

CLONES DE *Eucalyptus* VERSUS A PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICA

Eucalyptus CLONES VERSUS CELLULOSIC PULP PRODUCTION

Paulo Fernando Trugilho¹ Maria Lucia Bianchi² José Lívio Gomide³
José Tarcísio Lima⁴ Lourival Marin Mendes⁵ Fábio Akira Mori⁶ Débora de Faria Ferreira Gomes⁷

RESUMO

A qualidade da madeira é definida pelas combinações entre as diversas características intrínsecas da árvore em função do seu uso. O objetivo do presente estudo foi avaliar essas características na madeira de clones de *Eucalyptus* visando à produção de polpa celulósica kraft de qualidade. Foram usados 15 clones, duas árvores de cada clone, num total de trinta árvores, todos com idades de 5,8 anos. As características avaliadas na madeira foram densidade básica, dimensões das fibras (comprimento da fibra, espessura de parede, diâmetro do lúmen) e composição química (teor de celulose, lignina, hemicelulose, extrativos e cinzas). Foram realizados quatro cozimentos Kraft para cada árvore, utilizando diferentes cargas de álcali ativo, para estabelecer a curva de deslignificação da amostra. Essas cargas de álcali foram selecionadas após realização de cozimentos exploratórios, objetivando obtenção de número kappa próximo a 18 na parte mediana da curva. Nos cozimentos, foram avaliados o rendimento depurado, a viscosidade da polpa celulósica e o álcali consumido. Os resultados de rendimento variaram de 43,4 a 52,0 %, o teor de álcali ativo utilizado de 17,5 a 23,4 %, o álcali consumido de 15,5 a 20,0% e a viscosidade de 19,9 a 61,4 cP.

Palavras-chave: *Eucalyptus*; polpação Kraft; celulose.

ABSTRACT

The wood quality is defined by combining several intrinsic characteristics of the tree to its use. This research aimed to evaluate some of the wood characteristics of *Eucalyptus* clones and its performance in kraft pulping. Fifteen clones, 5.8 years-old were used, two trees from each clone, totaling thirty trees. The evaluated wood characteristics were: basic density, fiber dimensions (fiber length, wall thickness, lumen diameter) and chemical composition (cellulose, lignin, hemicelluloses, extractives and ash contents). Four samples were cooked at the laboratory for each tree, using different active alkali, to establish the delignification curve. These alkali loads were selected after exploratory cooking to obtain an eighteen kappa number at the medium point of the curve. In the cooking were appraised the screened, the pulp viscosity and consumed alkali. The yield results varied from 43.4 to 52.0%, the active alkali from 17.5 to 23.4%, the consumed alkali from 15.5 to 20.0% and the pulp viscosity from 19.9 to 61.4 cP.

Key words: *Eucalyptus*; kraft pulping; cellulose.

INTRODUÇÃO

A produção mundial de madeira já supera os 3,3 bilhões de m³, sendo que os USA, China, Índia, Brasil e Indonésia se destacam, concentrando a produção em mais de 50% deste total.

1. Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 37, CEP 37200-000, Lavras (MG). trugilho@ufla.br
2. Química, Dr^a, Professora Substituta do Departamento de Química, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 37, CEP 37200-000, Lavras (MG). bianchi@ufla.br
3. Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Campus da UFV, CEP 36571-000, Viçosa (MG). jlgomide@ufv.br
4. Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 37, CEP 37200-000, Lavras (MG). jtlima@ufla.br
5. Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 37, CEP 37200-000, Lavras (MG). lourival@ufla.br
6. Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 37, CEP 37200-000, Lavras (MG). morif@ufla.br
7. Acadêmica do Curso de Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 37, CEP 37200-000, Lavras (MG).

Recebido para publicação em 20/12/2002 e aceito em 9/03/2005.

De toda madeira produzida, o Brasil contribui com aproximadamente 6%, sendo a maior parte utilizada como lenha e energia, vindo em seguida o uso para celulose e em terceiro plano a madeira processada.

Mundialmente, 53% do total da madeira produzida são destinados para lenha e carvão e 1,53 bilhões de m³ (47% do total) são destinados à transformação industrial. Destes, 60% vão para o processamento mecânico, 27% para celulose e papel e o restante para a fabricação de painéis reconstituídos (Rezende *et al.*, 2002).

Dados da Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA) indicam que em 2001 a produção brasileira de celulose foi de 7,5 milhões de toneladas e, a produção de papel, de 7,4 milhões de toneladas.

O grande interesse por uma fatia desse mercado de celulose e papel vem aumentando a competição entre as indústrias que concentram sua atenção no controle da qualidade da madeira e da polpa obtida, já que o processo de polpação kraft está bem estabelecido e tem sofrido poucas modificações desde que foi introduzido (Silva, 1996). Atualmente, mais de 80% da polpa produzida mundialmente utiliza esse processo que tem a vantagem de fornecer material de boa qualidade, utilizando matéria-prima diversificada (Elders e Hakins, 1991).

O processo kraft possui alta seletividade na deslignificação de vários materiais lignocelulósicos diferentes e, por essa razão, é o mais utilizado para a produção de polpa (Dahlmann e Schroeter, 1990).

Dentro de um dado processo de obtenção de polpa celulósica, por exemplo, o kraft, a qualidade do produto final (papel) é altamente dependente das características da matéria-prima (madeira) (Barrichelo *et al.*, 1983). Como consequência, a avaliação da madeira é de suma importância para a obtenção de um produto de boa qualidade e um melhor aproveitamento do material.

A qualidade da madeira está sempre relacionada com sua utilização. Para a indústria de papel e celulose, a madeira de boa qualidade é aquela que possui maior quantidade de celulose, fibras mais longas, lignina pouco ramificada, pouca quantidade de extrativos, etc. Assim, a qualidade da madeira pode ser definida como a combinação de características físicas, químicas, anatômicas e estruturais da árvore ou de suas partes que levam a um máximo de aproveitamento e uma melhor utilização para determinado fim. A qualidade da madeira pode ser analisada sob vários aspectos, existindo, igualmente, vários parâmetros para caracterizá-la. A melhor forma de estudá-la é pela relação existente entre o material de origem e o destino final.

No Brasil, a madeira do gênero *Eucalyptus* representa uma das principais fontes de matéria-prima para a indústria papeleira (Frazão, 1986). Segundo dados da BRACELPA cerca de 75% da celulose produzida no Brasil utiliza esse tipo de madeira.

No início dos anos 40, a polpa kraft de eucalipto surgiu no mercado mundial, sendo utilizada apenas na fabricação de papelão e papel para jornal. Somente em meados da década de 60 o eucalipto passou a ser visto como uma fonte em potencial para o setor. Atualmente, a polpa de eucaliptos é considerada de boa qualidade e muito importante na produção de papel para impressão, para escrita e papel tipo *tissue* (Hills, 1991). Observa-se, assim, a importância dessa matéria-prima para esse segmento industrial, bastando que se encontre ou selecione aquelas espécies de maior potencial para a produção de polpa celulósica.

No Brasil, o estudo sobre o comportamento das espécies de eucaliptos para aproveitamento industrial tem se tornado de grande importância, graças ao rápido desenvolvimento destas nas condições climáticas predominantes no País. Infelizmente, em razão da grande diversidade de espécies existentes, é difícil considerar o eucalipto como fornecedor de uma madeira bem definida para a produção de celulose. Esses fatores obrigam os pesquisadores a estudos visando a obter maximização de certas características da madeira para obtenção de polpa com propriedades desejadas (Gonzaga *et al.*, 1983).

A classificação e a seleção de indivíduos mais aptos a determinado uso têm sido muito exploradas atualmente. A classificação de material de qualidade superior deve levar em consideração tanto as características associadas à madeira como as do produto desejado. Com relação especificamente à produção de polpa celulósica, variáveis relativas à madeira e ao processo de obtenção da polpa devem ser consideradas. Nesse sentido, vários estudos têm sido realizados, visando a avaliar os efeitos das propriedades

químicas, físicas e anatômicas da madeira no processo e na qualidade da polpa de eucalipto obtida, especialmente pelo processo kraft (Fonseca *et al.*, 1996).

Os plantios clonais realizados pelas grandes indústrias papeleiras, valendo-se da seleção de matrizes para características silviculturais, densidade básica da madeira e rendimento em celulose, resultaram em aumento significativo da produtividade e da uniformidade da floresta, além de redução do consumo específico de madeira pela indústria. A obtenção de ganhos adicionais para essas e outras características, constitui-se, atualmente, em um dos maiores desafios a serem vencidos dentro do contexto da integração floresta-processo-produto (Demuner e Bertolucci, 1993).

O objetivo do presente estudo foi avaliar as características químicas, físicas e anatômicas da madeira de clones híbridos naturais de *Eucalyptus* visando à produção de polpa celulósica kraft de qualidade. Também foi avaliada a correlação simples entre as características da madeira com as da polpa celulósica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Material biológico e amostragem

Foram utilizadas árvores-amostra com idade de 5 anos e 10 meses, obtidas em um teste clonal de *Eucalyptus* adaptados às condições da Companhia Mineira de Metais (CMM – Agro-Florestal), localizada em Vazante/MG. As árvores foram plantadas em sistema Agro-Florestal em espaçamento amplo de 10 x 4 m. O teste clonal foi instalado na Fazenda Riacho, propriedade da Companhia Mineira de Metais (CMM-AGRO). Essa fazenda está localizada entre os municípios de Paracatu e Vazante, noroeste do estado de Minas Gerais. A latitude é de aproximadamente 17°36'09" S e a longitude de 46°42'42" O de Greenwich, com altitude de 550 m. O clima é do tipo Aw, tropical úmido de savana, com inverno seco e verão chuvoso, segundo a classificação de Köppen. Apresenta temperatura média anual de 24°C e precipitação média anual de 1.450 mm.

Foram utilizados 15 clones, híbridos naturais do *Eucalyptus grandis* com o *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus tereticornis*, sendo abatidas duas árvores por clone, num total de trinta árvores. As árvores selecionadas foram abatidas, devidamente identificadas e amostradas. Foram amostrados os clones que apresentaram as maiores taxas de crescimento volumétrico, melhor forma do fuste e que apresentaram bom estado fitossanitário (seleção fenotípica).

A Figura 1 mostra o esquema da amostragem nas árvores. Foram retirados cinco toretes (de 30 cm) de cada árvore a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, considerada a até um diâmetro de 6 cm.

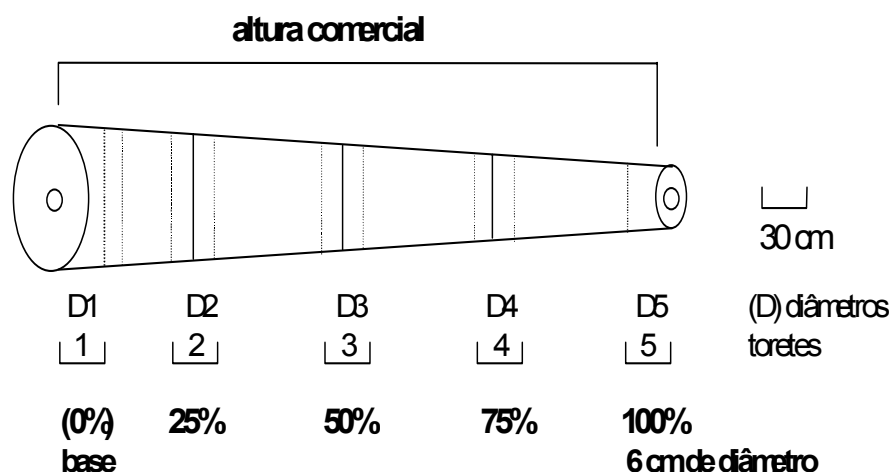


FIGURA 1: Amostras retiradas a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial.

FIGURE 1: Removed samples at 0, 25, 50, 75 and 100% of the commercial height.

Após a determinação dos diâmetros com e sem casca de cada torete, estes foram transformados em cavacos por meio de um picador de laboratório dotado de 2 peneiras classificadoras com aberturas de 39 x 39

mm e 6 x 6 mm. Os cavacos foram reclassificados em peneira com abertura de 16 x 16 mm e também foi realizada uma classificação manual para eliminar pedaços de casca, cavacos com defeitos de corte e madeira com nós. Os cavacos foram misturados para formar uma amostra composta de cada árvore.

Cálculo do volume total e comercial das árvores

O volume comercial foi determinado utilizando-se a equação 1. A altura do toco remanescente foi de 30 cm.

$$V_c = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = \frac{\pi}{40000} \sum_{i=1}^4 \left(\frac{D_{1i}^2 + D_{2i}^2}{2} \right) L \quad [1]$$

Em que: V_c = volume comercial (m^3); V_1, V_2, V_3 e V_4 = volumes das toras (m^3) compreendendo as posições 0 a 25, 25 a 50, 50 a 75 e 75 a 100% respectivamente; L = comprimento das toras, 25% da altura comercial.

O volume total representa o somatório do volume do toco, o volume do cone e o volume comercial da árvore.

Preparação das amostras e análises efetuadas na madeira

A densidade da madeira foi determinada utilizando-se os cavacos, de acordo com o método de imersão em água descrito por Vital (1984).

Para as análises das dimensões das fibras, foram removidos pequenos palitos de madeira dos cavacos. A maceração seguiu o método Nicholls e Dadswell modificado, conforme a metodologia utilizada no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal de Lavras (descrita a seguir). Amostras de cavacos foram transformada em finos palitos, os quais foram colocados em tubos de ensaio de 30 mL (4 a 8 palitos). Ao tubo de ensaio foi adicionada uma solução contendo 1:1 (v/v) de peróxido de hidrogênio 30% e ácido acético glacial, até que todos os palitos ficassem cobertos pelo líquido. Os tubos foram colocados em banho termostatizado a 80°C por um período de 3 a 4 horas, tempo suficiente para que os palitos de madeira soltassem seus feixes de fibras, com agitação vigorosa de 15 em 15 minutos.

Após a maceração o conteúdo do tubo foi filtrado e as fibras foram exaustivamente lavadas com água destilada. O material foi corado com uma solução 1% de safranina. Foram feitas três lâminas por árvore com o material corado e mediadas as dimensões das fibras em um microscópio. Utilizou-se um aumento de 40x para medida de comprimento e 80x para medida da espessura da parede e lúmen. Foram medidas cinqüenta fibras por árvore, sendo mensurado um número total de mil e 500 fibras.

Para as análises químicas, os cavacos foram moídos em moinho tipo Wiley e o material obtido foi peneirado. Foi utilizado o material que passou pela peneira de 0,50 mm (40 mesh) e ficou retido na de 0,149 mm (60 mesh). Para se fazer a análise de celulose e holocelulose, o material utilizado deve estar livre de extrativos. Para isso, as amostras passaram por um processo de extração com solventes orgânicos e água, conforme Norma M 3/89 da ABTCP. O teor de extrativos totais foi determinado também de acordo com essa metodologia.

O teor de holocelulose foi obtido seguindo-se o procedimento descrito por Browning (1963). Pesaram-se 3 g a.s., com precisão de 0,1 mg, de material moído, colocou-se em um erlenmeyer de 250 mL e adicionou-se 120 mL de água, 1 mL de ácido acético glacial e 2,5 g de clorito de sódio. O erlenmeyer foi tampado com outro de 25 mL invertido e o conjunto foi colocado em banho termostatizado a 70°C. A adição de ácido acético glacial e clorito de sódio foi repetida após 60 e 120 minutos. Ao final de 3 horas, a mistura foi resfriada lentamente até 5°C e filtrada em cadinho de vidro sinterizado previamente tarado. O resíduo sólido (holocelulose) foi lavado com uma porção de água fria e com três porções de etanol, e deixado secar em ambiente climatizado a 20°C e 65 % de umidade relativa.

O teor de celulose foi determinado de acordo com o procedimento descrito por Kennedy *et al.* (1987). Pesou-se 1,0 g a.s., com precisão de 0,1 mg, da holocelulose e adicionaram-se 15 mL de KOH 24%. A mistura foi mantida sob agitação à temperatura ambiente durante 15 horas e, em seguida, filtrada em cadinho de vidro sinterizado previamente tarado. O resíduo sólido (celulose) foi lavado com água até a neutralidade do filtrado com duas porções de ácido acético 1% e, por último, lavado

exaustivamente com etanol comercial. A celulose foi então seca em estufa 105°C até peso constante. O teor de hemiceluloses foi obtido por diferença entre o teor de holocelulose e de celulose. Para a análise dos teores de celulose e holocelulose foi utilizada uma amostra composta das duas árvores por clone.

A solubilidade da madeira em hidróxido de sódio a 1% foi obtida conforme a Norma M 5/68 da Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP).

O teor de lignina Klason foi determinado de acordo com o procedimento descrito por Gomide e Demuner (1986). O teor de lignina solúvel em ácido sulfúrico foi determinado por meio da espectrofotometria, tendo sido utilizada a equação descrita por Goldschimid (1971). A lignina total foi tomada como sendo a soma das ligninas solúvel e insolúvel.

O teor de cinzas ou minerais foi feito conforme a Norma M 11/77 da ABTCP.

Polpação

O processo de polpação foi feito no Laboratório de Celulose e Papel do Departamento de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa.

Os cozimentos kraft foram realizados em autoclave rotativa, com quatro reatores individuais de 2 litros cada, aquecida eletricamente e dotada de termômetro e manômetro. Foram realizados quatro cozimentos para cada árvore (num total de 120 polpações), utilizando diferentes cargas de álcali ativo, expressas como NaOH, para estabelecer a curva de deslignificação da amostra. Tais cargas de álcali foram selecionadas após realização de cozimentos exploratórios, objetivando obtenção de número kappa de 18 na parte mediana da curva.

Foi realizada análise de regressão dos quatro cozimentos de cada amostra, estabelecendo-se equações para correlacionar álcali ativo/número kappa, número kappa/rendimento depurado e número kappa/viscosidade. Pelo uso das equações foram determinados, para cada árvore, o álcali ativo necessário para obter número kappa 18,0 e o rendimento e a viscosidade das polpas correspondentes ao número kappa 18,0.

Os outros parâmetros utilizados, para a polpação kraft, foram os seguintes, mantidos constantes para todos os cozimentos:

Cavacos = 300 gramas a.s.

Sulfidez = 25%

Relação Licor/Madeira = 4/1

Temperatura máxima = 170°C

Tempo até temperatura máxima = 90 minutos

Tempo à temperatura máxima = 60 minutos

Após o cozimento, os cavacos foram lavados exaustivamente com água à temperatura ambiente, utilizando tela de aço inox de 0,06 mm (150 mesh). A individualização das fibras foi realizada em "hidrapulper" laboratorial de 25 litros de capacidade, numa consistência de aproximadamente 0,6%. A depuração da celulose (remoção dos rejeitos da polpa obtida) foi realizada em depurador laboratorial Voith dotado de placa com fendas de 0,2 mm.

A celulose, após lavagem, desfibramento e depuração, foi desaguada em centrífuga, a uma consistência de cerca de 30%, e armazenada em saco de polietileno para análises posteriores.

Para as polpas celulósicas produzidas, foram determinados os rendimentos depurados, a viscosidade, o álcali ativo e o álcali consumido para um número kappa em torno de 18.

Na avaliação experimental, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com duas repetições (árvores-amostra) por clone.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade básica da madeira

A Tabela 1 apresenta os valores médios das características silviculturais dos clones avaliados. Os valores de volume, massa seca, DAP e altura total referem-se à média de duas árvores e os respectivos coeficientes de variação (CV).

Pela Tabela 1, observa-se uma grande variação existente entre os materiais avaliados. Os coeficientes de variação podem ser considerados baixos, indicando a boa confiabilidade na qualidade dos dados e a alta eficiência do delineamento usado. O volume comercial sem casca variou de 0,3909 a 0,7507 m³, com coeficiente de variação de 9,74%. Esses volumes são considerados elevados para árvores com 6 anos de idade. O espaçamento amplo (10 x 4 m) e as adubações intercaladas do sistema de agrossilvicultura foram quem mais contribuíram para o aumento do volume das árvores.

O incremento médio anual variou de 33 (clones 3 e 8) a 56 (clone 9) st/ha/ano, com coeficiente de variação de 16,81%.

TABELA 1: Características de crescimento dos clones.

TABLE 1: Growth characteristics of the clones.

Clone	VCSC (m ³)	VTCS (m ³)	MSE (Kg)	DAP (cm)	ALT (m)
1	0,4371	0,0796	249,89	25,35	28,39
2	0,5249	0,0927	260,01	27,35	28,10
3	0,3931	0,0755	198,73	25,30	26,03
4	0,5704	0,0861	337,21	28,15	29,30
5	0,4127	0,0827	206,04	24,55	28,51
6	0,3627	0,0790	230,63	23,30	27,70
7	0,4208	0,0765	220,94	24,75	29,55
8	0,2886	0,0674	181,42	22,35	26,00
9	0,6877	0,0838	334,08	31,00	28,45
10	0,4021	0,0790	284,18	24,30	29,25
11	0,6045	0,0861	261,71	29,20	28,13
12	0,5652	0,0925	338,44	27,75	29,90
13	0,4891	0,0755	275,25	26,90	27,70
14	0,4584	0,0833	263,17	28,15	24,75
15	0,4390	0,0858	250,07	25,35	28,20
Média	0,4704	0,0817	259,45	26,25	28,00
CV (%)	22,98	9,74	19,95	9,47	5,18

Em que: VCSC = volume comercial sem casca; VTCS = volume total de casca; MSE = massa seca estimada; DAP = diâmetro à altura do peito; ALT = altura total da árvore; CV = coeficiente de variação (%).

Análise química

A Tabela 2 mostra os valores obtidos para os teores de lignina, hemiceluloses, celulose, holocelulose, solubilidade em hidróxido de sódio (NaOH) a 1%, extrativos e cinzas, com os respectivos coeficientes de variação (CV). Os resultados estão de acordo com o normalmente observado na literatura usual.

Pela Tabela 2, observam-se também baixos coeficientes de variação, exceto para o teor de extrativos. O teor de lignina variou de 23,8% (Clone 12) a 35,2% (clones 1). O teor de hemiceluloses variou de 14,76% (Clone 14) a 25,81% (Clone 15). O teor de celulose variou de 51,6% (Clone 15) a 60,76% (Clone 14). O teor de extrativos variou de 1,98% (Clone 13) a 7,95% (Clone 9) e o teor de cinzas variou de 0,16% (Clone 6) a 0,33% (Clone 15). Os resultados estão de acordo com os encontrados por Santos (2000).

TABELA 2: Teor de lignina, hemiceluloses, celulose, holocelulose, solubilidade em hidróxido de sódio (1%), extrativos e cinzas.

TABLE 2: Lignin, hemicelluloses, cellulose, holocellulose, sodium hydroxide (NaOH 1%), extractives and ash contents.

Clone	Lignina (%)	Hemiceluloses (%)	Celulose (%)	Holocelulose (%)	NaOH (%)	Extrativos (%)	Cinzas (%)
1	35,20	19,63	54,59	74,22	23,59	7,26	0,25
2	33,80	18,52	57,00	75,52	21,51	2,60	0,22
3	32,40	15,46	59,00	74,46	20,24	3,51	0,26
4	32,80	15,48	57,25	72,73	18,28	3,92	0,21
5	31,40	21,19	56,00	77,19	21,42	5,50	0,24
6	34,00	16,42	54,56	70,98	21,30	5,30	0,16
7	29,20	25,05	56,99	82,04	24,62	6,11	0,22
8	27,40	20,35	58,80	79,15	23,98	5,16	0,24
9	28,30	24,44	56,41	80,85	22,71	7,95	0,25
10	28,50	25,10	54,76	79,87	21,31	3,74	0,23
11	31,50	19,17	54,07	73,23	21,89	7,43	0,27
12	23,80	19,91	57,32	77,23	20,17	2,52	0,21
13	29,20	19,93	56,61	76,54	21,25	1,98	0,25
14	30,00	14,76	60,76	75,52	21,85	3,13	0,22
15	29,40	25,81	51,60	77,42	21,26	2,01	0,33
Média	30,48	20,08	56,38	76,46	21,69	4,11	0,24
CV (%)	9,72	18,39	4,02	4,08	7,33	36,47	15,64

Em que: CV = coeficiente de variação (%).

Clones com maiores teores de celulose e menores teores de lignina, como por exemplo o clone 12, produziram polpas com rendimentos maiores e número kappa menores (ver Tabela 4). Clones que apresentaram altos teores de extrativos, possivelmente consumirão grandes quantidades de reagentes (álcali ativo) durante o processo de polpação.

Análise anatômica

Na Tabela 3, encontram-se os valores médios da densidade básica, as medidas dimensionais das fibras e os índices indicativos de qualidade da celulose, por clone e seus respectivos coeficientes de variação (CV).

Os valores de coeficientes de variação são baixos indicando a boa confiabilidade na qualidade dos dados e a alta eficiência do delineamento usado

A espessura média de parede das fibras encontra-se próxima de um limite inferior enquanto que o diâmetro do lúmen situa-se próximo a um limite superior para a madeira de eucalipto. Esse fato sugere que as fibras desses clones possuem paredes finas e lúmen grande. Observa-se que a densidade básica variou, em média, de 405 kg/m³ (clone 11) a 570 kg/m³ (clone 4), estando dentro da faixa considerada ideal para a produção de celulose (Foelkel *et al.*, 1992).

O Índice de Enfeltramento (IE), que representa a razão entre o comprimento e a largura da fibra, foi elevado para os clones, exceto para o clone 8. Valores maiores de IE indicam que o papel gerado possuirá maior a resistência ao rasgo e arrebentamento ou estouro. O clone 4 possui o maior IE (66) enquanto, o clone 10, o menor (49). A média de IE para os clones está em torno de 58.

O Coeficiente de Flexibilidade (CF), que é a razão entre o diâmetro do lúmen e a largura da fibra, representa uma relação com a espessura da parede, ou seja, quanto maior o diâmetro do lúmen em relação a largura, mais delgada será a fibra e, portanto, mais flexível. Para os clones avaliados obteve-se um CF médio

acima do geralmente encontrado para madeira de eucalipto, sendo que o clone 13 apresentou um coeficiente de 74% e o clone 6 de 64%. Os resultados sugerem que as fibras dos clones estudados são muito flexíveis e favoráveis à produção de celulose e papel.

TABELA 3: Valores médios da densidade básica da madeira, dimensão de fibras e coeficientes indicativos de qualidade da celulose.

TABLE 3: Average values of the wood basic density, fiber dimension and cellulose-quality coefficients.

Clone	DB (Kg/m ³)	COMP (mm)	Largura (μ m)	Lúmen (μ m)	Parede (μ m)	IE	CF (%)	FP (%)
1	516,35	0,822	14,556	9,933	2,311	56,5	68,2	31,8
2	517,05	0,924	15,021	10,192	2,415	61,6	67,8	32,2
3	492,40	0,975	16,679	12,116	2,282	58,4	72,7	27,4
4	570,55	1,018	15,251	10,981	2,135	66,8	72,0	28,0
5	434,65	0,856	15,473	11,208	2,133	55,3	72,4	27,6
6	487,60	0,797	14,680	9,420	2,630	54,3	64,2	35,9
7	476,75	0,934	14,414	9,759	2,327	64,5	67,6	32,4
8	463,55	0,790	16,056	11,117	2,470	49,2	69,2	30,8
9	445,05	1,023	17,895	13,263	2,316	57,2	74,1	25,9
10	502,20	0,960	15,214	11,004	2,105	63,0	72,3	27,7
11	405,65	0,940	16,374	11,953	2,211	57,5	73,0	27,0
12	489,55	0,982	17,115	12,355	2,380	57,5	72,1	27,9
13	478,85	0,981	16,306	11,610	2,348	60,2	71,2	28,8
14	461,85	0,914	15,943	11,605	2,169	57,4	72,8	27,2
15	486,15	0,981	15,473	11,204	2,135	63,4	72,4	27,6
Média	483,27	0,926	15,763	11,181	2,291	58,9	70,8	29,2
CV (%)	8,82	9,44	6,70	10,080	6,98	8,71	4,20	10,19

Em que: DB = densidade básica; COMP = comprimento da fibra; Largura = largura da fibra; Lúmen = diâmetro do lúmen; Parede = espessura da parede celular; IE = índice de enfiamento; CF = coeficiente de flexibilidade; FP = fração parede.

A Fração Parede (FP), que relaciona a espessura da parede com a largura total da fibra, apresentou valores médios baixos, indicando também que as fibras são flexíveis. Quanto maior a fração parede mais rígidas são as fibras e menor área de contato entre elas. Quando a FP é alta a resistência à tração e ao estouro são baixas no papel produzido. FP superior a 40% indica que a madeira não produzirá celulose com qualidade satisfatória. Todos os valores de FP encontrados ficaram abaixo de 40%, sendo que a média geral está em torno de 30%.

Polpação

Na Tabela 4, encontram-se os valores de álcali ativo, viscosidade, rendimento depurado e álcali consumido e seus respectivos coeficientes de variação (CV). Os coeficientes de variação foram baixos, exceto para a viscosidade da polpa produzida. A grande variação da viscosidade da polpa é um reflexo do aumento do álcali ativo no cozimento. Dessa forma, maiores teores de álcali ativo provocam degradação da cadeia celulósica, ou seja, redução no seu comprimento o que provoca redução na viscosidade da polpa produzida.

TABELA 4: Teores de álcali ativo, viscosidade, rendimento depurado e álcali consumido.

TABLE 4: Active alkali content, pulp viscosity, screened yield and consumed alkali.

Clone	Álcali Ativo (%)	Viscosidade (cP)	Rendimento Depurado (%)	Álcali Consumido (%)
1	23,4	19,9	43,4	20,0
2	20,1	50,1	49,2	17,1
3	17,5	51,1	51,1	15,6
4	18,0	28,8	48,8	15,6
5	18,7	47,9	48,7	16,5
6	23,2	24,8	45,5	19,1
7	22,1	35,1	46,4	18,8
8	20,2	49,2	47,4	17,7
9	21,6	37,5	46,3	18,6
10	20,4	39,5	48,0	17,4
11	22,7	30,6	44,4	19,0
12	17,8	61,4	52,1	15,9
14	20,9	37,1	47,8	17,7
14	20,4	39,2	48,0	17,3
15	20,9	42,2	46,8	17,7
Média	20,51	39,86	47,57	17,57
CV (%)	9,50	28,95	4,81	7,74

Em que: CV = coeficiente de variação (%).

Os resultados de rendimento depurado indicam a existência de grande variação entre os clones, a qual passa por valores considerados baixos (44%), médios (48%) e bons (52%). Os clones 3 e 12 destacam-se como matéria-prima de grande potencial para produção de polpa celulósica. Esses clones apresentaram rendimento depurado médio de 51,6% e viscosidade de 58,2 cP. Além disso, tais clones utilizaram a menor quantidade de álcali ativo (17,63%) para a obtenção de polpa com número kappa de 18.

Correlação entre as características avaliadas

A Tabela 5 apresenta as principais correlações simples determinadas entre as características da madeira e as de produção de celulose.

Pelos resultados, observa-se que o teor de lignina total correlaciona-se negativamente com a viscosidade e o rendimento depurado da polpa e positivamente com o álcali ativo o que era esperado. Segundo Fonseca *et al.* (1996), os teores de lignina e de extrativos influenciam diretamente o consumo de álcali, o rendimento da deslignificação e o potencial industrial. Um maior teor de lignina na madeira gera polpa com viscosidade e rendimento menores em consequência da necessidade de maiores cargas de álcali ativo.

O teor de hemiceluloses, densidade básica e espessura da parede das fibras não apresentaram correlação significativamente com as características de produção da polpa. Houve correlação positiva entre a celulose e o rendimento depurado e negativa entre o álcali ativo e álcali consumido. A correlação positiva e significativa entre o teor de celulose e o rendimento depurado (0,5134) era esperada e está de acordo com Wallis *et al.* (1996b), citados por Santos (2000).

O teor de extrativos totais apresentou correlação positiva e significativa com o álcali ativo (0,5546) e consumido (0,6335) e correlação negativa com a viscosidade (-0,5134) e rendimento depurado (-0,6724) da polpa. Esse resultado era esperado uma vez que o elevado teor de extrativos pode contribuir com o aumento do consumo específico de reagentes durante a polpação. Esse resultado está de acordo com Wallis *et al.* (1996b), citados por Santos (2000).

TABELA 5: Principais correlações existentes entre as características avaliadas.

TABLE 5: Main correlations among the evaluated characteristics.

	LIG	HEM	CEL	SOD	EXT	DB	COM	LAR	LUM	EP	AA	VIS	RD	ACS
LIG	1,0	-0,4457	-	-	0,3492	-	-	-0,5640	-0,5515	-	0,3131	-0,6032	-0,4180	-
HEM		1,0	-0,5393	0,4564	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CEL			1,0	-	-	-	-	-	-	-	-0,4830	-	0,5134	-0,4531
SOD				1,0	-	-	-0,4977	-	-	-	0,6432	-	-0,5765	0,7293
EXT					1,0	-	-	-0,4877	-0,5125	-	0,5546	-0,5134	-0,6724	0,6335
DB						1,0	-	-0,4569	-0,4355	-	-	-	-	-
COM							1,0	0,4888	0,6026	-0,4923	-0,3300	-	0,3552	-
LAR								1,0	0,9592	-	-	0,4678	0,3279	-
LUM									1,0	-0,3571	-0,4173	0,4457	0,3384	-
EP										1,0	-	-	-	-
AA											1,0	-0,7550	-0,9260	0,9844
VIS												1,0	0,8373	-0,7113
RD													1,0	-0,9255
ACS														1,0

Em que: LIG = teor de lignina; HEM = teor de hemicelulose; CEL = teor de celulose; SOD = solúveis em NaOH 1%; EXT = teor de extrativos totais; DB = densidade básica; COM = comprimento de fibra; LAR = largura de fibra; LUM = diâmetro de lúmen; EP = espessura de parede de fibra; AA = álcali ativo; VIS = viscosidade da polpa; RD = rendimento depurado; ACS = álcali consumido.

O álcali ativo apresentou correlação negativa e significativa com a viscosidade (-0,7550) e rendimento depurado (-0,9260) e positiva com o álcali consumido (0,9844), o que era esperado.

A viscosidade apresentou correlação positiva e significativa com o rendimento depurado (0,8373) e negativa com o álcali consumido (-0,7113); o rendimento depurado apresentou correlação negativa e significativa com o álcali consumido (-0,9255).

O comprimento, a largura e o diâmetro do lúmen apresentaram correlações similares com as características de produção de polpa celulósica, sendo negativa com o álcali ativo e positiva com a viscosidade e rendimento depurado da polpa.

A densidade básica não apresentou correlação significativa com as propriedades da polpa. Esse resultado está de acordo com Collins *et al.* (1990). Entretanto, a densidade básica apresentou correlação negativa com a largura (-0,4569) e com o diâmetro do lúmen (-0,4355) o que também é esperado.

CONCLUSÕES

Pelos resultados observados, pode-se concluir que:

Existe grande variação entre os clones avaliados o que possibilita a seleção de material potencial para produção de celulose.

Os volumes comerciais das árvores foram elevados, indicando alta taxa de incremento no local de coleta dos materiais.

As densidades básicas encontradas estão dentro da faixa ótima apropriada à produção de polpa celulósica.

As dimensões das fibras e os coeficientes de indicação de qualidade sugerem que os clones possuem potencialidade para a produção de celulose e papel.

As clones que apresentaram o maior teor de celulose produziram polpas com maiores rendimentos;

Os clones, que apresentaram a maior quantidade de extrativos, necessitaram de uma maior carga de álcali ativo no cozimento.

A carga de álcali ativo apresentou correlação negativa e significativa com a viscosidade e o rendimento depurado da polpa celulósica.

AGRADECIMENTOS

Ao grupo Votorantim Metais (VM) – Unidade Agroflorestal pelo apoio logístico e por ceder o material utilizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO Brasileira de Celulose e Papel (Bracelpa). Disponível em: <<http://www.bracelpa.com.br>>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL – ABTCP. **Normas técnicas**. São Paulo, 1974. Não paginado. Extrativos totais, Norma M 3/89. Solubilidade em NaOH a 1%, Norma M 5/68 Teor de cinzas ou minerais, Norma M 11/77.
- BARRICHELLO, L.E.G.; BRITO, J.O.; BAZANELLI, A.V. Densidade básica e características das fibras de madeira de *Eucalyptus grandis*. In : CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3., 1983. **Anais ...** 1983. p. 112-125.
- BROWNING, B.L. **The chemistry of wood**. New York : Interscience, 1963. 689 p.
- COLLINS, D.J.; PILOTTI, C.A.; WALLIS, A.F.A. Correlation of chemical composition and kraft pulping properties of some Papua New Guinea reforestation woods. **Appita Journal**, v.43, n.3, p. 193-198, 1990.
- DAHLMANN, G. ; SCHROETER, M.C. **TAPPI Journal**, v.73, n.4, p. 237-241, 1990.
- DEMUNER, B.J. ; BERTOLUCCI, F.L.G. Seleção florestal: uma nova abordagem a partir de estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para características da madeira e polpa de eucalipto. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 26., 1993, São Paulo. **Anais ...** 1993. p. 411-423.
- ELVERS, B. ; HAWKINS, S. (Eds). **Ullman's encyclopedia of industrial chemistry**. 5. ed. New York : Gail Schulz, 1991. v.18
- FRAZÃO, F. J. L. Características da madeira e da polpa kraft não branqueada de *Eucalyptus deglupta* Blume introduzido na região de Manaus – AM. In : CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 19., 1986. **Anais ...** 1986. p. 79-87.
- FOELKEL, C.E.B.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade na madeira de eucalipto para produção de celulose. **O Papel**, v.53, n.5, p. 35-40, 1992.
- FONSECA, S.M.; OLIVEIRA, R.C.; SILVEIRA, P.N. Seleção da árvore industrial. **Revista Árvore**, v.20, n.1, p. 69-85, 1996.
- GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K.V. ; LUDWIG, C.H. **Lignins: occurrence, formation, structure and reations**. New York : John Wiley & Sons, 1971. 915p.
- GOMIDE, J.L. ; DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, n. 47 p. 36-38, 1986.
- GONZAGA, J.V. et. al. **Qualidade da madeira e da celulose kraft branqueada de treze espécies de *Eucalyptus***. CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CELULOSE E PAPEL, 3., 1983, São Paulo. **Anais ...**1983. p. 7-29.
- HILLIS, W. E.; *Eucalypts: Chemistry uses*. **Appita J.**, n.44, p. 239-244, 1991.
- KENNEDY, F.; PHILLIPS, G. O. ; WILLIAMS, P. A.; **Wood and cellulose: industrial utilization, biotechnology, structure and properties**. Ellis Horwood, 1987. 702 p.
- REZENDE, J. L. P. ;COELHO Jr., L. M.; OLIVEIRA, A D. A economia florestal mineira vis-à-vis a economia florestal brasileira. In : ANAIS: sólidos de Eucalipto: avanços científicos e tecnológicos. Lavras : 2002. p. 1-64.
- SANTOS, C.R. **Métodos não-convencionais para determinação de celulose como parâmetro de seleção de árvores matrizes visando a produção de polpa kraft-AQ**. 2000. 117 p. Dissertação (Mestrado) - ESALQ-USP, Piracicaba, 2000.
- SILVA, D. J. **Impacto da qualidade da madeira na deslignificação, no branqueamento e nas propriedades físico-mecânicas da polpa de eucalipto**. 1996. 103 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Vicosa, 1996.
- VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa : SIF, 1984. p. 21 (Boletim técnico, 1).