 186 – 191. (1997)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/1997_Ismael_IUFRO_Salvador.pdf

Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel. C. Foelkel. Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos. 08 pp. (1997)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/32%20final.doc

Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties. G.M. Downes; I.L. Hudson; C.A. Raymond; G.H. Dean; A.J. Michell; L.R. Schimleck; R. Evans; A. Muneri. CSIRO Publishing. 144 pp. (1997)

https://books.google.com.br/books?id=tezX2UlnUhcC&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false (em Inglês)

Elementos minerais em madeiras de eucaliptos e acácia negra e sua influência na indústria de celulose kraft branqueada. A. Freddo. Dissertação de Mestrado. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. 85 pp. (1997)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ufsm/UFSM%20%20Andre%20Freddo.pdf

Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna.* P.F. Trugilho; J.T. Lima; L.M. Mendes. Revista Cerne 2(1): 94 – 111. (1996)

http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/16-02-20099844v2_n1_artigo%2009.pdf

Genetics of wood production. B.J. Zobel; J.B. Jett. Springer Series in Wood Science. (1995)

https://books.google.com.br/books?id=FRHpCAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=%22genetics+of+wood+production%22+zobel&hl=pt-BR&sa=X&ei=n6lsVYXKA4i_ggT50oC4Bg&ved=0CB0Q6AEwAA#v=onepage&q=%22genetics%20of%20wood%20production%22%20zobel&f=false (em Inglês)

Basic density. Wood chips for pulp production. SCAN Method CM 43-95. Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee. 04 pp. (1995)

http://www.pfi.no/Documents/Scan_test_methods/C_CM_M/CM_43-95.pdf (em Inglês)

Erros na determinação da densidade básica da madeira. M.A.M. Brasil; R.A.A. Veiga; J.L. Timoni. Revista Cerne 1(1): 55 – 57. (1994)

http://www.dcf.ufla.br/cerne/administracao/publicacoes/m525v1n1o8.pdf

Características da madeira de espécies/procedências/árvores superiores e clones de *Eucalyptus* – Revisão aplicada ao melhoramento para produção de pasta celulósica. M. Ferreira. Reunião Clonagem Intensiva. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. 18 pp. (1994)

http://www.ipef.br/publicacoes/reuniao_clonagem_intensiva/cap01.pdf

Forest products measurements and conversion factors. D. Briggs**.** College of Forest Resources, University of Washington. (1994)

http://www.ruraltech.org/projects/conversions/briggs_conversions/briggs_book.asp (em Inglês)

e

http://www.ruraltech.org/projects/conversions/briggs_conversions/briggs_ch01/briggs_chapter01_complete.asp#density ("Basic wood properties" – em Inglês)

e

http://www.ruraltech.org/projects/conversions/briggs_conversions/briggs_ch01/briggs_chapter01_complete.asp#density ("Measurement of logs" – em Inglês)

e

http://www.ruraltech.org/projects/conversions/briggs_conversions/briggs_ch08/briggs_chapter08_complete.asp ("Pulp and paper" – em Inglês)

Métodos não destrutivos para determinação da densidade básica da madeira de árvores em pé. FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. (1993)

http://www.bv.fapesp.br/pt/auxilios/10763/metodos-nao-destrutivos-para-determinacao-da-densidade-basica-da-madeira-de-arvores-em-pe/

Cozimentos kraft com madeira de *Eucalyptus grandis* de diferentes densidades básicas e dimensões dos cavacos. T.R. Wehr; L.E.G. Barrichelo. O Papel (Maio): 33 - 41. (1993)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1993_Tim_Wehr.pdf

e

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1992_Cozimento_madeira_Eucalyptus_grandis_diferente_densidades.pdf

O que há adiante da árvore? Tecnologia florestal presente e futura. E. Ratnieks; T.F. Assis. O Papel (Janeiro): 41 - 48. (1993)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1993_Adiante_da_Arvore.pdf

Bulk density. Wood chips for pulp production. SCAN Method CM 46-92. Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee. 04 pp. (1992)

http://www.pfi.no/Documents/Scan_test_methods/C_CM_M/CM_46-92.pdf (em Inglês)

A densidade da madeira como critério de seleção de árvores-plus. C.A. Valente; M.L. Guedes; F.P. Furtado. XII Encontro Nacional TECNICELPA – Associação Portuguesa dos Técnicos das Indústrias de Celulose e Papel. Da Floresta ao Papel. p: 27 – 37. (1992)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1992_TECNICELPA_Densidade_madeira.pdf

Influências de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica de madeira de *Eucalyptus spp.* V.R.S. Shimoyama; L.E.G. Barrichelo. 24º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 14 pp. (1991)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1991_Shimoyama_Barrichelo.pdf

Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. C. Foelkel; E. Mora; S. Menochelli. 6º Congresso Florestal Brasileiro. 21 pp. (1990)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Db%20sua%20verdadeira%20utilidade.pdf

Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeira. P.F. Trugilho; D.A. Silva; F.J.L. Frasão; J.L.M. Matos. Acta Amazonica 20: 307 – 319. (1990)

https://acta.inpa.gov.br/fasciculos/20-4/PDF/v20n4a22.pdf

Determining the basic density of wood chips. R. Grundelius. TAPPI Journal (Abril): 183 – 189. (1990)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1990_Grundelius.pdf

Tabelas para classificação do coeficiente de variação. C.H. Garcia. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Circular Técnica nº 171. 10 pp. (1989)

http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr171.pdf

Densidade básica da madeira, melhoramento e manejo florestal. V.R.S. Shimoyama; L.E.G. Barrichelo. IPEF Série Técnica 6(20). 26 pp. (1989)

http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr20/cap01.pdf

Cavacos de boa qualidade: o resultado de uma adequada técnica de picagem e peneiramento. J.V. Don. 22º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 22 pp. (1989)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1989_Cavacos_boa_qualidade.pdf

Retratilidade volumétrica e densidade aparente da madeira em função da umidade. M.A. Rezende; J.F. Escobedo; E.S.B. Ferraz. IPEF 39: 33 – 40. (1988)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr39/cap04.pdf

Amostragem destrutiva e não destrutiva para avaliação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus spp*. S.C.S. Rosado; J.T. Lima; A.D. Oliveira. 21º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 07 pp. (1988)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1988_Amostragens_madeira.pdf

Secagem da madeira serrada. V.A. Martins. LPF – Laboratório de Produtos Florestais. 53 pp. (1988)

http://www.florestal.gov.br/index.php?option=com_k2&view=item&task=download&id=124

New methods of measuring wood and fiber properties in small samples. Forest Biology Subcommittee No. 2 of the Research and Development Division. TAPPI Press. (1987)

http://books.google.com.br/books/about/New_Methods_of_Measuring_Wood_and_Fiber.html?id=DmyTAAAACAAJ&redir_esc=y (em Inglês)

e

http://gigadrive.co/download.html?e=New_Methods_of_Measuring_Wood_and_Fiber_Properties.pdf (em Inglês)

e

http://catalogue.nla.gov.au/Record/133683 (em Inglês)

Em busca da qualidade ideal da madeira de eucalipto para produção de celulose. III – Altura ideal de amostragem para avaliação da densidade média para árvores de *Eucalyptus grandis*. C.A. Busnardo; J.V. Gonzaga; C.E.B. Foelkel; S. Menochelli. 20º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 17 pp. (1987)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/1987.%20Em%20busca%20qualidade%20ideal%20madeira%20IV.pdf

O fenômeno de apodrecimento central do cerne de árvores vivas de *Eucalyptus*: qualidade da madeira. C.E.B. Foelkel; C.A. Busnardo;

B. Rech. Revista IPEF 33: 31 – 38. (1986). Republicado nos Anais do 5º Congresso Florestal Brasileiro. (1986)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/IPEF/1986%20%20apodrecimento%20cerne%20central%20de%20%E1rvores%20vivas%20(2).pdf

Densidade anual da madeira de *Eucalyptus grandis*. M.A. Rezende; E.S.B. Ferraz. IPEF 30: 37 – 41. (1985)

http://ipef.br/publicacoes/scientia/nr30/cap05.pdf

A influência da densidade básica da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* em suas características químicas e propriedades de polpação e do papel. R.L.V. Dias; E. Cláudio-da-Silva Júnior. 18º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 27 pp. (1985)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1985_Densidade_basica_Aracruz.pdf

A busca da qualidade da madeira do eucalipto para celulose através da arvore projetada pelo homem. C.E.B. Foelkel. Simpósio sobre Tendências do Desenvolvimento Florestal Brasileiro. ESALQ – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. (1985)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1985_Engenheirando_qualidade_madeira.pdf

Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. M. Tomazello Filho. IPEF 29: 37 – 45. (1985)

http://ipef.br/publicacoes/scientia/nr29/cap04.pdf

Estrutura anatômica da madeira de oito espécies de eucalipto cultivadas no Brasil. M. Tomazello Filho. IPEF 29: 25 – 36. (1985)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr29/cap03.pdf

Avaliação de seis espécies de eucalipto e apreciação da amostra extraída a altura do peito. E.B. Guth. O Papel (Fevereiro): 33 – 38. (1985)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1985_Amostragem_DAP.pdf

Variação do rendimento em celulose sulfato ao longo do tronco do *Eucalypytus grandis* Hill ex Maiden e *E. saligna* Smith. V. Manfredi. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. 103 pp. (1985)

http://www.eucalyptus.com.br/VailManfredi/1985_Variacao_Rendimento_Celulose_Tronco.pdf

Variação das características da madeira de eucalipto para diferentes espécies, idades e locais. L.E.G. Barrichelo; A.H. Nariyoshi; O. Beig; A.S. Diniz. 17º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 15 pp. (1984)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1984_Qualidade_madeira_eucalipto.pdf

Influência da procedência e classe de diâmetro sobre as características da madeira de *Eucalyptus grandis*. M.A. Carpim; L.E.G. Barrichelo. 17º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 12 pp. (1984)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1984_Classe_diametro_qualidade_madeira_eucalipto.pdf

Variabilidade longitudinal e radial da madeira de *Eucalyptus grandis*. L.E.G. Barrichelo; J.O. Brito. 17º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 08 pp. (1984)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/1984_Variabilidade_longitudinal_radial.pdf

Métodos de determinação de qualidade de madeira. B.R. Vital. Boletim Técnico nº 01. SIF – Sociedade de Investigações Florestais. 23 pp. (1984)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1984_Metodos_determinacao_densidade.pdf

Curso "Estrutura e Propriedades Físicas da Madeira". C. Foelkel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 02 pp. (1984)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/1984_O_Papel_Curso_Madeira.pdf

Selecting and breeding for desirable wood. B. Zobel; E. Campinhos Jr.; Y. Ikemori. TAPPI Journal (January): 70 – 73. (1983)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Selecting_Breeding_Wood_Trees.pdf (em Inglês)

Seminário sobre "Aspectos Florestais e Industriais da Densidade da Madeira de Eucalipto para Produção de Celulose". ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. O Papel (Dezembro). 02 pp. (1983).

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/1983_Qualidade_madeira_Evento_ABTCP.pdf

Método do máximo teor de umidade aplicado à determinação de densidade básica da madeira do eucalipto. C.E.B. Foelkel; A.F. Milanez; C.A. Busnardo. 4º Congresso Florestal Brasileiro. Silvicultura 28: 792 – 796. (1983)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/1983_Metodo_Maximo_Teor_Umidade.pdf

Variabilidade radial da madeira de *Eucalyptus saligna*. C.E.B. Foelkel; C.A. Busnardo; C. Dias; C. Schmidt; R.M.R. Silva; J.B.V. Vesz. 4º Congresso Florestal Brasileiro. Silvicultura 28: 782 - 791. (1983)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/1983_Variabilidade_radial_madeira.pdf

Umidade ao abate da madeira e da casca de *Eucalyptus grandis*. C.A. Busnardo; J.V. Gonzaga; S. Menochelli; E.P. Benites; C. Dias; C.E.B. Foelkel. 4º Congresso Florestal Brasileiro. Silvicultura 28: 749 - 753. (1983)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/18_Umidade%20abate%20madeira%20e%20casca%20eucalyptus%20grandis.pdf

Em busca da qualidade ideal da madeira do eucalipto para produção de celulose. I. *Eucalyptus tropicais*. C.E.B. Foelkel; C.A. Busnardo; C. Zvinakevicius; M.F.B. Borsatto. Simpósio IUFRO em Melhoramento Genético e Produtividade de Espécies Florestais de Rápido Crescimento - Fast Growing Trees. Silvicultura 32: 822 - 826. (1983)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/1983_Eucalyptus_tropicais.pdf

Em busca da qualidade ideal da madeira de eucalipto para produção de celulose. II – Inter-relações entre propriedades das árvores e de suas madeiras. C.A. Busnardo; J.V. Gonzaga; C.E.B. Foelkel; J.B.V. Vesz. II Congresso Latino Americano de Celulose e Papel. 23 pp. (1983)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/1983.%20Em%20busca%20qualidade%20ideal%20madeira%20II.pdf

Em busca da qualidade ideal da madeira de eucalipto para produção de celulose. III – A importância da altura de amostragem para avaliação da densidade básica média da árvore. C.A. Busnardo; J.V. Gonzaga; C.E.B. Foelkel; C. Dias; S. Menochelli. II Congresso Latino Americano de Celulose e Papel. 23 pp. (1983)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/1983.%20Em%20busca%20qualidade%20ideal%20madeira%20III.pdf

Avaliação da densidade da madeira de árvores em pé. S.C.S. Rosado; A. Brune; L.M. Oliveira. Revista Árvore 7(2): 147 - 153. (1983)

https://books.google.com.br/books?id=IkWaAAAAIAAJ&pg=PA148&dq=avalia%C3%A7%C3%A3o+da+densidade+b%C3%A1sica+da+madeira+de+%C3%A1rvores+em+p%C3%A9&hl=pt-BR&sa=X&ei=by1GVbb5G_PlsASu6oDYCQ&ved=0CB0Q6AEwAA#v=onepage&q=avalia%C3%A7%C3%A3o%20da%20densidade%20b%C3%A1sica%20da%20madeira%20de%20%C3%A1rvores%20em%20p%C3%A9&f=false

Contração volumétrica da madeira roliça de *Eucalyptus saligna* Smith em estoque. P.S. Fernandes; J.C. Saraiva Filho; M.C. Ferreira. Silvicultura 28: 774 – 775. (1983)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/Contracao_volumetrica_E_saligna.pdf

More wood of better quality through intensive silviculture with rapid-growth improved Brazilian *Eucalyptus.* E. Campinhos Jr. TAPPI Journal 63(11): 145 - 147. (1980)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/More_Better_Wood.pdf (em Inglês)

A note on the estimation of basic density of fresh wood chips. D.J. Cown. New Zealand Journal of Forestry Science 10(3):502 – 503. (1980)

http://www.researchgate.net/profile/David_Cown/publication/257409802_A_note_on_the_estimation_of_basic_density_of_fresh_wood_chips/links/0c96052537e331c09d000000.pdf (em Inglês)

A utilização da serragem de madeira de eucalipto na produção de polpa celulósica. C.E.B. Foelkel; L.C. Couto; J. Kato. O Papel (Setembro): 57 – 64. (1979)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/1979_Serragem_madeira.pdf

Influência da morfologia dos cavacos de madeira de *Eucalyptus urophylla* de origem híbrida na qualidade da celulose kraft. L.C. Couto. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 137 pp. (1979)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ufv/Luiz%20Carlos%20Couto.pdf

Estudos sobre a influência da espessura dos cavacos de eucalipto sobre a qualidade da celulose kraft correspondente. J.O.M. Andrade; C. Zvinakevicius; C.E.B. Foelkel. O Papel (Outubro): 55 - 59. (1978)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/1978_Espessura_cavacos.pdf

Comparison of the Pilodyn and torsiometer methods for the rapid assessment of wood density in living trees. D.J. Cown. New Zealand Journal of Forestry Science 8(3): 384 – 391. (1978)

http://www.researchgate.net/profile/David_Cown/publication/257408721_COMPARISON_OF_THE_PILODYN_AND_TORSIOMETER_METHODS_FOR_THE_RAPID_ASSESSMENT_OF_WOOD_DENSITY_IN_LIVING_TREES/links/0c96052532aecdb08b000000.pdf (em Inglês)

O uso de métodos nucleares no estudo da qualidade da madeira. E.S.B. Ferraz; M. Tomazello Filho. III Congresso Florestal Brasileiro. Volume II. SBS - Sociedade Brasileira de Silvicultura. 11 pp. (1978)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/1978_Metodos_nucleares.pdf

I Congresso Brasileiro sobre a Qualidade da Madeira. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. XI Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. IPEF Boletim Informativo 06(20). 113 pp. (1978)

http://www.ipef.br/publicacoes/boletim_informativo/bolinf20.pdf

Madeira do eucalipto: da floresta ao digestor. C.E.B. Foelkel. I Congresso Brasileiro sobre a Qualidade da Madeira. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. XI Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. IPEF Boletim Informativo 06(20): E1 – E25. (1978)

http://www.ipef.br/publicacoes/boletim_informativo/bolinf20.pdf

e

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Madeira%20do%20eucalipto_%20da%20floresta%20ao%20digestor.pdf

Comparison of various methods of volume determination on small wood samples. D. E. Steinmann; H. F. Vermaas. Holzforschung 32(5). (1978)

http://www.degruyter.com/view/j/hfsg.1978.32.issue-5/hfsg.1978.32.5.178/hfsg.1978.32.5.178.xml (em Inglês)

Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. M. Ferreira; P.Y. Kageyama. IPEF Boletim Informativo 06(20): A1 – A14. (1978)

http://www.ipef.br/publicacoes/boletim_informativo/bolinf20.pdf

Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp em função da idade e qualidade de local. C.A. Ferreira; M. Freitas; M. Ferreira. IPEF Boletim Informativo 06(20): B1 – B19. (1978)

http://www.ipef.br/publicacoes/boletim_informativo/bolinf20.pdf

Efeitos da fertilização na qualidade da madeira. W.S. Jacob; E.A. Balloni. IPEF Boletim Informativo 06(20): C1 – C13. (1978)

http://www.ipef.br/publicacoes/boletim_informativo/bolinf20.pdf

A qualidade do eucalipto. C.E.B. Foelkel; C. Zvinakevicius; J.O.M. Andrade. Silvicultura 2(8): 53 – 62. (1978)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/1978_Qualidade_Eucalipto.pdf

Qualidade da madeira. C.E.B. Foelkel. UFV - Universidade Federal de Viçosa - Curso de Pós-Graduação em Nível de Mestrado em Tecnologia de Celulose e Papel. 292 pp. (1977/1979)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ufv/02.%20Qualidade%20da%20Madeira.%201977.1979.pdf

Estrutura da madeira. C.E.B. Foelkel. CENIBRA – Celulose Nipo Brasileira. 85 pp. (1977)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ufv/01.%20Estrutura%20da%20Madeira.%201977.PDF

Métodos de avaliação da densidade básica da madeira de populações de pinheiros tropicais. A.C. Amaral; M. Ferreira; H.T.Z. Couto. IPEF 15: 47 – 67. (1977)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr15/cap03.pdf

Kraft pulp yields of eucalypt wood in relation to degree of delignification and wood specific gravity. C. Foelkel. XVI IUFRO Congress – International Union of Forest Research Organizations. 06 pp. (1976)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/1976_Kraft_Pulp_Yields.pdf (em Inglês)

Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* afetados por cancro. C.E.B. Foelkel; C. Zvinakevius; J.O.M. Andrade. IX Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p.: 255 – 266. (1976)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/1976.%20madeira%20com%20cancro.pdf

Determinação da densidade de madeiras por atenuação de radiação gama de baixa energia. E.S.B. Ferraz. IPEF 12: 61 – 68. (1976)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr12/cap02.pdf

Seminário de Integração Floresta - Indústria. IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. 187 pp. (1975)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2011_Seminario%20de%20integra%E7%E3o%20floresta%20ind%FAstria0001.pdf

Rendimento em celulose sulfato de *Eucalyptus* spp em função do grau de deslignificação e da densidade da madeira. C.E.B. Foelkel. IPEF 9: 61 – 77. (1974)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr09/cap04.pdf

Métodos de determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. C.E.B. Foelkel; M.A.M. Brasil; L.E.G. Barrichelo. O Papel (Agosto): 57 - 61. (1972)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1972_Metodos_OPapel.pdf

Properties of eucalypt woods of importance to the pulp and paper industry. W.E. Hillis. Appita 26: 113 – 122. (1972)

https://publications.csiro.au/rpr/pub?list=BRO&pid=procite:d61d077f-6f52-43b4-8715-ec70edaa07c2 (Citação de fonte – em Inglês)

Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos 5 anos de idade, em função do local e do espaçamento. M.A.M. Brasil; M. Ferreira. IPEF (2/3): 129-49. (1971)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr02-03/cap08.pdf

Métodos de determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. C.E.B. Foelkel; M.A.M. Brasil; L.E.G. Barrichelo. IPEF (2/3): 65 – 74. (1971)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr02-03/cap04.pdf

Existing methods of value for small sample measurement of wood and fiber properties. TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Forest Biology Subcommittee No. 2. (1963)

http://books.google.com.br/books/about/Existing_Methods_of_Value_for_Small_Samp.html?id=x-3MtgAACAAJ&redir_esc=y (em Inglês)

O eucalipto. E.N. Andrade. 2ª Edição (revisão por Armando Navarro Sampaio e equipe técnica da Cia. Paulista de Estradas de Ferro). Cia. Paulista de Estradas de Ferro. (1961)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos_outros12.html

A concept of intrinsic wood quality, and nondestructive methods for determining quality in standing timber. H.L. Mitchell. U.S.D.A. Forest Products Laboratory. Report 2233. 25 pp. (1961)

http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/2718/FPL_2233_ocr.pdf?sequence=1 (em Inglês)

e

http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplr/fplr2233.pdf (em Inglês)

Methods of determining specific gravity of wood chips. D.M. Smith. U.S.D.A. Forest Products Laboratory. Report 2209. 09pp. (1961)

http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplr/fplr2209.pdf (em Inglês)

A comparison of two methods for determining the specific gravity of small samples of second - growth Douglas-fir. D.M. Smith. U.S.D.A. Forest Products Laboratory. Report nº 2033. 22 pp. (1955)

https://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/2491/FPL_2033ocr.pdf?sequence=1 (em Inglês)

Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. D.M. Smith. U.S.D.A. Forest Products Laboratory. 10 pp. (1954)

http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/2445/FPL_2014ocr.pdf?sequence=1 (em Inglês)

The flotation method of determining the specific gravity of wood. B.H. Paul. U.S.D.A. Forest Products Laboratory. Report nº 1398. 08 pp. (1946)

http://ufdc.ufl.edu/AA00020574/00001/1j (em Inglês)

Integração Floresta/Madeira/Produtos/Clientes: Uma realidade ou uma ficção? C. Foelkel. Website Grau Celsius. Apresentação em PowerPoint: 77 slides. (SD: Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/Integrando%20Floresta.Madeira.Produtos.pdf

Fibra Longa: Integração Floresta/Madeira/Produtos/Clientes: Uma realidade ou uma ficção? C. Foelkel. Website Grau Celsius. Apresentação em PowerPoint: 63 slides. (SD: Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/FibraLonga_Integrando%20Floresta%20Madeira%20Produtos.pdf

Uso do Pilodyn para a estimativa da densidade da madeira de *Eucalyptus nitens.* J.L. Louzada; M.J. Gaspar; E.M. Bento. UTAD – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. 06 pp. (SD: Sem referência de data)

http://www.cifap.utad.pt/Pilodyn_Dens_Euc_nitens.pdf

Pilodyn para avaliação de madeira *in situ*. Terrages - Novas Tecnologias para a Gestão Agro-Florestal e Ambiente. 02 pp. (SD: Sem referência de data)

http://www.terrages.pt/pdf/TerraGes-Pilodyn.pdf

Use of the Pilodyn for assessing wood properties in standing trees of *Eucalyptus* clones. W. Shijun; X. Jianmin; L. Guangyou; R. Vuokko; L. Zhaohua; L. Baoqi; W. Wei. InTech Open Science Open Minds. Intochopen. 09 pp. (SD: Sem referência de data)

http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/35550.pdf (em Inglês)

Densidade da madeira. Disciplina "Tecnologia de Produtos Florestais". ISA – Instituto Superior de Agronomia. UTL – Universidade Técnica de Lisboa. Portugal. Apresentação em PowerPoint: 18 slides. (SD: Sem referência de data)

http://www.isa.utl.pt/def/files/files.2007/File/disciplinas/tpf/TPF_2_Densidade.pdf

Variabilidade da madeira. Disciplina "Tecnologia de Produtos Florestais". ISA – Instituto Superior de Agronomia. UTL – Universidade Técnica de Lisboa. Portugal. Apresentação em PowerPoint: 20 slides. (SD: Sem referência de data)

http://www.isa.utl.pt/def/files/files.2007/File/disciplinas/tpf/TPF_5_Variabilidade.pdf

Melhoramento genético do eucalipto. T.F. Assis. Grau Celsius Negócios em Gestão do Conhecimento. 35 pp. (SD: Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2014.%20melhoramento%20eucalipto.doc

Estratégias de melhoramento para a obtenção de madeira de qualidade para laminação e serraria. T.F. Assis. Grau Celsius Negócios em Gestão do Conhecimento. 18 pp. (SD: Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2009.%20Estrat%E9gias%20de%20Melhoramento%20para%20Obten%E7%E3o%20de%20Madeira%20de%20Quali.doc

Melhoramento para produtividade e qualidade de celulose de fibra curta. T.F. Assis. Grau Celsius Negócios em Gestão do Conhecimento. 18 pp. (SD: Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2008.%20Estrat%E9gias%20de%20Melhoramento%20FIBRA%20CURTA.doc

Densidade aparente de cavacos, modelo DAC/Q. Normas Técnicas: ABNT NBR 14984 | SCAN – CM 46:92. QualityLabor. 02 pp. (SD: Sem referência de data)

http://www.qualitylabor.com.br/produtos/celulose/densidade-aparente-de-cavacos?format=pdf

Produção de MDP – Qualidade da madeira: Influência das variáveis no processo. G. Dezajacomo. Apresentação em PowerPoint: 21 slides. (SD: Sem referência de data)

http://www.rgmovel.com.br/28/pdf/ed28_mdp_eucatex.pdf

Classificação da densidade básica da madeira de eucaliptos. C. Foelkel. Pergunte ao Euca Expert. Pergunta nº 1037. 03 pp. (SD: Sem referência de data)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/1037_Classificacao%20madeiras%20eucalipto%20pela%20densidade.pdf

Densidade da "substância madeira" para o eucalipto. C. Foelkel. Pergunte ao Euca Expert. Pergunta nº 809. 03 pp. (SD: Sem referência de data)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/Pergunta%20809.doc

Densidade básica em baguetas. C. Foelkel. Pergunte ao Euca Expert. Pergunta nº 84. 03 pp. (SD: Sem referência de data)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/Pergunta%2084.doc

==========

==========