



EM BUSCA DA QUALIDADE IDEAL DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE-*Eucalyptus* TROPICAIS.

Celso E. B. Foelkel

Carlos A. Busnardo

o Riocell

Ceslavas Zvinakevicius

o Cenibra

Maria de Fátima B. Borsatto.

o Riocell

Brasil.

Resumo

O propósito do trabalho é o de definir quais características da madeira do eucalipto podem ser alteradas no sentido de torná-la ideal para produção de celulose. É recomendado o aumento concomitante da densidade básica da madeira, da espessura da parede celular, do comprimento da fibra, da proporção de fibras longas e de paredes espessas, do índice de enfieltramento, da relação comprimento da fibra/espessura da parede e a diminuição do teor de lignina da madeira.

SEARCHING THE IDEAL *Eucalyptus* PULP-WOOD-TROPICAL *Eucalyptus*.

Summary

First, the paper describes the main correlations between wood characteristics and kraft pulp properties for thirteen species of eucalyptus. The objective was to define, as a first approach, the ideal pulpwood quality for all eucalyptus. As conclusions, it is recommended a simultaneous increasing of wood density, cell wall thickness, fiber length, percentage of long and thick-walled fibers, felting index, fiber length/cell wall thickness ratio and decreasing of wood lignin content.

Introdução

O estudo das inter-relações entre as características das madeiras, que definem a sua qualidade, e as propriedades da celulose e papel tornou-se bastante popular nos últimos vinte anos. Inúmeros trabalhos, tanto de revisão bibliográfica, como de pesquisas aplicadas, surgiram para mostrar como determinadas propriedades da celulose podiam ser alteradas pela modificação da qualidade da madeira. Vários parâmetros de qualidade da madeira foram definidos, principalmente aqueles relativos à morfologia da fibra, e relacionados com as características da celulose e papel resultantes. Extensos e bem completos apanhados teóricos e práticos do assunto foram publicados por DINWOODIE (1966), WARDROP (1962, 1969), BAREFOOT *et alii* (1971) e FOELKEL & BARRICHELO (1975), dentre outros. A literatura é muito rica em trabalhos sobre esse particular, e executados principalmente sobre coníferas, mas também são comuns aqueles aplicados a folhosas (PETROFF & NORMAND, 1961; BAWAGAN, 1962; JOEDODIBROTO, 1961) e mais especificamente aos eucaliptos (HILLIS, 1972; TAYLOR, 1973; BARRICHELO & BRITO, 1977). O importante nesse tipo de estudos não é apenas a simples verificação de quais variáveis de qualidade afetam quais outras, e sim de se buscar definições acerca de quais propriedades da madeira são mais interessantes para se trabalhar em programas florestais. O objetivo final é a produção de madeira de qualidade a mais ideal possível para a produção de celulose de qualidade superior. É importante se lembrar, que a qualidade de uma madeira para um dado fim pode ser definida como a somatória de suas características que a tornam viável para esse uso específico. Assim sendo, muitas propriedades da madeira que são, por exemplo, importantes para a mesma ser usada em construções civis, não se revestem da mínima importância para seu uso como matéria-prima para a fabricação de celulose.

O presente estudo foi realizado com o propósito de iniciar a busca de definições quanto às características da madeira do eucalipto que podem servir de base para programas florestais de melhoramento e aperfeiçoamento dessa madeira à conversão em celulose. Nesse primeiro trabalho de uma série extensa, buscaram-se as inter-relações entre as características das madeiras e das celuloses resultantes para treze espécies de eucaliptos, a maioria dos quais ditos tropicais. O propósito foi bem claro: era o de verificar como as diferenças entre as características das madeiras dessas espécies afetavam as celuloses kraft resultantes. A partir daí, em novos estudos, procurar-se-á chegar a quais seriam as condições de ótimo no que concerne à qualidade da madeira do eucalipto para produção de celulose, independentemente assim da espécie. O objetivo a médio prazo é se definir quais as propriedades que deve apresentar a madeira de um eucalipto para ser classificada como de qualidade para produção de celulose.

Material e métodos

Material

As madeiras ensaiadas provinham de plantações experimentais com 51 a 61 meses de idade e localizadas na região de Linhares, E.S. As espécies analisadas foram as seguintes: *Eucalyptus urophylla*, *E. grandis*, *E. cloeziana*, *E. deglupta*, *E. tereticornis*, *E. camaldulensis*, *E. robusta*, *E. phaeotricha*, *E. torrelliana*, *E. citriodora*, *E. paniculata*, *E. dunni* e *E. pilularis*.

Métodos

As madeiras foram perfeitamente caracterizadas no que diz respeito às seguintes propriedades:

- **Propriedades físicas:** teores de cerne e alborno na árvore inteira e em discos amostrados à base, DAP, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial (H); relação cerne/alborno nas diversas localizações de amostragem; densidade básica da madeira integral para a árvore; densidade básica da madeira integral, do cerne e do alborno na base, DAP, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial.

- **Propriedades anatômicas:** comprimento médio de fibra; largura média da fibra em seu meio e em sua ponta; diâmetro médio do lúmen no meio e na ponta da fibra; espessura média da parede celular no meio e ponta da fibra; comprimento e largura do elemento de vaso.

- **Relações entre as dimensões anatômicas fundamentais de fibra:** fator de afilamento $\{(\text{largura da fibra ao meio})^2 + (\text{largura da fibra na ponta})^2\} / 2 \times (\text{largura da fibra ao meio})^2$; índice de Runkel; fração parede; coeficiente de flexibilidade; número de Boiler; relação de Mulsteph; relação comprimento/espessura da parede no meio da fibra; relação entre as espessuras da parede na ponta e no meio da fibra.

- **Distribuição de frequência (% de fibras em determinadas faixas de dimensões):**

a) Faixas de comprimento de fibra = 0,125 a 0,250 mm; 0,250 a 0,375 mm; 0,375 a 0,500 mm; 0,500 a 0,625 mm; 0,625 a 0,750 mm; 0,750 a 0,875 mm; 0,875 a 1,000 mm; 1,000 a 1,125 mm; 1,125 a 1,250 mm; 1,250 a 1,375 mm; 1,375 a 1,500 mm; 1,500 a 1,625 mm; 1,625 a 1,750 mm; 1,750 a 1,875 mm; 1,875 a 2,000 mm; 2,000 a 2,125 mm; 2,125 a 2,250 mm; 2,250 a 2,375 mm; % fibras menores que 0,75 mm; % fibras entre 0,75 a 1,25 mm; % fibras maiores que 1,25 mm.

b) Faixas de largura de fibra = 8 a 12 μ ; 12 a 16 μ ; 16 a 20 μ ; 20 a 24 μ ; 24 a 28 μ ; 28 a 32 μ ; 32 a 36 μ ; % fibras mais estreitas que 12 μ ; % fibras entre 12 a 20 μ ; % fibras mais largas que 20 μ .

c) Faixas de espessura da parede de fibra = 0,0 a 1,5 μ ; 1,5 a 3,0 μ ; 3,0 a 4,5 μ ; 4,5 a 6,0 μ ; 6,0 a 7,5 μ ; 7,5 a 9,0 μ ; 9,0 a 10,5 μ ; % de fibras com paredes mais finas que 3 μ ; % de fibras com paredes entre 3 a 6 μ ; de fibras com paredes mais espessas que 6 μ .

d) Meio da classe de frequência máxima: para comprimento, para largura e para espessura da parede.

- **Composição química:** teores de lignina, pentosanas, cinzas, extrativos em água quente, NaOH 1%, álcool/benzeno e diclorometano.

A seguir as madeiras isentas de casca foram transformadas em cavacos, os quais foram convertidos a celuloses kraft com número kappa pré-fixado na faixa de 17,0 a 23,0. Foram realizadas duas repetições por espécie e apenas o resultado médio foi utilizado para os propósitos do trabalho. As seguintes determinações foram realizadas sobre as celuloses:

- Rendimentos: rendimento bruto, rendimento depurado, teor de rejeitos e consumo específico de madeira para produção de uma tonelada absolutamente seca de celulose não-branqueada.

- Celulose não-branqueada: número kappa, viscosidade.

- Branqueabilidade: % cloro total aplicado e consumido base polpa a.s.; % NaOH total aplicada e consumida base polpa, viscosidade final, alvura final, alvura após reversão e número de cor posterior.

- Propriedades físico-mecânicas: adotou-se o conceito de número índice descrito por FOELKEL et alii (1978), onde o Eucalyptus grandis tinha sua área de refino para cada propriedade considerada igual a 100 e as demais espécies eram referidas à mesma. Considerou-se o número índice médio entre as propriedades físico-mecânicas das celuloses não-branqueadas e branqueadas. As seguintes propriedades físico-mecânicas foram objeto de determinação e expressas como número índice relativo a E. grandis: tempo de refino, resistência à tração, resistência ao rasgo, resistência ao estouro, resistência ao dobramento, alongação, densidade aparente e coeficiente de dispersão da luz, esse último apenas para a celulose branqueada.

Obtidas as avaliações detalhadas das qualidades das madeiras e das celuloses, buscaram-se analisar as inter-dependências entre ambas por análise de regressão e correlação. Foram utilizados os valores médios de cada propriedade por espécie e o modelo testado entre os pares de variáveis foi o linear. O nível de significância adotado foi de 1%.

Discussão dos resultados

Fronte às dimensões da parte experimental desse estudo, os resultados serão apenas discutidos, mostrando as principais das cobertas baseadas nos mesmos. Procurar-se-ão discutir então, qu as principais inter-relações, e se definir, em uma primeira aproximação, as principais características da madeira que podem servir de base para a avaliação da qualidade da madeira do eucalipto para produção de celulose.

Rendimentos bruto e depurado

Rendimentos em produção de celulose mostraram ser principalmente dependentes da espessura da parede da fibra, principalmente no que diz respeito à quantidade porcentual de fibras de paredes finas e espessas. O índice de enfieltamento também associou-se a rendimentos, da mesma forma que o teor de pentosanas.

Teor de rejeitos

O teor de rejeitos caracterizou-se pela alta dependência com a densidade básica da madeira na região da árvore mais próxima ao solo (base até 25% H), o que é explicável, pois essa região da árvore é a que mostra maiores densidades e que representa a maior proporção em volume de madeira.

Consumo específico de madeira

Definitivamente, trata-se de uma das propriedades de mais alto significado econômico e que, para satisfação do técnico, é al

tamente influenciada pelas características da madeira. Sua correlação negativa com a densidade da madeira em suas diversas formas (madeira integral, cerne, alborno) e alturas é de mais alta significância. Além da densidade básica, outras características com notáveis influências sobre o consumo específico foram a espessura da parede, as relações entre as dimensões das fibras que se associam à espessura (relação de Mulsteph, número de Boiler, fração parede, coeficiente de flexibilidade, índice de Runkel, relação comprimento da fibra/espessura da parede); e as distribuições porcentuais de fibras de paredes espessas e finas. O diâmetro do lúmen, talvez numa indicação da quantidade de fibras de lenho inicial na madeira do eucalipto, associou-se positivamente ao consumo específico.

Número kappa

Embora pré-fixado, o número kappa mostrou ser influenciado pelo teor de cinzas da madeira, pois essas, representando minerais, podem permanecer parcialmente na polpa e demandarem um maior consumo químico de $KMnO_4$ na análise de número kappa.

Viscosidade das celuloses não-branqueada e branqueada

A ausência de inter-dependência da viscosidade da celulose com as características da madeira permite a suposição de ser essa propriedade muito mais dependente das condições do processo do que do tipo de madeira de eucalipto empregado, desde que essa madeira se apresente em boas condições, livre de deterioração.

Dosagem e consumo de agentes para branqueamento

Tratando-se de parâmetros que se associam ao número kappa das celuloses, pois dependem dele para serem calculados e aplicados, as cargas químicas de agentes para branqueamento se associam também ao teor de cinzas, numa relação indireta. Entretanto, o total de soda consumida no branqueamento mostrou correlação positiva ao teor de lignina da madeira.

Alvura e reversão da alvura das polpas branqueadas

Não foram detectadas influências significativas da qualidade da madeira sobre a alvura e sua reversão, expressa essa última também pelo número de cor posterior. E de se supor então, que essas propriedades da celulose, no caso das espécies de eucalipto em questão, dependem muito mais, do processo de branqueamento do que do tipo de madeira empregado.

Resistência à tração

Curiosamente, essa propriedade não foi influenciada significativamente, ao nível de significância adotado, por nenhuma das características da madeira.

Resistência ao rasgo

Índice de enfieltamento, comprimento médio de fibra e quantidade de fibras mais longas foram as principais características da madeira a afetar essa resistência. Não se pode fugir à realidade que o aumento da resistência ao rasgo da celulose do eucalipto poderá ser conseguido às custas do esforço do melhorista florestal para aumentar tanto o índice de enfieltamento como o comprimento da fibra.

Resistência ao estouro

A principal característica da madeira a afetá-la positivamente foi a relação entre o comprimento e a espessura da parede da fibra. Entretanto, influências bastantes acentuadas foram dete

ctadas para a densidade básica da madeira integral às diferentes alturas ensaiadas e para a espessura da parede, principalmente no que concerne à frequência relativa de fibras de paredes finas e espessas. Tanto a densidade básica como a espessura da parede mostraram correlação negativa com a resistência ao estouro.

Resistência ao dobramento

Essa resistência da celulose mostrava comportamento muito similar à resistência ao estouro, frente às suas inter-relações com as características da madeira. As principais propriedades da madeira a influenciá-la eram a densidade básica (madeira integral, cerne, alborno) e diversas alturas e para a árvore e a espessura da parede da fibra, bem como a quantidade de fibras de paredes finas e espessas. Tanto densidade básica como espessura da parede relacionavam-se negativamente com a resistência ao dobramento. Algumas das relações entre as dimensões fundamentais da fibra, a saber, número de Boiler, relação de Mulsteph e fração parede também mantinham relação negativa com a resistência ao dobramento. Positivamente, a resistência ao dobramento era influenciada pela relação entre comprimento de fibra/espessura da parede e pelo coeficiente de flexibilidade

Elongação

Mostrava-se também influenciada negativamente pela espessura da parede da fibra e pela quantidade de fibras de paredes espessas na madeira.

Tempo de refino

Não se mostrou influenciado significativamente pela qualidade da madeira.

Coefficiente de dispersão da luz

Apresentou-se ligeiramente influenciado de maneira positiva pela proporção de fibras curtas na madeira, indicando que indiretamente é afetado pelo número de fibras por peso de polpa.

Densidade aparente das folhas

Os modelos de inter-relação entre essa propriedade e as características da madeira lembram bastante os encontrados para as resistências ao estouro e ao dobramento. As principais características da madeira a mostrar correlação com a densidade aparente das folhas foram: densidade básica da madeira (integral, cerne e alborno) e diversas alturas e para a árvore, espessura média da parede celular e proporção de fibras de paredes espessas. Essas três características mostram correlação negativa com a densidade aparente das folhas. Também influenciando de forma inversa a densidade aparente das folhas, destacaram-se as seguintes relações entre as dimensões fundamentais das fibras: relação de Mulsteph, número de Boiler, fração parede e índice de Runkel. Positivamente, a densidade das folhas era afetada pela frequência de fibras de paredes delgadas, pelo coeficiente de flexibilidade e pela relação comprimento da fibra/espessura da parede. Também o diâmetro do lúmen mostrava correlação positiva com a densidade aparente das folhas, talvez numa indicação indireta do teor de fibras de lenho inicial das madeiras.

Conclusões

Como se sabe, a madeira ideal seria aquela com a qual se produzisse celulose com o menor consumo específico e que essa celulose obtida apresentasse fácil branqueabilidade e mostrasse altas resistências físico-mecânicas. Para o caso da celulose do eu-

calipto, é importante também que ela apresente alto coeficiente de dispersão de luz e que suas folhas mostrem baixa densidade aparente. No item anterior, observou-se que algumas propriedades da madeira mostram significativas influências sobre essas propriedades desejáveis. Infelizmente, os modelos de influência não ocorrem sempre no sentido de melhorar todas as propriedades da celulose. Na maioria dos casos, o aumento dos valores de uma dada característica da madeira correspondem a uma melhoria de algumas das propriedades da celulose e a perda de outras. Um programa de melhoramento de qualidade da madeira, para ser completo, deve procurar evitar ao máximo as perdas que possam ocorrer, quando o melhoramento se faz em um sentido. O ideal é que não existam perdas e sim ganhos de qualidade.

Baseados na exposição anterior é possível se visualizar o seguinte:

- Economias de madeira para produção de celulose podem ser conseguidas pelo aumento do rendimento e diminuição do consumo específico. Isso pode ser obtido pelo aumento da espessura média das paredes das fibras, pelo aumento da densidade básica da madeira e pelo aumento da proporção de fibras de paredes espessas relativamente àquelas de paredes delgadas. Pode-se também trabalhar no sentido de diminuir o consumo específico aumentando as seguintes relações entre as dimensões fundamentais das fibras: relação de Mulsteph, número de Boiler, fração parede e índice de Runkel.
- O aumento dos valores das características mencionadas no item a, embora reduzam o consumo de madeira por tonelada de celulose, prejudicam as seguintes propriedades: resistência ao estouro, resistência ao dobramento, e alongação. Por outro lado, colaboram também para uma diminuição da densidade aparente das folhas do papel o que é desejável para o eucalipto.
- Para compensar a perda de qualidade da celulose pelo aumento dos valores das características mencionadas no item a recomenda-se aumentar concomitantemente as seguintes propriedades da madeira: comprimento da fibra, proporção relativa de fibras longas e índice de enfiamento. O aumento do comprimento da fibra do eucalipto faz-se necessário, pois além de corresponder a um aumento na resistência ao rasgo da celulose, provocará um aumento desejável no índice de enfiamento e colaborará para que a relação comprimento/espessura da parede não caia, ou mesmo se eleve, quando o sentido do melhoramento é o de se aumentar a espessura da parede e a densidade básica da madeira. Embora se reconheçam as dificuldades para se aumentar o comprimento médio da fibra do eucalipto, é importante vencer esse desafio para se atingir a qualidade ideal na madeira do eucalipto.
- Quimicamente, é interessante a redução no teor de lignina da madeira pois isso acarretará mais fácil cozimento e menor consumo de soda cáustica no branqueamento.

Literatura citada

- BAREFOOT, A.C.; SMITH, W.J.; PARHAM, R.A.; HITCHINGS, R.G. & WILSON, E. - Preliminary investigations on the effect of loblolly pine cell morphology on paper fibers prepared in a laboratory beater. N.C.S.U. School of Forest Resources Technical Report nº 47, 21 p., 1971
- BARRICHELO, L.E.G. & BRITO, J.D. - Variações das características da madeira de Eucalyptus grandis e suas correlações com a produção de celulose. Trabalhos Técnicos X Congresso Anual da ABCP, p. 41 - 46, 1977
- BAWAGAN, P.V. - The analyses of some fundamental fiber-paper property relationships. Technical University of Trondheim, 98 p., 1972
- DINWOODIE, J.M. - The influence of anatomical and chemical characteristics of softwood fibers on the properties of sulfate pulp. TAPPI 49 (2): 57 - 67, 1966
- FOELKEL, C.E.B. & BARRICHELO, L.E.G. - Relações entre características da madeira e propriedades da celulose e papel. O Papel: 49 - 53, Setembro 1975

FOELKEL, C.E.B.; ZVINAKEVICIUS, C.; ANDRADE, J.R.; KATO, J. & ME
DEIROS SOBRINHO, J. - Eucaliptos tropicais na produção de celu-
lose kraft. Trabalhos Técnicos, XI Congresso Anual da ABCP, p.
5 - 12, 1978

HILLIS, W.E. - Properties of eucalypt woods of importance to
the pulp and paper industry. Appita 26 (2): 113 - 122, 1972

JOEODIBROTO, R. - The suitability of a tropical hardwood (Shorea
leprosula) for papermaking. SUNY College of Forestry - Tese de
mestrado, 1961

PÉTROFF, G. & NORMAND, D. - Relations entre les caractéristiques
morphologiques des fibres de quelques bois feuillus tropicaux et
leurs caractéristiques papetières. ATIP Bull n° 5: 353 - 370,
1961

TAYLOR, F.W. - Variations in the anatomical properties of South
African grown Eucalyptus grandis. Appita 27 (3): 171 - 178, 1973

WARDROP, A.B. - Fundamental studies in wood and fibre structure
relating to pulping processes. Appita 16 (3): xv - xxx, 1962

WARDROP, A.B. - Fiber morphology and papermaking. IAPPI 52 (3):
396 - 408, 1969



SILVICULTURA

ANO VIII

SETEMBRO/OUTUBRO 1983

N.º 32



International
Union of
Forestry
Research
Organizations

Balsa Footed



SBS

FAST GROWING TREES

SIMPOSIO IUFRO
EM MELHORAMENTO
GENÉTICO E
PRODUTIVIDADE DE
ESPÉCIES FLORESTAIS
DE RÁPIDO CRESCIMENTO

ANAIS