

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS  IPEF

(Declarado de Utilidade Pública pela Lei n.º 441 de 24 de Setembro de 1974)

CAIXA POSTAL, 9 – FONE 33-2080 – ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”.  
PIRACICABA – ESTADO DE SÃO PAULO

CONVÊNIO:

USP – ESALQ – DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA

E

INDÚSTRIAS LIGADAS AO SETOR FLORESTAL

---

BOLETIM INFORMATIVO

I CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE A QUALIDADE DA  
MADEIRA

PROMOÇÃO IPEF – ABCP

XI CONGRESSO ANUAL DA ABCP

São Paulo (SP) 22 e 25/novembro/1978

---

IPEF – 10 ANOS DE INTEGRAÇÃO UNIVERSIDADE-EMPRESA

ABCP – ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL

B. Inf.	Piracicaba	v.6	n.20	nov.	1978
---------	------------	-----	------	------	------

## SUMÁRIO

1. Melhoria Genética da Densidade da Madeira de Eucalipto  
*M. FERREIRA, P.Y. KAGEYAMA*
2. Variação da Densidade Básica da Madeira de *Eucalyptus* spp em Função da Idade e Qualidade de Local.  
*C.A. FERREIRA, M. DE FREITAS, M. FERREIRA*
3. Efeitos da Fertilização na Qualidade da Madeira  
*W.S. JACOB, E.A. BALLONI*
4. Avaliação Técnico-Econômica da Produção de Celulose de Madeira não-descascada de *Pinus caribaea* e *Eucalyptus grandis*  
*J.O. BRITO, L.E.G. BARRICHELO, R.C.D. GARLIPP*
5. Madeira do Eucalipto: Da Floresta ao Digestor  
*C.E.B. FOEKEL*
6. Uso de Métodos Nucleares no Estudo da Qualidade da Madeira  
*M. TOMAZELLO FILHO, E.S.B. FERRAZ, M.G. CARNEIRO*

## MELHORAMENTO GENÉTICO DA DENSIDADE DA MADEIRA DE EUCALIPTO

*Mário Ferreira*<sup>\*</sup>  
*Paulo Yoshio Kageyama*<sup>\*\*</sup>

### I. INTRODUÇÃO

As indústrias que utilizam a madeira dos eucaliptos como matéria prima, cada vez mais requerem informações básicas em relação às suas qualidades e as possibilidades do seu melhoramento.

As novas técnicas de manejo e exploração florestal, aliados ao melhoramento genético, têm propiciado aumentos significativos na produção volumétrica de madeira por unidade de área plantada. A produção volumétrica é ainda o índice primordial na avaliação da economicidade da floresta como um todo. Tendo em vista a alta variabilidade da densidade da madeira associada às diferentes espécies, às procedências das sementes, a idade de exploração, etc., considera-se, hoje, o peso seco da madeira por unidade de área como o índice mais adequado.

O estudo da variabilidade da densidade é altamente importante para a determinação da adequação da madeira à finalidade desejada. Na indústria de celulose e papel a densidade da madeira é uma caracteristicamente importante. Para o caso da produção de celulose de eucalipto, aparentemente ela ainda é um índice discutível. Recentes reuniões, patrocinadas pela Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel, com o objetivo de, através grupo de trabalho específico, discutir a influência da qualidade da madeira no produto final, algumas considerações foram apresentadas, destacando-se: "Existe uma densidade ideal que otimiza o rendimento e as propriedades físicas necessárias da pasta". Em relação à madeira de alta densidade: "As madeiras de mais alta densidade não são recomendáveis para a fabricação de celulose, pois consomem mais alcali no cozimento, tem branqueamento mais difícil, maior número de rejeitos e, ao final do processo, terão um baixo rendimento. Pode-se fabricar celulose de madeira mais densa, se o principal interesse for o rendimento por cozimento". (8)

É um fato muito conhecido que algumas espécies utilizadas para a produção de celulose foram inicialmente rejeitadas. Essa rejeição pode ser explicada por uma amostragem não representativa da espécie ou pelas conseqüências da hibridação até então não considerada.

Em relação ao conceito de densidade baixa alta e ótima, o que se conclui é que ele deverá depender diretamente do produto final desejado e da tecnologia à ser empregada. Para o setor florestal, em especial o silvicultor, a caracterização da madeira à ser produzida irá depender, em última análise, da definição do setor industrial para o qual a plantação está sendo instalada.

O objetivo básico deste trabalho é, através de uma revisão geral sobre os estudos da densidade da madeira de eucalipto, propiciar aos técnicos uma visão sobre a variabilidade da densidade das principais espécies e do seu potencial para o melhoramento.

---

\* Professor Adjunto – Departamento Silvicultura – ESALQ-USP

\*\* Professor Assistente – Departamento Silvicultura – ESALQ-USP

## II. VARIAÇÃO DA DENSIDADE DA MADEIRA EM FUNÇÃO DA ESPÉCIE.

As principais espécies introduzidas em São Paulo, com potencial para a indústria de celulose e papel, são: *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. dunnii*, *E. botryoides*, *E. pilularis*, *E. resinifera*, *E. robusta*, *E. tereticornis*, *E. propinqua* e *E. microcorys*.

Considerando-se o período de 5 a 7 anos como idades adequadas à exploração e utilização da madeira, pode-se afirmar:

a) O *E. saligna*, *E. grandis*, *E. dunnii* e *E. botryoides* apresentam densidade média de madeira muito semelhantes e em torno de 0,430 g/cm<sup>3</sup> a 0,500 g/cm<sup>3</sup>.

b) O *E. pilularis*, *E. resinifera*, *E. urophylla* e *E. propinqua* pertencem ao grupo em que a densidade varia em torno de 0,500 a 0,580 g/cm<sup>3</sup>.

c) Com densidades superiores a 0,580 g/cm<sup>3</sup>, destacam-se o *E. microcorys* (0,610 g/cm<sup>3</sup>) e o *E. cloeziana* 0,603 g/cm<sup>3</sup> (6,7)

Poucos estudos existem em relação ao *E. robusta* e *E. tereticornis*. Provavelmente o *E. robusta* não seja muito considerado pela sua alta porcentagem de casca. Em relação ao *E. tereticornis* a alta densidade seria um dos fatores limitantes.

## III. VARIAÇÃO DA DENSIDADE EM FUNÇÃO DA LOCALIDADE

Os efeitos das condições ecológicas na densidade da madeira são muito pouco estudados. Em nosso meio, estudos efetuados na região de Itupeva (SP) e em Mogi-Guaçu (SP), com as espécies *E. urophylla*, *E. grandis*, *E. saligna* e *E. propinqua*, demonstraram haver alta tendência para produção de madeira mais densa na Região de Mogi-Guaçu, onde as condições de crescimento foram inferiores às de Itupeva.

**Quadro nº 1.** Variação da densidade média de plantações (g/cm<sup>3</sup>), aos 5 anos de idade, nas regiões de Itupeva (SP) e Mogi-Guaçu (SP).

Espécie	Itupeva	Mogi-Guaçu
<i>E. urophylla</i>	0,528	0,546
<i>E. saligna</i>	0,454	0,545
<i>E. grandis</i>	0,409	0,527
<i>E. propinqua</i>	0,538	0,628

As sementes utilizadas nessas plantações eram comprovadamente de origem híbrida (12). Tal fato tornou muito difícil o controle do material genético em estudo nas localidades. A análise botânica das árvores, aos 5 anos de idade, revelou alta heterogeneidade entre e dentro das localidades, muito embora as sementes utilizadas fossem originárias do mesmo lote.

As mais recentes revisões sobre o efeito das condições ecológicas na densidade da madeira de eucalipto, em relação ao *E. grandis* e *E. saligna*, atestam que a variação da densidade entre árvores, dentro de uma localidade, é muito maior do que entre localidades.

Aparentemente, para o caso de *E. grandis*, os efeitos da idade seriam muito mais importantes do que os efeitos das localidades.

## IV. VARIAÇÃO DA DENSIDADE EM FUNÇÃO DA IDADE DOS POVOAMENTOS

Os efeitos da idade na densidade da madeira das populações de eucaliptos podem ser exemplificados pelos dados a seguir.

**Quadro nº 2.** Variação da densidade da madeira ( $\text{g/cm}^3$ ) em função da espécie e idade na localidade de Itupeva (SP)

Idade anos	<i>E. urophylla</i>	<i>E. grandis</i>	<i>E. propinqua</i>	<i>E. saligna</i>
5	0,528	0,409	0,538	0,454
7	0,572	0,462	0,580	0,482
9	0,574	0,460	0,604	0,488
11	0,603	0,474	0,623	0,586

Os dados apresentados no Quadro nº 2, demonstram que:

- Independentemente das espécies há um aumento da densidade em função da idade.
- O aumento da densidade, no período de 5 a 11 anos, é pronunciado para o *E. urophylla*, *E. propinqua* e *E. saligna*, sendo menos pronunciado para o *E. grandis*. Há portanto, até os 11 anos de idade, uma forte tendência para o *E. grandis* produzir madeira menos densa do que as outras espécies analisadas.

Na localidade de Aimorés (SP) a análise da densidade de povoamentos comerciais de *E. grandis*, nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos, apresentou seguinte tendência: aos 11 anos –  $0,479 \text{ g/cm}^3$ , 12 anos –  $0,552 \text{ g/cm}^3$ , 14 anos –  $0,597 \text{ g/cm}^3$  e 16 anos –  $0,559 \text{ g/cm}^3$ . Embora os povoamentos analisados fossem oriundos de diferentes procedências de sementes, e apresentassem alta taxa de hibridação (com exceção para o de 11 anos), aparentemente, entre as idades de 12 a 13 anos, parece haver uma estabilização da densidade. Estudos efetuados na África do Sul (1) demonstram a mesma tendência para o *E. grandis* estabilizar a densidade aos 12 anos. Deve se atribuir tal fato à provável formação de madeira adulta a partir dos 12 anos. Há necessidade de melhores estudos em populações mais homogêneas implantadas com mudas oriundas de sementes com procedências melhor controladas.

## V. VARIAÇÃO DA DENSIDADE EM FUNÇÃO DA PROCEDÊNCIA DAS SEMENTES

O estudo das procedências das sementes associado à variação das qualidades da madeira é ainda um campo em aberto. Trabalhos efetuados na Rodésia com *E. grandis*, aos 5 e  $\frac{1}{2}$  anos, demonstram que a densidade variou em função das 8 procedências de sementes testadas, havendo somente uma exceção para a procedência de Atherton (Queensland, Austrália). As densidades variaram de  $0,390 \text{ g/cm}^3$  a  $0,44 \text{ g/cm}^3$  segundo as procedências. A mais alta densidade estava associada a procedência de Atherton. Pelas características de procedência, (latitude  $17^{\circ}10'S$ , longitude  $145^{\circ}30'$  Leste de Greenwich, altitude 518 m), em relação à zona principal de ocorrência natural da espécie, (entre latitudes de  $26^{\circ}S$  a  $32^{\circ}S$ ) pode-se considerar tratar-se de material genético importante para o programa de melhoramento. (2).

Outros estudos efetuados, também na Rodésia, com *E. saligna* (10 procedências), *E. dunnii* (2 procedências), *E. deanei* (3 procedências) e *E. botryoides* (2 procedências), permitiram estabelecer, aos 5 e ½ anos, que o *E. saligna* as densidades médias variaram de 0,422 g/cm<sup>3</sup> a 0,459 g/cm<sup>3</sup>, *E. dunnii* – 0,450 g/cm<sup>3</sup> a 0,467 g/cm<sup>3</sup>, *E. deanei* – 0,444 g/cm<sup>3</sup> a 0,488 g/cm<sup>3</sup> e *E. botryoides* – 0,429 g/cm<sup>3</sup> a 0,432 g/cm<sup>3</sup>. Nesses estudos a tendência predominante era para uma maior variação entre árvores, dentro de procedências, do que a variação entre procedências. (2)

Para o *E. pilularis* na Região de Mogi-Guaçu (SP), aos 5 anos de idade (14), foi detectada alta variação na densidade entre procedências. A densidade básica média das procedências variou de 0,506 g/cm<sup>3</sup> a 0,551 g/cm<sup>3</sup>. É interessante notar que a densidade mais alta encontrada estava relacionada com o *E. pilularis* var. *pyriformis*, recentemente reclassificado como *Epyrocarpa*. A possibilidade de utilização do *E. pilularis* para celulose é limitada pela baixa capacidade de brotação da espécie, muito embora a espécie apresente madeira com qualidades que a credenciam. É evidente, porém, que se o manejo da floresta for direcionado para desbastes sucessivos, visando a produção de madeira de maiores dimensões, o *E. pilularis* e o *E. pyrocarpa* poderão ser altamente potenciais.

Da revisão dos principais estudos relativos a procedência das sementes e densidade, os seguintes fatores devem ser ressaltados:

- a) é importante a intensificação dos estudos visando estabelecer a magnitude da variabilidade natural da densidade em função da procedência das sementes.
- b) Para as espécies em que essa variabilidade é significativa, estabelecer bases para a exploração dessa variabilidade natural.
- c) Nos testes de procedências, que vem sendo estabelecidos na maioria dos programas em andamento, a avaliação pura e simples das procedências através da produção volumétrica, poderá eliminar procedências/árvores altamente importantes para o melhoramento da densidade.

## VI. VARIAÇÃO EM FUNÇÃO DA TAXA DE CRESCIMENTO

Nas plantações comerciais de *E. grandis* e *E. saligna*, instaladas em São Paulo com sementes de origem híbrida, constatou-se que, em média, as árvores mais vigorosas apresentavam maior densidade (9, 10). Esses estudos foram efetuados em plantações nas idades de 5 e 7 anos para o *E. saligna* e nas idades de 11 a 16 anos para o *E. grandis*.

Com a evolução do programa de melhoramento novas procedências de sementes foram introduzidas principalmente as oriundas da Austrália, África do Sul e Rodésia. Nessas plantações os estudos que vem sendo conduzidos não evidenciaram os efeitos da taxa de crescimento na densidade. Comprovou-se, isto sim, grande variabilidade individual dentro das populações (2, 15).

Trabalhos recentes na África do Sul suportam a afirmativa de que para o *E. grandis* os efeitos da localidade geográfica e da taxa crescimento na densidade da madeira não são significativos (15).

## VII. VARIAÇÃO DA DENSIDADE ENTRE ÁRVORES

Para a maioria das espécies, em que os estudos foram efetuados, a variabilidade entre árvores, dentro de populações, foi a característica mais realçada. As conclusões mais importantes poderiam ser resumidas em:

- a) a densidade da madeira varia significativamente de árvore para árvore dentro de uma população. Essa variação é muito mais importante do que as variações entre populações dentro de uma localidade ou entre populações em localidades diferentes.
- b) Para as plantações comerciais de *E. urophylla*, encontraram-se, nas idades de 5 a 7 anos, árvores com densidades variando de 0,443 g/cm<sup>3</sup> a 0,667 g/cm<sup>3</sup>. Para o *E. saligna*, nas mesmas idades, 0,448 g/cm<sup>3</sup> a 0,634 g/cm<sup>3</sup>. Para o *E. grandis*, dos 11 aos 16 anos, 0,433 g/cm<sup>3</sup> a 0,730 g/cm<sup>3</sup>. Todas as populações estudadas eram de origem híbrida (6, 9, 10, 11).

Recentes trabalhos com populações de *E. grandis*, derivadas de sementes australianas, demonstraram ser a variação individual, até os 6 anos de idade, relativamente menor do que aquela encontrada nas populações comerciais anteriores. Na análise de populações, nas localidades de Mogi Guaçu e Salto, encontram-se árvores com densidade variando de 0,412 g/cm<sup>3</sup> a 0,568 g/cm<sup>3</sup>. (13). Essa tendência também foi detectada na Rodésia. Em populações de *E. grandis*, aos 5 e ½ anos as variações individuais foram da ordem de 0,369 g/cm<sup>3</sup> a 0,495 g/cm<sup>3</sup> (2). Para o *E. botryoides*, *E. deanei* e *E. dunnii*, também aos 5 e ½ anos, a variação entre árvores foi: *E. saligna* – 0,388 g/cm<sup>3</sup> a 0,498 g/cm<sup>3</sup>; *E. botryoides* – 0,376 g/cm<sup>3</sup> a 0,461 g/cm<sup>3</sup>; *E. deanei* – 0,405 g/cm<sup>3</sup> a 0,516 g/cm<sup>3</sup> e *E. dunnii* – 0,395 g/cm<sup>3</sup> e 0,506 g/cm<sup>3</sup>.

No programa de seleção de árvores superiores de *E. grandis*, conduzido conjuntamente pela Champion Papel e Celulose S/A e Durates Indústria e Comércio. S/A., alguns aspectos da utilização dessa variabilidade natural são altamente importantes (13).

As árvores superiores, selecionadas em populações nas idades de 6 a 7 anos, apresentavam superioridade em diâmetro, em relação às árvores dominantes, mais próximas, da ordem de 14% a 73%. Em relação à altura total das árvores essa superioridade era de 9% a 27%. Para a densidade da madeira o estudo comparativo das árvores selecionadas com as árvores dominantes demonstrou que:

- a) existe alta variação entre árvores selecionadas, permitindo, portanto, a seleção de árvores muito vigorosas com baixa ou alta densidade.
- b) A densidade básica média das 130 árvores superiores foi da ordem de 0,430 g/cm<sup>3</sup> para uma amplitude de variação de 0,333 g/cm<sup>3</sup> a 0,523 g/cm<sup>3</sup>.
- c) Essa tendência foi também encontrada para as 650 árvores dominantes analisadas.

Baseando-se nessas conclusões as indústrias planejam conduzir o programa direcionado a melhoria da densidade da madeira. A utilização da variação natural existente poderá ser importante quando a utilização tecnológica da madeira for mais diversificada.

## VIII. VARIAÇÃO DA DENSIDADE DENTRO DA ÁRVORE

### VIII.1. Variação da densidade em função da altura da árvore.

A maioria dos trabalhos consultados apresentam resultados revelando que a densidade tende a crescer da base para a copa da árvore. As principais espécies estudadas foram: *E. urophylla*, *E. saligna*, *E. propinqua* (5, 9, 10).

Para o caso do *E. propinqua* (5) constatou-se que a densidade máxima estaria localizada ao nível de 50% da altura total da árvore. Atribui-se esse fato a necessidade da árvore formar madeira de reação, naquele nível, contra o peso da copa e a ação dos ventos.

Em relação ao *E. grandis* estudos efetuados na África do Sul, com árvores de 15 a 20 anos (15), constatou-se que havia uma tendência para a densidade decrescer do nível do DAP até 4,5 m de altura. Acima desse nível a densidade tende novamente a crescer. Em populações comerciais de *E. grandis* do Estado de São Paulo a tendência para decréscimo até os 4,5 m não foi verificada (10).

#### VIII.2. Variação da densidade no sentido medula-casca.

Para padronização das comparações as citações das variações serão feitas em relação ao nível do DAP.

É um fato, comumente aceito, que o tecido meristemático cambial passa por mudanças em função da idade da árvore. Essas mudanças irão dar origem a variações na madeira produzida em cada idade; como consequência a madeira dos primeiros anos de vida da árvore é significativamente diferente da madeira nas idades mais avançadas. A madeira dos estágios iniciais de crescimento é comumente denominada madeira juvenil, e a outra madeira adulta. Para se avaliar a proporção e as variações existentes entre esses dois tipos de madeira, é necessário, no caso dos eucaliptos, que a amostragem seja conduzida ao nível do DAP no sentido radial do tronco.

A análise da variação de *E. grandis* aos 15 e 20 anos (15), demonstra que a densidade da madeira próxima à medula era da ordem de  $0,390 \text{ g/cm}^3$ , havendo uma ligeira tendência para decréscimo nos primeiros 3 cm, seguida por um aumento pronunciado na proximidade da casca ( $0,500 \text{ g/cm}^3$ ). Para as árvores analisadas encontraram-se variações classificadas como mis uniformes, essa variação era da ordem de  $0,160 \text{ g/cm}^3$ .

Em nossas plantações comerciais de *E. grandis*, nas idades de 11 a 16 anos, foram estudadas as variações radiais em função das classes diamétrais à que pertenciam as árvores (10). Para as classes diamétrais de 14 a 38 cm, as diferenças entre a densidade da madeira próxima à casca e da medula foram de ordem de  $0,084 \text{ g/cm}^3$  a  $0,242 \text{ g/cm}^3$ .

Quando as árvores são classificadas em função da sua densidade básica média (gráficos n<sup>o</sup>s 1, 2 e 3), pode-se notar que a variabilidade existente será função da espécie. Por outro lado, como demonstram os gráficos, as classes de menor densidade tendem a produzir densidade menor em todas as posições radiais consideradas.



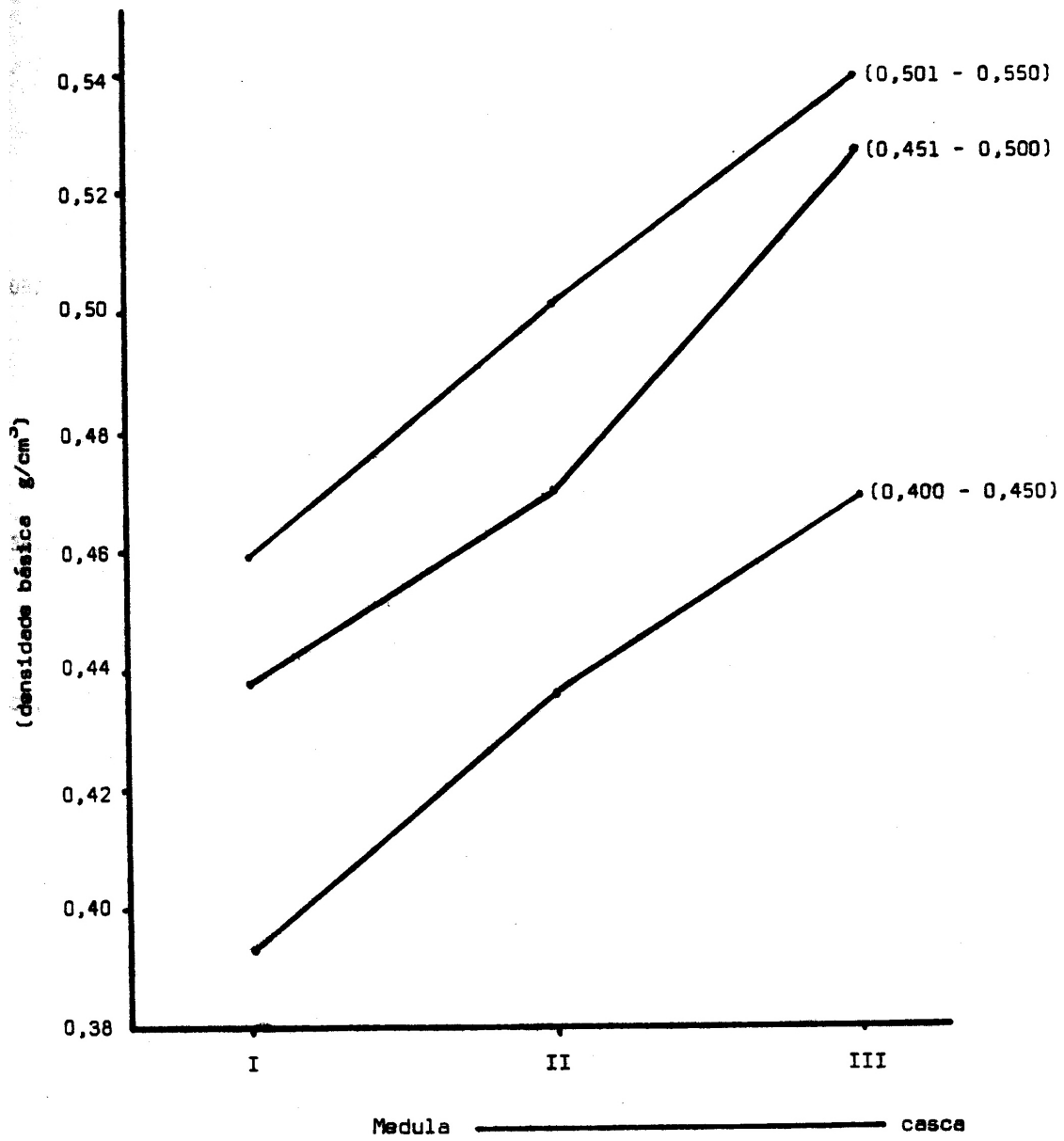
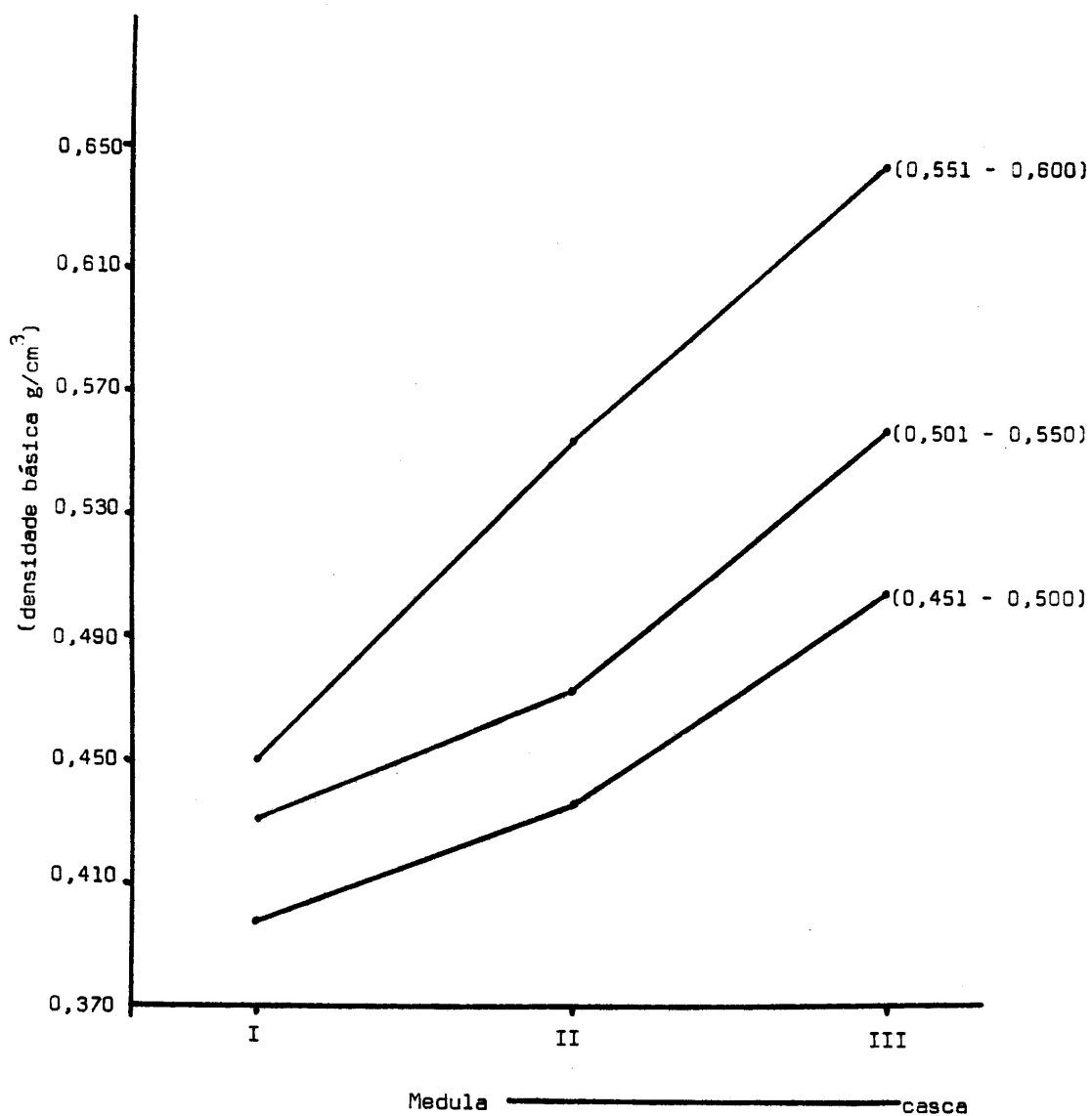


Gráfico I: Variação da densidade básica no sentido casca-medula de *Eucalyptus grandis*, em função das classes de densidade básica média.



**Gráfico II.** Variação da densidade básica no sentido casca-medula de *Eucalyptus pilularis*, em função das classes de densidade básica média.

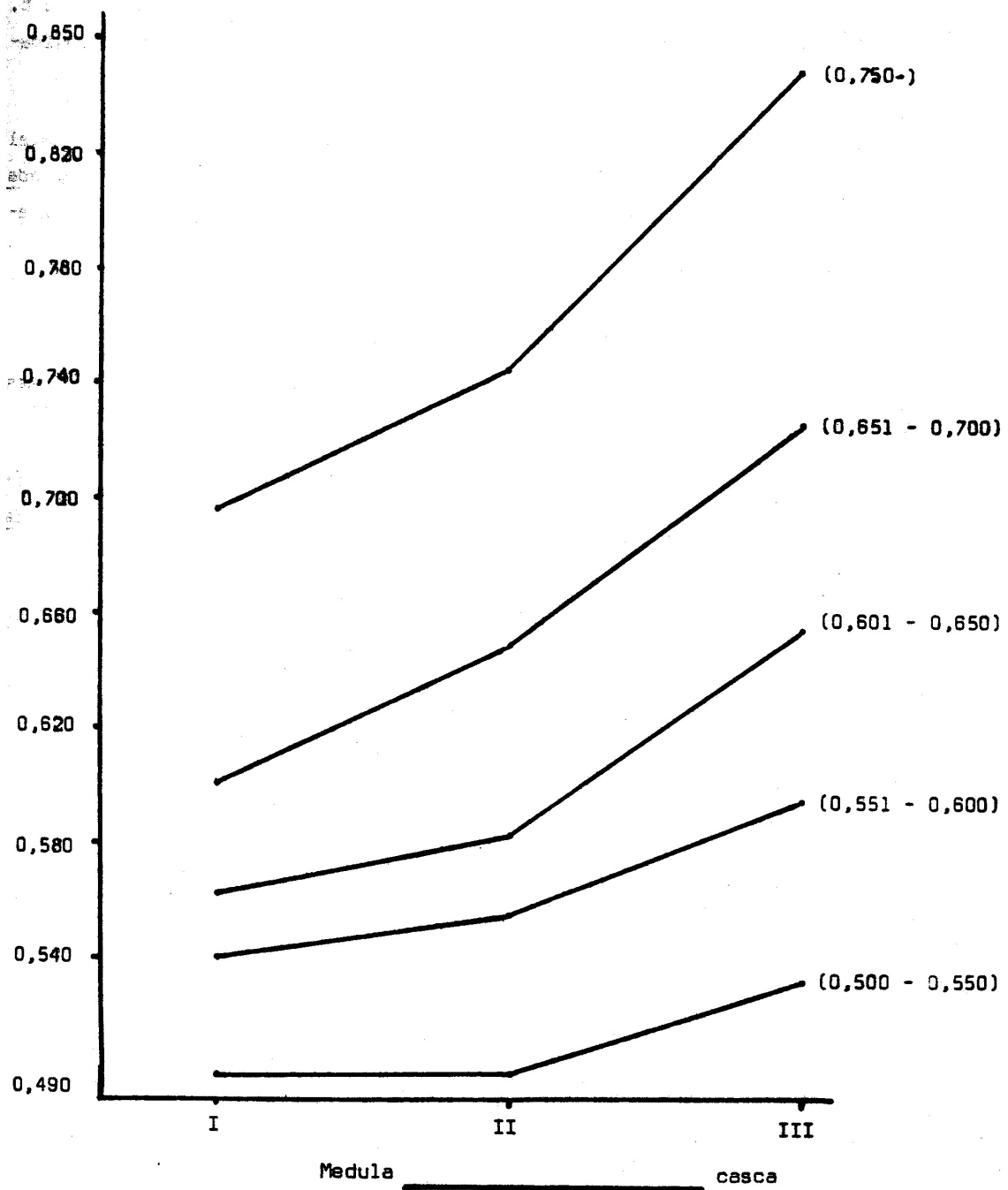


Gráfico III. Variação da densidade básica no sentido casca-medula de *Eucalyptus maculata*, em função da densidade básica média.

Essa tendência reveste-se de alta importância para o melhoramento genético da densidade. Para as espécies *E. grandis*, *E. pilularis* e *E. maculata* é possível serem selecionadas árvores de alta ou baixa densidade, desde os estágios iniciais de crescimento.

Considerando-se que as variações existentes no sentido radial estão associadas às variações nas características das fibras e as propriedades físicas da madeira, mais importante torna-se ainda a condução, dos programas de melhoramento. (4)

## IX. CONCLUSÕES

Com base na revisão efetuada pode-se estabelecer as seguintes conclusões gerais:

- a) há necessidade de estudos mais aprofundados em relação à densidade básica da madeira das espécies potenciais para as áreas ecológicas do Estado de São Paulo.
- b) As conclusões dos estudos efetuados em populações estabelecidas com sementes de origem híbrida só se aplicam para aquelas populações. Para as populações estabelecidas com sementes de origem Australiana deverão ser ampliados os estudos básicos para o melhoramento genético.
- c) A densidade da madeira das principais espécies de eucaliptos tende a crescer no tronco em função da altura.
- d) A densidade da madeira variou em função das condições ecológicas nas populações híbridas. Para as populações de *E. grandis* estabelecidas com sementes procedentes da Austrália essa tendência não foi verificada.
- e) Para o *E. urophylla*, *E. grandis*, *E. propinqua* e *E. saligna* a densidade varia em função da idade. Essa variação é pronunciada para o *E. urophylla*, *E. propinqua* e *E. saligna* sendo menos pronunciada para o *E. grandis*.
- f) Os estudos da variação da densidade em função da procedência das sementes, em *E. grandis*, *E. botryoides*, *E. dunnii*, *E. deanei*, *E. saligna* e *E. pilularis* que as respostas são função da distribuição natural da espécie. Para o *E. grandis* a procedência de Atherton (Queensland) poderá ser material genético importante para melhoria da densidade. Para o *E. pilularis* a ex-variedade pyriformis (*E. pyrocarpa*) poderá ser também importante. A maioria dos estudos encontrou limitações no número de procedências, O estudo da variação da densidade em função da procedência das sementes deverá ser ampliado para fornecer bases ao programa de melhoramento.
- g) Para o caso do *E. grandis* a taxa de crescimento não afetou a densidade da madeira. Nas populações híbridas de *E. saligna* e *E. grandis* há uma tendência para o aumento da densidade em função do diâmetro das árvores.
- h) Existe alta variação individual na densidade da madeira dos eucaliptos. Essa variação é maior que a variação encontrada entre populações de diferentes procedências, localidades ecológicas ou dentro de localidade.
- i) Há possibilidade de se selecionar árvores com alta taxa de crescimento e densidade baixa ou alta.
- j) A densidade aumenta pronunciadamente no sentido medula casca. Árvores com densidade média alta tendem a produzir madeira de maior densidade durante todo o seu crescimento. Tal fato permite abreviar a seleção.
- k) A densidade deverá ser um dos critérios mais importantes no estudo da avaliação de métodos de manejo, economicidade das plantações, etc. Deverá ser também um importante

critério de seleção desde que as indústrias possam, conjuntamente com o setor florestal, definir as características básicas da madeira à ser produzida.

#### X. BIBLIOGRAFIA

- (1) *BANCKS, C.H.* 1954. The mechanical properties of timbers with reference to those grown in the Union Of South Africa. *J. S. Afr. For.* (24): 44-65.
- (2) *BARRETT, R.L.; CARTER, D.T. e SEWARD, B. R. T.* 1975. *Eucalyptus grandis* in *Rhod. Bull. For. Res* (6):1-87.
- (3) *BRASIL, M. A. M., VEIGA, R.A.A. e FERREIRA; M.* 1976. Densidade básica média da árvore do nível do D.A.P. de *Eucalyptus propinqua*. Deane ex Maiden. *Ciência e Cult.* São Paulo. 28 (7): 414.
- (4) *BRASIL, M. A. M. e FERREIRA, M.* 1972. Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden ao nível do D.A.P. - Análise Preliminar *IPEF*. Piracicaba (5): 81-90.
- (5) *BRASIL, M. A. M.; VEIGA, R. A. A. e FERREIRA, M.* 1977. Variação da densidade básica nas seções transversais do caule da base do tronco para a copa do Eucalipto, *IPEF*, Piracicaba (15): 73-89.
- (6) *CHAMPION PAPEL E CELULOSE S.A.*, 1976. As variações da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* sp em função da espécie, idade, posição na árvore e a qualidade local. Setor Pesquisa Florestal. 37p. (Relatório não publicado).
- (7) *DURATEX INDUSTRIA E COMERCIO S.A.*, 1978 Experimentos com *Eucalyptus* sp na Região de Salto (São Paulo). Setor de Pesquisa Florestal. (Relatório não publicado).
- (8) *EM DISCUSSÃO* as influências na qualidade da madeira, 1978. *O papel*, 39: 31-2.
- (9) *FERREIRA, M.* 1968. Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus saligna* Smith. Piracicaba, ESALQ. 72p. (Tese - Doutorado).
- (10) *FERREIRA, M.* 1970. Estudo da variação da densidade básica da madeira de povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Piracicaba, ESALQ, 62 p. (Tese - Livre Docência).
- (11) *FERREIRA, M.* 1973. Variação da densidade básica da madeira de plantações comerciais de *E. alba* Reinw (*E. urophylla* S.T. Blake) *E. saligna*. Smith. e *E. grandis* Hill ex maiden. *O papel*, 34: 151-7, Dez.
- (12) *FREITAS, E. R., FERREIRA, M. e BORGES, C. P.* 1972, Estudos das variações botânicas em povoamentos de *Eucalyptus alba* Reinw. *Eucalyptus saligna*

Smith, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus propinqua* Deane and Maiden. *IPEF*, Piracicaba, (4): 117-134.

- (13) MORA, L. A., VALERI, S. V., FERREIRA, M. e KAGEYAMA, P. Y. 1978. Bases para o melhoramento genético da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. *IPEF, Bol. Inf.* 6 (19): 53-62.
- (14) PAZSTOR, U. P.C. 1974. Teste de Procedência de *Eucalyptus pilularis* sm na Região de Mogi-Guaçu. *IPEF*, Piracicaba. (8): 69-93.
- (15) TAYLOR, F. W. 1973. Anatomical wood properties of South African Grown *Eucalyptus grandis*. *J. S. Afr. For.* (84): 20-4.
- (16) VILLIERS, A. M. de, 1973. Utilization problems with eucalypts in South Africa. Proc. IUFRO-5 meeting 22 september - 12 October. 1973. Republic South Africa, Papers, 2: 238-255.

A VARIAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE Eucalyptus spp, EM  
FUNÇÃO DA IDADE E QUALIDADE DE LOCAL

Carlos A. Ferreira<sup>\*</sup>  
Manoel de Freitas<sup>\*\*</sup>  
Mário Ferreira<sup>\*\*\*</sup>

SUMMARY

In this paper is related the results obtained for the wood basic density variations observed as a function of different ages and site conditions. It is also presented a linear regression equation expressing the variation of the wood basic density as the age increases from two to nine years old.

It also could be concluded that lower annual volume increments are responsible by higher wood density of the populations.

I. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho, executado pelo Departamento de Silvicultura da E.S.A.L.Q, Departamento Florestal, da CHAMPION Papel e Celulose S.A., e Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), foi estabelecer os níveis de variação que a densidade básica da madeira, possa sofrer como função de alterações de técnicas de manejo, idade e da qualidade de local.

A densidade básica é sem dúvida um dos mais importantes parâmetros para a avaliação da qualidade da madeira. Correlaciona-se com uma série de outras propriedades, como por exemplo o rendimento industrial no fabrico de celulose e papel, e as propriedades físico-mecânicas. Pode em última usada para determinar os fins para os quais a madeira possa ser utilizada.

Nos estudos de melhoramento e genética florestal, a densidade por ser um caráter herdável, vem sendo empregada como índice de seleção de árvores matrizes. As variações populacionais, entre e dentro de indivíduos, e suas causas servem de base para o estabelecimento do manejo adequado a uma determinada utilização. Os planos de corte, por outro lado devem levá-la em consideração, pois o rendimento gravimétrico relaciona-se diretamente com esta.

II. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

No gênero Eucalyptus as espécies variam muito entre si considerando-se as características físicas e anatômicas da madeira FOELKEL, BARRICHELLO & MILLANEZ (1975) demonstram ocorrer o aumento da densidade básica, em função da idade do povoamento florestal. Igual comportamento pode ser observado para o comprimento, largura e espessura da parede das fibras (Quadro I).

---

\* Assessor do Programa Nacional de Pesquisa Florestal (DTC-EMBRAPA/IBDF)

\*\* Gerente do Deptº Florestal – CHAMPION Papel e Celulose S.A.

\*\*\* Curso Engenharia Florestal – ESALQ/USP (Professor Adjunto)

A variação da densidade, no sentido de ser mais elevada, como o aumento da idade das árvores, deve-se ao fato de que o lenho tardio, formado pelas angiospermas, ter densidade mais elevada e maior comprimento de fibras, BISSET & DADSWELL (1949), (1950), BISSET, DADSWELL & AMOS (1950), QUEENSLAND DEPT. OF FORESTRY (1940).

No caso de Eucalyptus camaldulensis, CURRO (1957), a densidade básica cresce direta e positivamente em função da altura no fuste, e em direção ao câmbio. O crescimento da densidade em função da altura foi confirmado em nossas condições por FERREIRA (1970), (1971) e (1972), cujos dados são apresentados no Quadro II.

Trabalhos como de SUSMEL (1952), (1953) e (1954) relatam para Eucalyptus camaldulensis, que a densidade da madeira é função inversa da taxa de crescimento e da fertilidade do solo. Em geral segundo o mesmo autor, a densidade também decresce com o aumento da taxa de crescimento em altura.

A taxa de crescimento diametral, segundo SUSMEL (1953), (1954), é inversamente proporcional a densidade básica, desde que consideremos para tanto a mesma faixa de altura, média. Neste aspecto dados obtidos por FERREIRA (1971) e (1972) tenderam a mostrar acréscimos em densidade diretamente proporcionais ao crescimento diametral. Por outro lado, ainda FERREIRA (1971), analisando o comportamento das espécies mais plantadas no Estado de São Paulo, concluiu ser a densidade menos elevada, em região mais fértil e conseqüentemente com maior taxa de crescimento anual, observar o Quadro III. O material analisado nos trabalhos citados FERREIRA (1971) e (1972), comprovadamente apresentavam elevada taxa de hibridações interespecíficas.

QUADRO I – Dimensões das fibras e densidade básica de madeira de Eucalyptus spp. FOELKEL, BARRICHELO & MILLANEZ (1975)

Espécie	Idade (Anos)	Fibra		Espessura de Parede ( $\mu$ )	Densidade Básica g/cm <sup>3</sup>
		Comprimento (mm)	Largura ( $\mu$ )		
<u>E. saligna</u>	8	0,759	15,77	4,61	0,530
<u>E. saligna</u>	13	0,945	18,44	5,22	0,610
<u>E. paniculata</u>	6	0,871	16,72	6,02	0,680
<u>E. paniculata</u>	10	0,938	16,94	6,16	0,721
<u>E. citriodora</u>	7	0,915	15,50	5,37	0,637
<u>E. citriodora</u>	13	0,943	15,89	5,74	0,738
<u>E. maculata</u>	7	0,885	17,15	4,51	0,647
<u>E. tereticornis</u>	7	0,828	14,80	4,23	0,512
<u>E. grandis</u>	7	1,060	18,60	3,20	0,581
<u>E. robusta</u>	6,5	1,070	19,00	3,40	0,452
<u>E. viminalis</u>	11	1,130	16,80	3,40	0,512
<u>E. decaisneana</u>	3	0,907	18,70	3,50	0,466
<u>E. globulus</u>	4	1,030	17,30	3,40	0,479



QUADRO II – Variação da densidade básica em função da altura de amostra na árvore. FERREIRA (1970), (1971) E (1972).

Espécie	Altura na Árvore (m)					
	1,30	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00
<u>Eucalyptus saligna</u>	0,532	0,532	0,532	0,579	0,543	0,547
<u>Eucalyptus alba</u>	0,555	0,558	0,564	0,550	0,573	0,574
<u>Eucalyptus grandis</u>	0,528	0,538	0,552	0,559	0,566	0,573

QUADRO III – Densidades básicas obtidas, para as condições ecológicas de Mogi-Guaçu e Itupeva, para as espécies mais comuns de Eucalyptus (aos 5 anos de idade). FERREIRA (1971).

Espécie	Densidade Básica em g/cm <sup>3</sup> para	
	Itupeva	Mogi Guaçu
<u>Eucalyptus alba (urophylla)</u>	0,528	0,546
<u>Eucalyptus saligna</u>	0,454	0,545
<u>Eucalyptus grandis</u>	0,409	0,527

### III. MATERIAL E MÉTODOS

#### III.1 – Material

Para este estudo foram consideradas as espécies mais plantadas em regime extensivo no Estado de São Paulo. Inclui todas as faixas etárias disponíveis, nos plantios da CHAMPION Papel e Celulose S.A., regiões de Mogi Guaçu, Casa Branca e Aguai, o Quadro IV resume a amostragem executada.

Espécies	Procedência das Sementes	Idades Amostradas em Anos
<u>Eucalyptus urophylla</u>	Rio Claro	7, 8, 9
<u>Eucalyptus saligna</u>	Rio Claro	3, 5, 6, 7, 8
<u>Eucalyptus grandis</u>	Rio Claro	3, 4, 5, 7, 9
<u>Eucalyptus saligna</u>	Austrália (Coff's Harbour)	3, 5
<u>Eucalyptus grandis</u>	Austrália (Coff's Harbour)	2, 5, 6

Dentro das idades disponíveis, a amostragem procurou incluir a maior variação possível de potenciais de crescimento.

#### III.2 – Métodos

A amostra constitui de uma bagueta Pressler, segundo preconizado pro FERREIRA (1970). Para cada população espécie, idade e potencial de crescimento foram amostradas trinta árvores: a determinação da densidade básica foi efetuada com o uso do método do máximo teor de umidade SMITH (1954) FOELKEL, BRASIL & BARRICHELO (1971) ABCP-M 14/70.

O potencial de produtividade dos povoamentos foi estimado segundo o proposto por FERREIRA (1978).

#### IV. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

##### IV.1 – Variação da densidade da madeira em função do aumento da idade dos povoamentos do *Eucalyptus* spp

Os resultados obtidos, nas condições deste trabalho, permitem que se afirme que a densidade da madeira de *Eucalyptus* spp, cresce positiva e linearmente em função da idade, pelo menos até o nono ano após o plantio (Quadro V e Gráfico I).

A variação da densidade, pode ser expressa pela equação de regressão.

$$Y = 0,362 + 0,002254 x$$

Onde

Y = densidade básica ao nível do DAP em g/cm<sup>3</sup>

X = idade do povoamento em anos

A aplicação da equação anterior é válida para povoamentos com produtividade média estimada de 30 estereos/ha ano, na idade de sete anos.

A constatação e quantificação dos valores de densidade assumidos pela madeira, em função da idade cronológica, permitem estimativas do crescimento em peso de madeira, nos povoamentos florestais. Estas indicações demonstram claramente, que em função apenas do manejo, estipulando idades de corte mais elevadas, é possível, se aumentar o rendimento em peso povoamentos. A associação dos parâmetros de crescimento volumétrico e crescimento em peso, ao lado da finalidade a que se destina o produto florestal, devem nortear as decisões de manejo de forma mais segura.

Há necessidade, por outro lado, de estudos complementares, englobando idades mais elevadas e potenciais diversos de crescimento, para o estabelecimento de equações aplicáveis a uma maior gama de situações.

QUADRO V – Variação da densidade básica da madeira, ao nível do D.A.P., em função da espécie e idade de *Eucalyptus* spp.

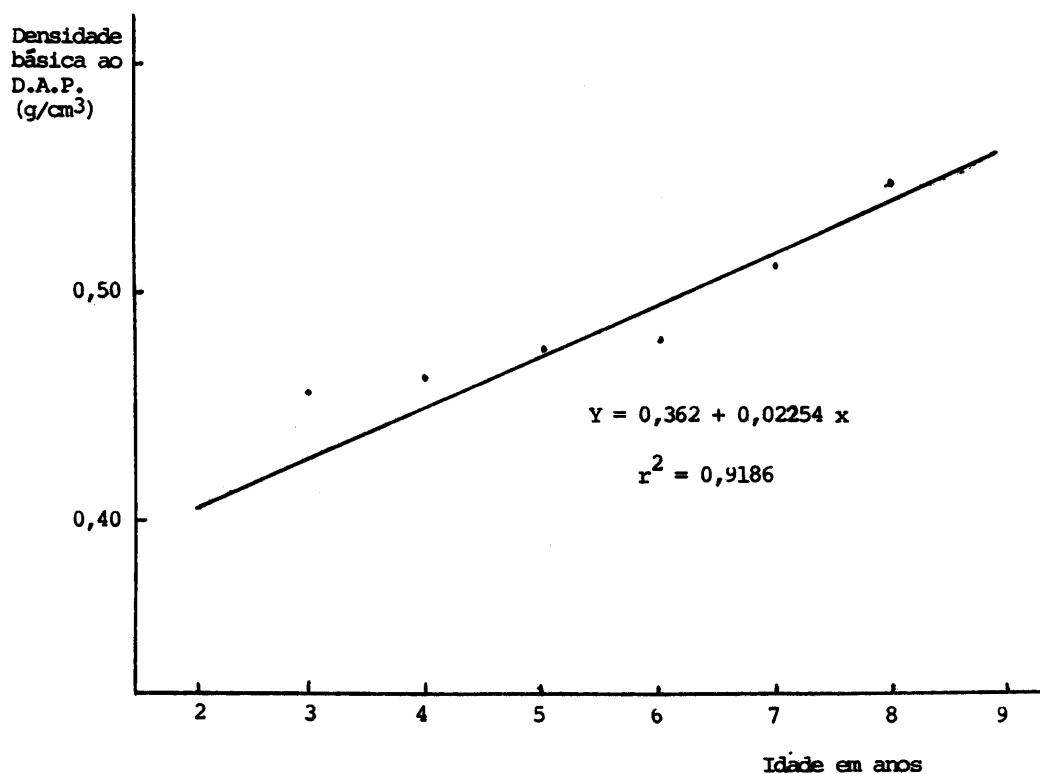
Espécie	Procedência	Idade em Anos							
		Densidade ao Nível do D.A.P. em g/cm <sup>3</sup>							
		2	3	4	5	6	7	8	9
<i>E. urophylla</i>	Rio Claro	-	-	-	-	-	516	534	563
<i>E. saligna</i>	Rio Claro	-	-	-	488	512	504	566	576
<i>E. grandis</i>	Rio Claro	-	430	464	483	-	518	-	560
<i>E. saligna</i>	Austrália	-	482	-	471	-	-	-	-
<i>E. grandis</i>	Austrália	384	-	-	458	443	-	-	-
Média Geral		384	456	464	475	477	513	550	566

#### IV.2 – Varição da densidade da madeira em função do crescimento diametral

A análise dos dados referentes à variação da densidade com função do crescimento diametral, mostra a tendência de aumento da mesma, mas para sementes comerciais de Rio Claro (Quadro VI, Gráfico II). Por outro lado, para o caso das sementes reintroduzidas da Austrália, não se observa qualquer tendência, a não ser o decréscimo acentuado para as árvores de diâmetros superiores a 17m. (Quadro VII e Gráfico III).

Há portanto uma aparente contradição. Para o caso de sementes comerciais, a densidade tende a crescer em função do aumento diametral, o mesmo não ocorrendo para as espécies cujas sementes foram reintroduzidas da Austrália. Entretanto, a elevada taxa de hibridação interespecífica natural, que ocorre no caso das sementes de Rio Claro, FERREIRA (1971), (1972), pode explicar a presença de indivíduos de elevado potencial de crescimento, aliado à formação de madeira de densidade elevada. A literatura apresenta trabalhos que comprovam o decréscimo de densidade básica em função do aumento da taxa de crescimento e da fertilidade do solo SUSMEL (1952), (1953) e (1954), o que em nosso meio era discutível. Acreditamos, embora trabalhos mais conclusivos devam ser encaminhados, que as razões acima apresentadas possam explicar o problema.

GRÁFICO I – Variação da densidade básica da madeira, em função da idade para Eucalyptus spp e para o crescimento médio estimado de 30 estereos/ha ano na idade de sete anos.



#### IV.3 – Variação da densidade da madeira em função da produtividade dos povoamentos florestais.

Os dados obtidos, para as condições deste trabalho, permitem afirmar que a densidade da madeira é função inversa do potencial de crescimento populacional. Aos menores potenciais de crescimento, associa-se a produção de madeira de maior densidade. Estes dados confirmam os trabalhos de SUSMEL (1952), (1953) E (1954) e FERREIRA (1971).

A observação dos dados apresentado no Quadro VIII, nos demonstram que para uma mesma idade, a densidade básica da madeira pode ser sensivelmente mais elevada, desde que as taxas de crescimento populacional seja mantidas em níveis baixos.

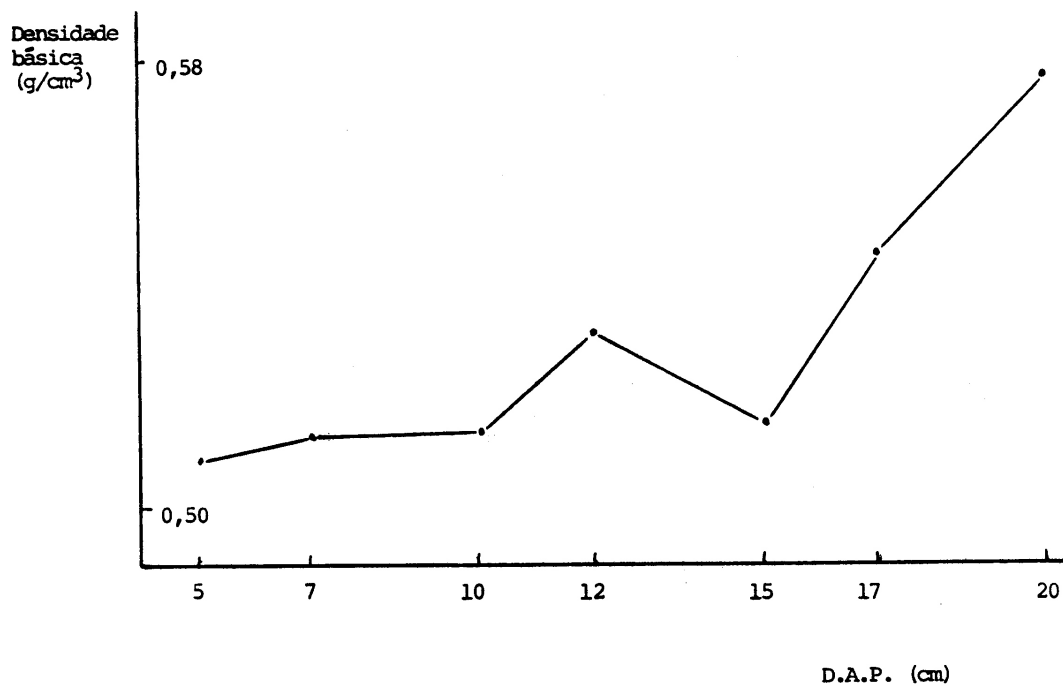
Estudos mais detalhados são necessários para o conhecimento da natureza exata da variação, e a quantificação da mesma. A medida que estes conhecimentos forem se tornando disponíveis, as previsões de crescimento e produção em peso dos povoamentos florestais poderão ser executadas com um grau maior de precisão.

A possibilidade do aumento do rendimento em peso dos povoamentos florestais, talvez possa ser conseguida através de técnicas adequadas de manejo, que condicionem baixo crescimento individual, associado a aspectos econômicos, que em última análise devem credenciar o manejo adotado, poderá nos fornecer opções mais seguras para o ordenamento florestal, e decisões mais adequadas tendo em vista a qualidade desejada para o produto florestal.

QUADRO VI – Variação da densidade básica, ao nível do D.A.P., como função do crescimento em diâmetro, para Eucalyptus urophylla, Eucalyptus saligna e Eucalyptus grandis, sementes comerciais, originárias de Rio Claro, Estado de São Paulo.

Espécie	D.A.P. (cm)							Idade (Anos)
	Densidade Básica do D.A.P. (g/cm <sup>3</sup> )							
	5	7	10	12	15	17	20	
<u>E. urophylla</u>	498	0,521	0,503	549	495	-	-	7
	518	510	541	553	479	-	578	8
<u>E. saligna</u>	564	-	582	577	569	580	-	8
	486	509	489	448	514	-	-	7
	517	517	485	505	541	538	-	6
<u>E. grandis</u>	472	500	489	500	512	-	-	5
	-	524	502	589	500	516	-	5
Médias Gerais	509	513	513	531	515	545	578	

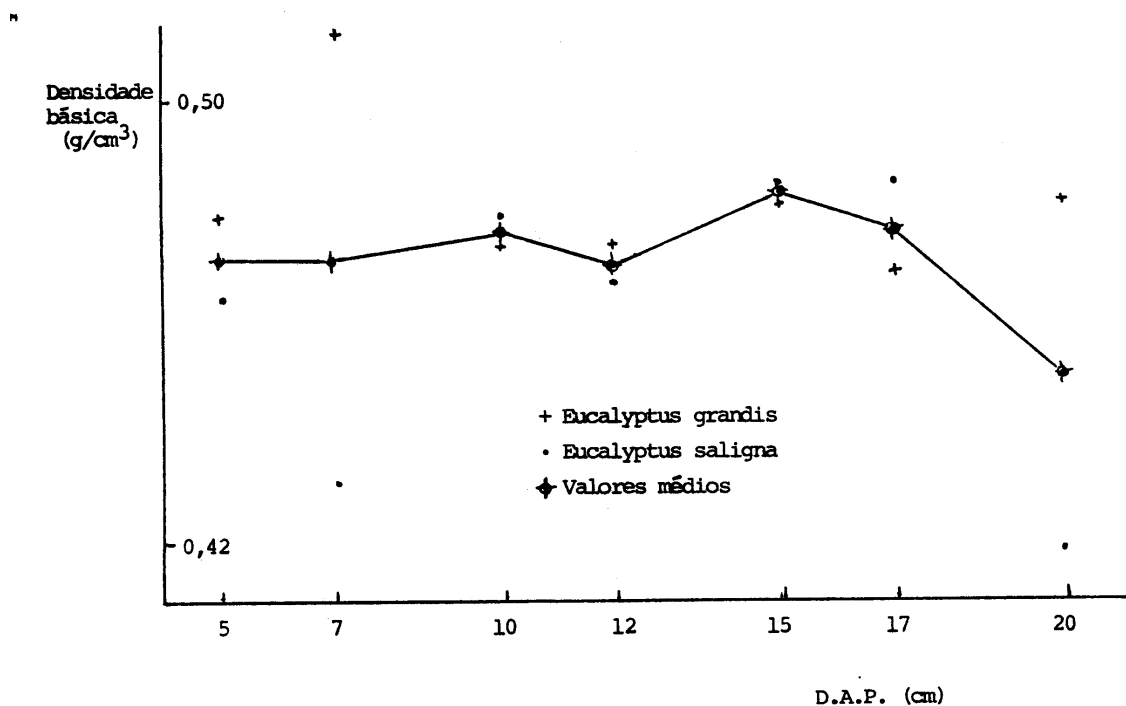
GRÁFICO II – Variação da densidade básica da madeira de Eucalyptus urophylla, Eucalyptus saligna e Eucalyptus grandis, sementes comerciais, originárias de Rio Claro em função do diâmetro a altura do peito.



QUADRO VII – Variação da densidade básica, ao nível do D.A.P., como função do crescimento em diâmetro, para Eucalyptus grandis e Eucalyptus saligna, sementes originárias de Coff's Harbour, Austrália.

Espécie	D.A.P. (cm)							Idade (Anos)
	Densidade Básica do D.A.P. (g/cm³)							
	5	7	10	12	15	17	20	
<u>E. grandis</u>	-	494	466	457	501	-	-	4
	479	-	468	474	437	455	-	5
	-	-	444	455	465	456	430	5
	-	530	513	509	525	497	535	6
	-	511	476	473	484	-	-	6
<u>E. saligna</u>	464	482	489	462	-	498	-	5
	-	380	469	472	485	473	419	5
Médias Gerais	471	471	476	470	483	477	450	

GRÁFICO III – Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, sementes originárias de Coff's Harbour, Austrália, em função do diâmetro à altura do peito.



QUADRO VIII – Variação da densidade da madeira, como função do potencial de crescimento para povoamentos de *Eucalyptus spp.*

Potencial de Crescimento ST/HA ano	Idade (anos)							
	Densidade ao Nível do DAP (g/cm³)							
	2	3	4	5	6	7	8	9
11,00 – 20,00	-	0,495	0,464	0,488	-	-	-	-
21,00 – 30,00	-	-	-	0,482	-	0,512	0,550	-
31,00 – 40,00	0,384	0,430	-	0,475	0,512	-	-	0,582
41,00 – 50,00	-	-	0,443	0,458	0,440	-	-	-

## V. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta os resultados de estudos da densidade básica da madeira de *Eucalyptus spp.*, como função de idade, diâmetro e condições de crescimento populacional.

Em função da análise dos dados obtidos foi possível chegar-se às seguintes conclusões:

- A densidade básica da madeira de Eucalyptus urophylla, Eucalyptus grandis e Eucalyptus saligna, cresce positiva e linearmente em função da idade, pelo menos no intervalo de dois a nove anos.
- A tendência de acréscimo da densidade, como função do desenvolvimento em diâmetro, só foi observada para as populações oriundas de sementes de Rio Claro. Esse fato provavelmente se deva as hibridações interespecíficas, que dependendo das espécies envolvidas, pode acarretar maior vigor associado a maior densidade da madeira.
- A variação da densidade observada como função do incremento médio anual populacional, permitiu concluir-se que populações com incrementos menores, condicionam a produção de madeira de maior densidade básica média. Assim, a menores crescimentos corresponde maior densidade da madeira produzida.

### BIBLIOGRAFIA

1. BISSET, I.J.W., and DADSWELL, H.E. – 1949 – The variation of fibre-length within one tree of Eucalyptus regnans, F.v.M. Australian Forestry, 13: 86-96.
2. BISSET, I.J.W., and DADSWELL, H.E. – 1950 – The variation in cell length within one growth ring of certain angiosperms and gymnosperms – Australian Forestry 14: 17-29
3. BISSET, I.J.W., DADSWELL, H.E. and AMOS, G.L. – 1950 – Changes in fibre-length within one growth ring of certain angiosperms. Nature, 165: 348.
4. CURRO, P. – 1957 – Variations in moisture content and basic density of 15 trees of Eucalyptus camaldulensis Dehn – Pubb. Centro Sper. Agr. Forestale 1: 227-238 (Engl. Summ)
5. FERREIRA, C.A. – 1978 – Inventário em Florestas de Eucalyptus e Projeções de Crescimento. I Simpósio sobre Inventário Florestal – IPEF – B. Inf. v.4, n° 17 – pg 23-39
6. FERREIRA, M. – 1970 – Estudo da variação da densidade básica da madeira de Eucalyptus alba Reinw e Eucalyptus saligna Smith. IPEF ver. Div. Cient. n° 1, pg 83-96.
7. FERREIRA, M. – 1971 – Variação da densidade básica da madeira de Eucalyptus alba Reinw, Eucalyptus saligna Smith e Eucalyptus grandis Hill ex Maiden aos 5 anos de idade em função do local e do espaçamento – IPEF, Ver. Div. Cient. n° 2/3, pg 130-149.
8. FERREIRA, M. – 1972 – Variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden, nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos – IPEF, Ver. Div. Cient. n° 4, pg 65-89.
9. FOELKEL, C.E.B., L.E.G. BARRICHELO, A.F. MILANEZ (1975) – Estudo comparativo das madeiras de Eucalyptus saligna, Eucalyptus paniculata, Eucalyptus

citriodora, Eucalyptus maculata, Eucalyptus tereticornis, para a produção de celulose sulfato – Univ. São Paulo – Dept<sup>o</sup> de Silv. – ESALQ – Setor de Tec. Da Mad. Piracicaba S.P. – 83pp.

10. FOELKEL, C.E.B., M.A.M. BRASIL, L.E.G. BARRICHELO – 1971 – Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas – IPEF – Ver. Div. Cient. n<sup>o</sup> 2/3, pg 65-74.
11. QUEENSLAND Department of Forestry – 1940 – Timber quality of Young Eucalypts – Queensland Dept. Forestry, News Letter n<sup>o</sup> 23: 10-11.
12. SMITH, D.M. – 1954 – Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples – v.s. Forest Products Laboratory Report n<sup>o</sup> 2014, 8p.
13. SUSMEL, L. – 1952 – Density of Eucalyptus rostrata wood – from the Agro Pontino – Monti e Boschi 3: 75-78.
14. SUSMEL, L. – 1953 – The specific gravity of Eucalyptus rostrata Schlencht wood from Pontine Campagna – Ital. For. E Monti. 8: 222-227.
15. SUSMEL, L. – 1954 – Le poids spécifique du bois d'Eucalyptus camaldulensis par rapport à quelques facteurs relatifs à l'individu et au milieu – Intern. Union For. Research Organillth Congr. Rome 1953 – 1065-1075.



## **EFEITOS DA FERTILIZAÇÃO NA QUALIDADE DA MADEIRA**

*Walter Sales Jacob*<sup>\*</sup>  
*Edson Antonio Balloni*<sup>\*\*</sup>

### **1. INTRODUÇÃO**

A silvicultura moderna tem como meta prioritária o acréscimo volumétrico da produção para atender as demandas cada vez maiores de madeira. A escolha acertada das espécies a serem plantadas, tanto do ponto de vista florestal como industrial, reveste-se de máxima importância no que tange à necessidade de se procurar uma perfeita adequação da espécie com o processo a ser empregado em função do uso final da madeira a ser obtida.

A elaboração de um programa de aplicação da madeira que será obtida deve ser alicerçado em um bom conhecimento da qualidade da madeira para seu fim específico.

O presente trabalho visa relatar resultados encontrados na literatura sobre os efeitos da fertilização na qualidade da madeira e que possam servir de subsídios à condução de programas em nosso meio.

### **2. USO DE FERTILIZANTES**

Com vistas à obtenção, uma maior produtividade nas florestas que vem sendo implantadas, em nosso meio, a fertilização florestal aliada à utilização de sementes melhoradas tem ocupado papel de real destaque.

Em trabalhos conduzidos pelo IPEF, dependendo da qualidade do site, tem se obtido incrementos de 25 a 80% na produtividade das florestas, somente com a utilização de fertilizantes.

Em 1968 época do início dos trabalhos do IPEF a produção média das florestas de eucalipto no Estado de São Paulo era de 25 st/ha/ano. Já em 1975, aliando fertilização e sementes geneticamente superiores, a produtividade média passou a 35 st/há/ano (madeira sem casca até 6 cm de diâmetro, tendo sido observados povoamentos com até 60 st/ha/ano.

Para coníferas, até o momento, os trabalhos conduzidos em nosso meio não têm apresentado resultados conclusivos, sendo algumas vezes contraditórios, embora, tenha se conseguido para alguns casos, através do uso de fertilizantes, aumentos de 20% na produtividade. Por este fato, até agora, a utilização de fertilizantes em coníferas não está muito bem definida.

Deve-se ressaltar que a literatura tem relatado os efeitos significativos da fertilização no aumento de produtividade para várias espécies de coníferas.

### **3. MADEIRA PARA CELULOSE E PAPEL**

A madeira proveniente de florestas implantadas no Brasil, basicamente eucalipto e pinus, têm tido como finalidade básica o suprimento de matéria prima para celulose e papel, chapas, carvão vegetal e em menor escala para serraria. Cada uma delas, apresentam exigências no que concerne a qualidade da madeira.

---

\* Engenheiro Florestal – Coordenador Técnico do IPEF

\*\* Engenheiro Florestal – Técnico do IPEF

Até pouco tempo a preocupação básica dos florestais foi a obtenção de florestas altamente produtivas, sem que se tivesse dado a devida importância à qualidade da madeira, com vista à obtenção de um produto final.

Com a evolução das técnicas de implantação e manejo, e dos trabalhos de melhoramento florestal, hoje esta tem sido uma das maiores preocupações dos pesquisadores, que vêm procurando aliar produtividade com qualidade, visando maximizar os rendimentos que se podem obter de uma floresta.

Para o caso das indústrias de celulose e papel a qualidade da madeira é bastante importante, sendo que a maior ou menor facilidade de obtenção, bem como a melhor ou pior qualidade da matéria prima, tem uma influência decisiva para o sucesso da produção.

A maioria dos trabalhos desenvolvidos indicam o comprimento de fibras ao lado da densidade da madeira, como os principais fatores que afetam a qualidade do papel e da celulose.

A partir de 1960 verificou-se também que o diâmetro e espessura da parede das fibras influenciam significativamente muitos aspectos na produção do papel.

O conceito errôneo de que somente se obtinha papel de boa qualidade utilizando-se de coníferas, (fibra longa), está sendo alterado graças a produção de celulose de boa qualidade que varo senda obtida na América Latina e Austrália a partir de madeira de eucalipto.

Fator a que deve ser dado a devida importância na produção de celulose é a porcentagem de lenho primaveril (ou inicial) e lenho outonal (ou tardio) dos anéis de crescimento de coníferas sendo que a presença de maior porcentagem deste último é desejável devido ao fato de suas fibras possuírem parede celular mais espessa e cavidade celular menor.

Outro ponto a considerar é a formação de madeira adulta e juvenil, embora seja bastante difícil se estimar quando se inicia a formação de madeira adulta em uma árvore, *FOELKEL et alii* (13) estimaram que para *Pinu elliottii* o início de formação de madeira adulta está situado entre o 8º e 9º ano, sendo os mesmos concordantes com os dados obtidos nos EUA (42), Estudos com *Eucalyptus saligna* em São Paulo, determinaram-se que em função do comprimento de fibras e sua espessura que a maturidade se dá por volta de 9 ou 10 anos. (34).

Trabalhos desenvolvidos em Piracicaba concluem que, com a madeira juvenil tem normalmente baixa densidade, tem se dado ênfase à produção partir dela, pois, apesar de baixa rendimento e baixa resistência ao rasgo, apresenta altas resistências à tração e ao arrebentamento, (14)

#### 4. EFEITO DE FERTILIZAÇÃO NA QUALIDADE DA MADEIRA.

##### 4.1. Efeito na Densidade.

A densidade básica da madeira é uma característica complexa, resultante da combinação de diversos fatores, Existem inúmeros trabalhos mostrando sua relação com as dimensões das fibras, particularmente espessura da parede, volume das fibras e arranjo dos elementos anatômicos. bem como relação entre lenho inicial ou tardio.

A densidade é um importante fator a ser considerado na produção de celulose a ser obtida de uma determinada madeira, em termos de rendimento por digestor individual, como em termos de rendimento por unidade de volume. A velocidade de impregnação da

madeira pelo licor de cozimento e conseqüente ritmo de deslignificação são influenciados pela densidade, sendo de se esperar que dentro de uma mesma espécie, madeiras menos densas sejam mais facilmente deslignificadas, (4).

Em função da importância desta característica e da relativa facilidade em sua determinação a maioria dos trabalhos encontrados na literatura, sobre o efeito da fertilização na qualidade da madeira, referem-se à densidade.

Este estudo é relativamente recente, tendo se iniciado a partir de 1929, e até a década de 50 haviam sido publicados somente cerca de 20% dos trabalhos sobre o assunto, desenvolvidos até 1973. (8).

A maioria dos trabalhos, sobre os efeitos da fertilização na qualidade da madeira, foram desenvolvidos nos últimos 15 anos, principalmente, com coníferas de clima temperado. Os resultados encontrados por diferentes autores, trabalhando com uma mesma espécie, são muitas vezes contraditórios, o que de certa forma evidencia a complexidade do assunto e a necessidade de pesquisas mais intensivas e fundamentadas.

As alterações da densidade da madeira, estão, de alguma forma, correlacionadas com outras propriedades da mesma (39). Este fato evidencia que qualquer alteração da primeira pode ter seu reflexo nas últimas ou vice versa.

O efeito da fertilização, na maioria dos casos, promove um acréscimo na porcentagem de lenho primaveril dentro do anel de crescimento, embora algumas vezes tenha-se verificado um aumento na porcentagem de lenho outonal, Portanto, na maioria dos casos, a densidade da madeira decresceu, indicando uma possível diminuição na sua resistência. Entretanto, existem trabalhos cujos resultados foram totalmente contrários a estas afirmativas (6).

O prolongamento da formação de madeira juvenil, produto de fertilizações nitrogenadas é considerado como o principal fator que atua em detrimento da qualidade da madeira, dos pinheiros do Sul dos Estados Unidos (6), Também o uso de fertilizantes potássicos em *P. ponderosa* (18) e de fertilizantes fosfatados em *P. radiata*. (19) promoveram uma redução na densidade da madeira, tanto do lenho primaveril como do lenho outonal. Entretanto, o trabalho de Harris (19) demonstrou que o decréscimo da densidade ocorria somente até 2 anos após a aplicação do fertilizante. Posteriormente a esse período havia um acréscimo da densidade, sendo que 5 anos após a aplicação, apresentava um lenho outonal mais denso do que 5 anos antes da aplicação.

Em estudos da densidade anel por anel, e dentro dos anéis, ao nível do DAP, verificou-se que as árvores fertilizadas com NPK, apresentavam uma alteração da distribuição da densidade dentro do anel, mas, sem entretanto, reduzir a densidade média dos anéis e conseqüentemente de toda a madeira. (25).

Com relação a influência na densidade, de mais de um elemento mineral, surgem grandes controvérsias entre os diferentes autores.

Verificou-se que enquanto o uso isolado de nitrogênio diminuiu a densidade da madeira de *Pinus pinaster* (23), e o uso também isolado de Fósforo (23, 31) e de Potássio (23) não provocaram nenhuma alteração, o uso combinado do nitrogênio e do fósforo, promoveram um certo acréscimo na densidade da madeira. Também, não foi verificado nenhum efeito significativo da aplicação de fertilizantes NPK sobre a densidade média de *P. elliotii* var. *elliotii* (1, 9), enquanto, em outro ensaio, o uso isolado de nitrogênio foi mais uma vez depressivo e o do fósforo insignificante com relação à densidade. (33).

Em estudos de fertilização em *Pinus taeda*, verificou-se o efeito positivo da aplicação de N isoladamente ou em combinação com P e ou K no crescimento. Com

referência a aplicação de P e K, nas quantidades usadas, não se verificou alteração no crescimento (39). Em todos os casos, a porcentagem de lenho outonal e a densidade não foram alteradas. (39). Tais dados foram anteriormente observados por outro autor (15).

Nos trabalhos onde a densidade da madeira diminuiu sob a ação de fertilizantes minerais, os valores encontrados foram, em média, 2 a 10% inferiores aos valores da densidade média das árvores sem fertilizante.

Entretanto, a maioria dos autores são unânimes em afirmar que os acréscimos em volume de madeira proporcionado pela fertilização, compensam o decréscimo da densidade produzindo maior peso de matéria seca, quando comparado com o total de matéria seca produzido pelas parcelas não adubadas.

Um exemplo disso, pode ser observado em um trabalho, cuja adubação de *P. taeda* com 150 kg de nitrogênio por hectare e 67 kg de fósforo por hectare, promoveu um acréscimo em peso seco da ordem de 15,5%, apesar da densidade básica da madeira ter sido reduzida em  $0,05\text{g/cm}^3$  (2).

Posey (1965), citado por (41) verificou, para *P. taeda*, que o fertilizante não afeta todas as árvores com a mesma intensidade. Árvores com mais alta densidade inicial ou traqueídeos mais longos foram mais afetadas pela aplicação de fertilizantes do que as árvores de traqueídeos mais curtos ou mais baixa densidade. O mesmo autor verificou também que algumas árvores não sofreram qualquer interferência na qualidade da madeira, enquanto poucas, ao contrário da média, apresentaram maior densidade e traqueídeos mais longos como efeito da fertilização nitrogenada.

Com relação ao gênero *Eucalyptus*, (26; 3; e 19) não observaram nenhuma alteração significativa na densidade da madeira, em função da aplicação de fertilizantes NPK, apesar dos acréscimos, tanto em DAP, como em altura, terem sido altamente significativos.

#### 4.2. Efeitos no Comprimento de Fibras.

Da mesma forma que para densidades, os trabalhos que têm estudado o efeito da fertilização no comprimento de fibras, apresentam resultados contraditórios quando comparados entre si.

Alguns autores têm verificado uma redução no comprimento de fibras, ocasionado pela aplicação de Nitrogênio e Fósforo em coníferas, embora em alguns casos a redução tenha sido insignificante (9, 17, 30).

A aplicação de Potássio em *Pinus* promoveu um decréscimo no comprimento de fibras tanto do lenho outonal como do primaveril, tendo havido ainda um decréscimo na espessura das paredes das fibras do lenho outonal, ocorrendo o inverso no lenho primaveril (18).

Por outro lado, trabalhos conduzidos com *Pinus pinaster*, utilizando-se fertilização fosfatada, e em *Pinus taeda*, fertilizado com Nitrogênio e Potássio, verificou-se que embora pequeno, ocorreu em ambos os casos, aumento no comprimento de fibras (31, 23).

Para folhosas, no caso *Platanus occidentalis*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, tem se verificado que não existe influência da fertilização na comprimento das fibras. (35, 26, 10).

Para *Eucalyptus saligna*, verificou-se uma pequena redução no comprimento das fibras influenciada pela aplicação de calcário (26).

#### 4.2. Efeito em outros parâmetros

Além da densidade e comprimento de fibras foram encontrados alguns trabalhos, que levantam o efeito da fertilização em outros parâmetros, que julgamos de interesse na produção de celulose e papel.

Em estudos sobre efeito da fertilização na qualidade da madeira de *pinus*, verificou-se que o efeito não foi pernicioso tendo em alguns casos melhorado a sua qualidade, quando as árvores possuíam anéis de crescimento de 1 - 1,5 mm de largura (28). Verificou-se também que a fertilização afeta diretamente a copa da árvore e indiretamente, a formação da madeira. A qualidade da madeira muda, sendo que sua taxa de formação está ligada às respostas da copa e folhagem à fertilização. Árvores jovens tendem a responder à fertilização com a formação de maior proporção de lenho primaveril, com redução na densidade. Já em árvores maduras o efeito na porcentagem de lenho primaveril é temporário e menos pronunciado. As dimensões das fibras variam independentemente da formação do lenho primaveril ou outonal. O comprimento das fibras é apreciavelmente menor somente em árvores jovens. A composição química, porcentagem de celulose principalmente, parece não responder à fertilização. Evidenciou-se que a uniformidade da madeira dentro da árvore poderia ser maximizada pela fertilização. (21, 22)

A aplicação de Potássio em *pinus resinosa* e NPK em *Pseudotsuga menziesii* proporcionaram aumento na resistência à tração tendo sido mantidos os níveis de resistência ao rasgo e ao arrebentamento. Embora tenha se verificado uma redução na densidade, as qualidades das fibras e o papel foram melhoradas, além de um substancial aumento no crescimento. Verificou-se uma maior uniformidade dentro das árvores (16).

Outro efeito da aplicação do potássio em *Pinus* verificado foi a do aumento na largura e número de células do lenho outonal, embora a porcentagem de madeira deste tipo tenha reduzido (18).

## 5. CONCLUSÕES

Pode se deprender, pela revisão efetuada, que os resultados encontrados sobre os efeitos da fertilização na qualidade da madeira, têm sido bastante contraditórios não sendo possível prever as alterações que cada elemento poderá acarretar.

As coníferas são, de um modo geral, as que têm apresentado, com maior freqüência, alterações negativas em sua madeira, quando fertilizada com nitrogênio. Enquanto que em folhosas, tais efeitos, praticamente, não têm sido verificado.

Quanto à fertilização potássica e/ou fosfatada, não se tem verificado, em grande parte dos estudos, efeitos significativos sobre as qualidades da madeira.

Com referência aos demais macronutrientes, bem como aos micronutrientes, praticamente não existem estudos que possam mostrar qualquer tendência.

Em média, nos trabalhos levantados, verificou-se que as qualidades da madeira são mais influenciadas em sua fase juvenil do que na fase adulta.

Considerando os atuais ciclos de rotação, para *Eucalyptus*, e que a qualidade do site e o ritmo de crescimento não interferiram nas qualidades da madeira de *E. grandis*, (29) e ainda o excelente crescimento desta espécie sob a ação de fertilizantes, é fundamental que seus plantios sejam fertilizados.

As contradições sobre o referido, tão comentadas neste trabalho podem estar correlacionadas com uma série de fatores que merecem uma certa relevância quando dos estudos da qualidade da madeira. Como observado por (5), existem variações na densidade

entre procedências de uma mesma espécie. Trabalhos desenvolvidos pelo IPEF, na região Sul do Brasil, revelam para o *P. taeda*, diferenças significativas na densidade da madeira entre as procedências estudadas. Salienta-se que essas diferenças não foram correlacionadas com ritmo de crescimento. (5).

Este fato aliado as variações individuais quanto a resposta a fertilização mineral, sugerem que muitos dos resultados contraditórios, levantados nesta revisão de literatura, poderiam estar ligados a diferenças genéticas dentro de uma mesma espécie. Ainda com referência à variabilidade individual, trabalhos conduzidos pelo IPEF, mostraram altas variações na densidade da madeira de *P. taeda*. (Em Telêmaco Barba - PR de 0,386 a 0,452 g/cm<sup>3</sup>; em Canoinhas de 0,333 a 0,404 g/cm<sup>3</sup> e em Lages de 0,315 a 0,361 g/cm<sup>3</sup>), bem como na densidade da madeira de *E. grandis* (0,333 a 0,584 g/cm<sup>3</sup>) (20,29) confirmando as diferenças genéticas, e sugerindo que deveria haver um maior cuidado na amostragem a ser efetuada, quando se deseja estudar qualidade da madeira.

Também deve se ressaltar que diferenças na metodologia utilizada para determinação dos diversos parâmetros, poderiam ter colaborado nessas discrepâncias.

Os melhoristas têm sido unânimes em afirmar a alta herdabilidade encontrada para densidade e comprimento de fibras da madeira, o que nos permite uma manipulação variabilidade individual que tem sido detectada (11).

Um trabalho de melhoramento bem conduzido, poderia nos proporcionar populações com características desejáveis, que pré-estabeleceríamos, com vistas a obtenção de matéria prima para um determinado produto.

Para que se possa estabelecer uma programação com esta finalidade, é importante para os florestais, uma definição dos industriais sobre quais parâmetros, bem como sua grandeza, que seriam ideais para obtenção de um determinado produto, lembrando ser a matéria prima o fator primordial na qualidade do produto.

Disto conclui-se que até que haja uma melhor definição do que desejam os industriais, a fertilização, em que para em alguns casos tem promovido um decréscimo na qualidade da madeira, deve ser utilizada, pois ela tem melhorado a produtividade das nossas florestas, e mesmo no caso de redução da densidade, este aumento de produtividade tem compensado esta redução, com aumento do peso seco de madeira por hectare.

Aliando-se a fertilização a um programa de melhoramento e manejo, poderíamos no futuro, maximizar os rendimentos de nossas florestas e minimizar os efeitos negativos, se é que ocorrem, da fertilização.

## 6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- (1) ANONIMO, 1964. Nitrogen as na aid tropinet growth. Forest Farmer, 23 (9): 9.
- (2) ANONIMO, 1972. General special studies, Wood quality. In: Second. Ann. Rept., N.C. St. Forest fertilization Coop., N.C. St. Univ., Raleigh, N.C. p.17-23.
- (3) BARRET, R.L., D.T. CARTER e B.R.T. SEWARD, 1975. *Eucalyptus grandis* in Rhodesia. The Rhodesia Bull. Of For. Res. N° 6: 87p.
- (4) BARRICHELO, L.E.G. e J.O. BRITO, 1976. A madeira das espécies de eucalipto como matéria prima para a indústria de celulose e papel. PRODEPEF série divulgação 13: 145p.

- (5) BARRICHELO, L.E.G. et alii, 1978. Estudos de Procedências de *P. taeda* visando seu aproveitamento industrial. Boletim Informativo IPEF, Piracicaba 6(18): 1-14.
- (6) BAULE, H. e C. FRICKER, 1970. The Fertilizer Treatment of Forest Trees. Munich BLV Verlagsgesellschaft. 259p.
- (7) BENGTON, G.N. 1968. Fertilizing pine forest: does it pay? In: Proc. Symp. On planted south pines. U.S. For. Serv. Southeast Area and Piv. Forestry, Atlanta, Ga. P.4972.
- (8) CLEVELAND, M.K., J.E. WOOTEN e J.R. SAUCIER, 1974. Annotated Bibliography on the effects of fertilization on wood quality. Dpt. Of for., S. Carolina For. Res. Serv. N° 29, 53p.
- (9) DILLNER, B., 1968. Studies of wood anatomy in Scots pine given N fertilizer in the forest. Swensk Papperstidning 71(2): 56.
- (10) DONALD, D.G.M., e C.J. SCHTZ, 1977. The response of *Eucalyptus* to fertilizer application at planting. South African For. Journal, 102: 23-28.
- (11) FERREIRA, M., 1970. Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw. E *Eucalyptus saligna* Smith. IPEF, Piracicaba 1: 83-96.
- (12) FIELDING, J.M. e A.G. BROW, 1961. Tree to tree variations in the health and some effects of superphosphate on the growth and development of Monterey pine on a low quality site. Leaflet n° 79. For. And timber Bureau. Camberra, Aust. 19p.
- (13) FOELKEL, C.E.B., et alii, 1975. Variabilidade no sentido radial de Madeira de *Pinus elliottii*. IPEF. Piracicaba. 10: 1-11.
- (14) FOELKEL, C.E.B. e L.E.G. BARRICHELO, 1975. Estudo comparativo das madeiras de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus paniculata*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus tereticornis* para a produção de celulose sulfato. Seminário de Integração Floresta Industria. IPEF. Piracicaba.
- (15) FOGG, P.J. et alii, 1972. A study of a certain wood properties of young loblolly pine in a fertilized plantation. In: Abstracts, 26<sup>th</sup> Ann. Meet. For. Prod. Research Society. Madison. P.6-7.
- (16) GLADSTONE, W.T. e R.L. GRAY, 1973. Effects of forest fertilization on wood quality. In: Forest Fertilization Symp. Proc. U.S. For. Ser. Tech. Rept. NE – 3 N. E. For. Exp. Stat. Upper Darby. P.167-73.
- (17) GOODING, J.W., 1970. Effects of fertilization on crown, stem and wood properties of slash pine (*Pinus elliottii* var. *elliottii*). M.S. Thesis. Auburn Univ., Auburn, Ala. 79p.

- (18) GRAY, R.L., 1970. Effects of potassium fertilizer on the wood density and related anatomical characteristics of red pine (*Pinus ponderosa*). M.S. Thesis. St. Univ. Coll. Of Forestry at Syracuse N.Y. 123p.
- (19) HARRIS, J.M., 1966. Phosphate deficiency and wood density in radiata pine: examination with a beta ray densitometer. Forest Prod. Rept. No 187. N. Z. For. Res. Inst. Rotorua, N. Z., 11p.
- (20) KAGEYAMA, P.Y et alii, 1978. Variação na densidade básica da Madeira de árvores superiores de *P. taeda*. Boletim Informativo IPEF. Piracicaba. (6) 18: 15-19.
- (21) LARSON, P.R., 1968. Assessing wood quality of fertilized coniferous trees. In: Forest Fertilization Theory and Practice. Tenn. Valley Authority. Knoxville, Tenn. P.275-80.
- (22) LARSON, P.R., 1969. Wood formation and the concept of wood quality. Yale Univ. Sch. Of forestry Bull. N° 74. Yale Univ. New Haven, Conn. 54p.
- (23) LINNARTZ, N.E., E.T. CHOONG e P. UNDERWOOD, 1970. Diameter growth, specific gravity and tracheid length in four old loblolly pine in response to fertilization treatment. LSU Forestry Note n° 90, L a ST-Univ., Baton rouge, Lo. 4p.
- (24) McKINNELL, F.H., 1970. Wood density studies in *Pinus radiata* D. Don. Ph. D. Thesis. Aust. National Univ. Cambera, Aust. 188p.
- (25) MEGRAW, R.A. e W.T. NEARN, 1972. Detailed DBH density profile of several trees from Douglas-fir fertilizer/thinning plots. In: Proc. of the Sym. On the effect of growth Acc on the Prop. of wood. Forest Prod. Lab., Madison, Wis. P. G1-G24.
- (26) MELLO, H. do A., s/d, Efeitos da adubação mineral sobre as qualidades da madeira – ESALQ/USP. Piracicaba, 15p.
- (27) MITCHELL, H.L., 1972. Effect of nitrogen fertilizer on the growth and certain quality characteristics of sawlog size red oak, yellow-poplar and White-ash. In: Proc. of the Symp. On the effect of growth tree on the prop. of wood. Forest. Products Lab., Madison, Wis. P.J1-J15.
- (28) MULLER, G., 1969. The effect of fertilizing practice on wood quality. Soil and fert. 32: 4953.
- (29) MORA, A.L. et alii, 1978, Bases para o melhoramento genético da Densidade Básica da Madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. Boletim Informativo IPEF. Piracicaba 6(19): 53-61.



- (30) *NICHOLLS, J.W.P.*, 1971. The effect of environmental factors on wood characteristics. *Silva Genetica*. 20(3): 67-73.
- (31) *POLGE, H.*, 1969. Influence de la fertilization sur la qualite du bois de pin maritime, *Ann. Sc. Forestiere* 26(1). 45-64.
- (32) *PRITCHETT, W.L. e H.W. SMITH*, 1970. Fertilizing slash pine on sandy soils of the Lower Coastal Plain. In: C.T. Uoungberg and C.B. Davey (Ed.). *Tree growth on Forest soils*. Ore. St. Univ. Press. Corvallis, Ore. P.19-41.
- (33) *PRITCHETT, W.L. e R.K. SWINFORD*, 1961. Response of slash pine to colloidal phosphate fertilization. *Soil Sci. Soc. Proc.* 25(5): 397-400.
- (34) *SANTOS, C.F.O. e I. NOGUEIRA*, 1971. A idade adulta do *Eucalyptus saligna* Smith em Rio Claro, Estado de São Paulo, determinada pelas dimensões das fibras. 28: 165-75.
- (35) *SAUCIER, J.R. e A.F. IKE*, 1969. Effect of fertilization on selected wood properties of sycamore. *Forest Prod. J.* 19(9): 93-6.
- (36) *SEIBI, G.*, 1963. The effect of fertilizer on wood density in Scots pine Japanese larch and Norway. *Aus den Wald. Hannover* n° 8: 51-82.
- (37) *SIDDIQUE, K.M., W.T. GLADSTONE e R. MARTIN*, 1972. Influence of fertilization on wood and pulp qualities of Douglas-fir. In: *Proc. of Symp. On the effect of growth Acc. On the Prop. of wood. For. Prod. Lab. Madison. Wis.* P.C1-C18.
- (38) *TAYLOR, F.W.*, 1974. Differences in the wood of *Eucalyptus grandis* grown in different parts of South Africa. *S.A. For. J.* n° 91.
- (39) *VAN LEAR, D.H., J.R. SAUCIER e N.B. GOEBEL*, 1973. Growth and wood properties of loblolly pine on a Piedmont sub soil as influenced by early fertilizations. *Soil Sci. Soc. Ann. Proc.* 37(5): 778-81.
- (40) *WHITE, D.P.*, 1973. Effect of fertilization on quality of wood and other forest products. In: *Proc. of Internacional Symp. On for. Fertilization FAO – IUFRO.* P.271-97.
- (41) *ZOBEL, B. e J. ROBERDS*, 1970. Differential genetic response to fertilizers within tree species. *Cooperatives Programs. N.C. State Univ.* 19p. Mimeografado.
- (42) *ZOBEL, B. et alii*, 1972. *North Carolina Agric. Exp. Sta. Tech. Bull.* 208. 56p.

## AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE CELULOSE DE MADEIRA NÃO-DESCASCADA DE *Pinus caribaea* E *Eucalyptus grandis*

José Otávio Brito\*  
Luiz Ernesto G. Barrichelo\*  
Rubens C. D. Garlipp\*\*

### 1. INTRODUÇÃO

A indústria de celulose e papel vem sofrendo nos últimos anos, uma série de transformações com a aplicação de técnicas mais modernas e sofisticadas, visando a aumenta quantitativo e sobretudo qualitativo de produção. A par disso, outra preocupação tem sido a da utilização de outras fontes de matérias-primas fibrosas, além daquelas tradicionalmente consagradas pelo uso. Materiais que até pouco tempo eram tidos como não-satisfatórios, estão atualmente despertando grande interesse no setor e sendo cuidadosamente estudados.

Com relação à madeira, com o encarecimento das operações de exploração florestal aliada a crescente escassez de fibras, atenção especial tem sido dada ao uso de resíduos florestais pela indústria de celulose, com destaque para a casca, serragem, ponteiros, ramos, falhas e raízes. Esta utilização inclusive introduziu um conceito já em desenvolvimento que é o da utilização integral da árvore.

No caso particular da casca, a sua utilização para a produção de celulose e papel seria bastante significativa não só do ponto de vista do aumento da disponibilidade de matéria-prima, como evitaria a prática do descascamento, uma operação onerosa quando feita manualmente. Na verdade, a utilização da madeira com casca é um assunto controvertido em nosso meio. Inúmeras tentativas têm sido feitas pelas indústrias que produzem celuloses químicas, principalmente visando a economia de mão-de-obra no descascamento manual. Inclusive, algumas empresas estão produzindo na atualidade celuloses com uma certa porcentagem de madeira com casca. A par disto, novas indústrias no país estão sendo projetadas e construídas para consumirem madeira com 100% de casca.

Na verdade, a utilização de madeira com casca é ainda uma questão que tem suscitado dúvidas e controversias quanto aos parâmetros que possam estar sendo afetadas em vista da produção de celulose e papel, havendo necessidade de vários estudos bem definidos que os possam caracterizar.

O presente estudo teve como objetivo avaliar alguns fatores técnico-econômicos julgados importantes na caracterização de celulose sulfato e kraft, quando obtida à partir de madeira não-descascada para o estudo em questão foram eleitos o *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e o *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. e Golf, face à grande difusão dessas espécies em florestamentos e reflorestamentos no Brasil.

### 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE EXPERIÊNCIAS DO USO DA CASCA NA PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL.

---

\* Universidade de São Paulo – Curso de Engenharia Florestal – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Departamento de Silvicultura.

\*\* Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF

A produção de celulose a partir da casca isolada ou em mistura com a madeira, conquanto tenha sido estudada já a algum tempo, tornou-se mais intensamente pesquisada na década atual, A razão disso talvez se prenda à necessidade cada vez maior de novas fontes de matérias-primas e às transformações técnicas e econômicas de processamento que talvez possam permitir sua utilização.

De um modo geral, existem ainda controvérsias quanto à utilização da casca, principalmente pelo fato de não estarem ainda bem definidos os parâmetros sobre os quais a mesma possa exercer influências.

A casca é tradicionalmente referida nos processos de obtenção de celulose como causadora de problemas, os quais trazem limitações quanto a sua utilização. *KROGH* (1975), *BARRICHELO e BRITO* (1976), *KOLENSKI e PRIMAS* (1977), *FOELKEL et alii* (1977) enumeram e descrevem alguns problemas do uso da casca dos quais destacam-se:

1. Na estocagem da madeira com casca a suscetibilidade ao ataque de fungos aumenta

2. Nos picadores, a casca tem uma tendência de formar lascas compridas que dificultam o transporte, peneiração e armazenagem em silos ou pilhas. *KROGH* (1975), afirma que este problema só aparece com madeira com 4 meses ou mais de corte e pode ser contornado usando-se madeira verde.

3. Ainda com relação a picagem da madeira com casca a formação de cavacos diminui em qualidade aliando-se à formação de maior quantidade de finos. Com madeira verde, a percentagem de finos aumenta em 100%.

4. Em digestores contínuos, do tipo que opera com lavagem em contracorrente dentro do próprio digestor, o cozimento com casca tem causado problemas ainda não solucionados. A causa dos problemas deve ser atribuída a finos formados no picador, no manejo dos cavacos e no próprio digestor, dificultando a circulação da líxívia dentro da coluna de cavacos e entupindo as peneiras. *BARRICHELO e BRITO* (1976), contudo, afirmam que estes problemas não são sentidos nos digestores descontínuos, principalmente naqueles em que o aquecimento é direto.

5. Nos digestores, os problemas da utilização da casca se iniciam quando da alimentação dos mesmos devido aos entupimentos, dificultando uma dosagem uniforme. A densidade da casca, sendo mais baixa que a da madeira faz com que a mesma ocupe um espaço relativamente maior do que seria ocupado somente pela madeira. Como resultado o rendimento em peso de celulose por carga de digestor diminui.

6. A casca consome maior quantidade de reagentes químicos, havendo portanto, um desperdício na eficiência dos mesmos. Esse maior consumo é explicado pelo mais alto teor de lignina e extrativos da casca.

7. O aumento do consumo de agentes químicos e a maior quantidade de substância orgânica da madeira com casca pode resultar em sobrecarga do equipamento de recuperação em fábricas que trabalham nos limites da capacidade de recuperação. Há maior facilidade de incrustações nos evaporadores e maiores facilidades de entupimentos na caldeira de recuperação.

8. A presença de casca junto à madeira provoca o aparecimento de um grande número de pintas e sujeiras na celulose. Para a eliminação das mesmas é necessário um eficiente sistema de depuração centrífuga.

9. No branqueamento da celulose há um maior consumo de reagentes químicos, principalmente devido aos extrativos da casca. Há ainda o aparecimento de um maior número de fibras não-branqueadas e surgimento de maior número de pintas na celulose.

10. As resistências físico-mecânicas da celulose diminuem pela presença de casca no cozimento.

11. Na máquina de papel, há maiores dificuldades no controle de refinação, menor drenabilidade, maior número de quebras e redução na qualidade do papel.

Como pode ser observado, a maioria dos problemas causados pela presença de casca são na verdade de ordem operacional e menos quanto à qualidade do produto final. Os problemas de ordem operacional são mais facilmente equacionáveis pelo ajuste de equipamentos e instrumental a matéria-prima.

*FOELKEL et alii* (1977) afirmam que apesar de todos os problemas, limitações e desvantagens, o uso da casca vem sendo paulatinamente incrementado. Isso porque as vantagens alcançadas pelo seu uso são maiores principalmente por:

a) colocação à disposição da indústria de uma nova e volumosa fonte de fibras a custo desprezível em relação aos processos de exploração florestal convencionais.

b) diminuição nas operações florestais pela não necessidade de uma das mais onerosas atividades no campo que é o descascamento.

*KEAYS e HATTON* (1974) tecendo considerações sobre as implicações práticas do uso da casca na fabricação de celulose e papel, chegaram à conclusão importante de que uma indústria de celulose com suficiente capacidade de digestores, sistemas de recuperação e equipamentos necessários pode perfeitamente, ser economicamente bem sucedida na utilização de resíduos florestais, particularmente casca.

Finalmente, segundo *BARRICHELO e BRITO* (1976) do ponto de vista tecnológico, o ideal é se trabalhar com a madeira totalmente descascada. Porém, do ponto de vista da economia global da empresa, como indústria e floresta, a alternativa mais condizente com a realidade é a utilização da madeira integral.

A utilização de madeira com casca na produção de celulose tem sido estudada principalmente nos Estados Unidos da América do Norte e em alguns países europeus; pouca coisa pode ser encontrada na literatura especializada brasileira. No exterior, diversas espécies vegetais arbóreas, processadas por diferentes métodos de conversão tem sido objeto de estudos.

Segundo *KEAYS e HATTON* (1974) tradicionalmente a celulose tem sido fabricada à partir de madeira descascada. Particularmente no caso de pasta mecânica, celulose sulfito, celulose semi-química e celulose Kraft branqueada, os autores consideram que não se deve tolerar um nível superior à 1% no teor da casca presente junto à madeira.

Com respeito à produção de celuloses semi-químicas, o descascamento tem sido considerado como necessário para a obtenção de celulose isenta de impurezas conforme afirma *CASEY* (1960).

O elevado teor de extrativos presentes na casca de coníferas é um importante detalhe que merece ser considerada quando a processa sulfito ácido é empregado segundo *CASEY* (1960) e *BROWNING* (1963). Nessa situação, o descascamento é fundamental para evitar os problemas de qualidade de celulose que freqüentemente aparecem na transformação por métodos ácidos destes tipos de madeira, especialmente para as do gênero *Pinus*. Ainda com relação à extrativas, num estudo sobre uso da casca de *Picea* spp, para a produção de celulose desenvolvido por *DAHM* (1963), concluiu-se que no emprego do

processo sulfito ácido para cozimento de madeira e casca há uma redução na capacidade de reação entre o licor e a lignina da madeira.

*RYDHOLM* (1965) reforça as afirmações de que a presença de casca é problemática para a processa sulfito, quando afirma que uma grande proporção da mesma não se dissolve durante o cozimento, tendo que ser removida por um equipamento mais sofisticado nas operações de lavagem, depuração e branqueamento. Outro problema levantado pelo autor é o caso de espécies que possuem tanino na casca.

Durante o cozimento sulfito, este tanino se dissolve no licor e se difunde na madeira condensando-se sobre a celulose e, conseqüentemente, dificultando o branqueamento.

Um trabalho pioneiro sobre produção de celulose semi-química realizado por *KELLER* (1950) utilizando madeira de *Populus tremuloides*, *Carya glabra* e *Pinus caribaea* mostra os efeitos negativos da presença da casca. Observou-se que no cozimento de madeira com casca de *P. caribaea* houve um consumo duas vezes maior de sulfito de sódio do que o consumido por madeira sem casca. Para *Populus tremuloides* dentro da mesma observação houve um consumo ligeiramente maior enquanto que, no caso de *Carya glabra* o consumo foi intermediário. Em termos de resistências físico-mecânicas com exceção de um aumento na resistência a dobras da celulose de *Carya glabra*, as demais resistências sofreram um decréscimo em seus valores com o aumento da quantidade de casca empregada. A resistência a dobras foi a propriedade que maior influência sofreu com a presença de casca sendo que a resistência ao rasgo foi a menos afetada.

Dentro dos processos químicos de obtenção de celulose, destaque especial deve ser dado ao processo sulfato ou kraft os quais têm mostrado maior possibilidade, principalmente quando do emprego da casca em mistura com a madeira.

*BROWN* (1956) estudando *Quercus rubra* e *Q. alba* e a possibilidade do uso da casca em cozimentos pelo processo sulfato não recomenda o seu emprego isolado, pois, cozimentos somente da casca dessas espécies deram como resultado um alto teor de rejeitos. Quando as mesmas condições requeridas para a produção de celulose branqueável de madeira foram utilizadas para a casca, obteve-se um rendimento em celulose depurada equivalente a metade daquele obtido com a madeira sendo que o consumo de produtos químicos não aumentou. Condições mais drásticas de cozimentos, provavelmente, reduziriam a quantidade de rejeitos produzidos mais o rendimento decresceria.

Segundo constatado pelo citado autor, devido ao baixo teor de fibras, a celulose de casca apresentou resistências consideravelmente mais baixas que a celulose obtida da madeira ou das misturas madeira mais casca. As resistências ao estouro e a tração chegaram a um terço das obtidas com celulose só de madeira.

A pureza química da celulose de casca reduziu-se consideravelmente chegando o conteúdo em lignina a 4,3% contra os 2,2% da celulose da madeira.

Na produção de celulose com misturas de madeira e casca constatou-se também ser indispensável a utilização de depuradores centrífugos para que não houvesse sérios prejuízos nas resistências e aparência da celulose branqueada.

No entanto, existem trabalhos que mostram a perfeita viabilidade técnico-econômica da utilização da casca acompanhando a madeira nos processos de fabricação de celulose. Isso é particularmente válido quando o processo empregado é o sulfato ou o kraft.

Estudos pioneiros realizados por *HAMILTON* (1950) demonstraram a possibilidade de se produzir celulose quer de madeira não-descascada ou de casca isoladamente. *HAMILTON* observa que é possível a manufatura de papel de embalagem com celulose obtida a partir de casca quando a mesma possuir quantidade suficiente de fibra. Os

processos de produção de celulose adotados pelo autor foram kraft, soda-enxofre e sulfito neutro.

Estudo realizado por *MARTIN e BROWN* (1952) com madeira e casca de *Pinus echinata* e utilizando processo kraft mostrou a viabilidade de se usar misturas de madeira e casca quando em proporções adequadas. Houve restrições apenas para cozimentos somente com casca que foi citado como sendo imprópria para a produção de celulose. A não viabilidade do uso isolado da casca ficou evidenciada pela sua alta solubilidade em álcalis, indicando um baixo rendimento em celulose e um alto consumo de produtos químicos. Neste trabalho ainda foi observado que as celuloses obtidas de cozimentos de madeira mais casca nas proporções de 8, 16 e 24%, apresentaram um mais alto teor de holocelulose e alfa-celulose e um mais baixo teor em lignina que as celuloses obtidas da madeira ou casca isoladas. Os teores de pentosanas e hemiceluloses ficaram próximos daqueles encontrados para celulose de madeira sem casca.

Com o propósito de investigar os efeitos da presença de casca junto à madeira de *Pseudotsuga taxifolia* para a produção de celulose kraft não-branqueada, *SAMUELS e GLENNIE* (1958) realizaram estudos em que a casca foi misturada com madeira em várias proporções (5, 10 e 20% em peso), A inclusão da casca não resultou em escurecimento de celulose exceto ao nível de 20% de casca na mistura. O conteúdo de casca aumentou o consumo de agentes químicos do cozimento mas de modo não-significativo. Os valores das resistências para todas as celuloses obtidas das misturas foram similares e num grau satisfatório para papéis kraft de escrita.

Utilizando-se de 14 espécies de folhosas japonesas *KAWASE e SUSUKI* (1967) realizaram outro estudo com emprego do processo sulfato, o qual mostrou que o uso de madeira com casca até um teor máximo de 15% na produção de celulose diminuiu na média o rendimento em somente 1% e a alvura em 28%. O comprimento de auto-ruptura não sofreu influência devido à presença da casca na mistura.

Especial atenção tem sido dada ao problema do uso da casca pela tradicional instituição de pesquisas norte-americana Forest Products Laboratory, em Madison, Wisconsin. Dois técnicos desse laboratório, *HORN e AUCHTER* (1972) realizaram um trabalho em que mostraram a possibilidade de se produzir celulose kraft branqueada e não branqueada de madeira de conífera não-deascada, contendo em média 10% de casca. Para isso foi verificado que o tratamento com casca necessitou 0,2% a mais de álcali ativo durante o cozimento, e de 0,2% a mais de cloro para se conseguir uma alvura equivalente a obtida com celulose de cavacos livres de casca.

Uma série de cozimentos sob condições de operação padronizadas com cavacos de madeira descascada e não-descascada foi realizada por *WIEDERMANN* (1972) utilizando-se folhosas européias com processo kraft. Do estudo o autor concluiu que com a presença de casca nenhum efeito adverso foi observado no produto final. Um leve decréscimo no rendimento para madeira não-descascada é explicado pelo autor pelo aumento do teor de rejeitos. Em relação a um consumo adicional de reagentes por parte da madeira não-descascada durante o cozimento, os teores de álcali e o pH do licor negro mostraram diferenças mínimas em relação ao licor negro da madeira não-descascada. O mesmo fato ocorreu com as curvas de consumo de álcali com o decorrer do tempo de cozimento. Respectivamente para madeira descascada e madeira não-descascada e partindo-se de uma mesma concentração inicial de álcali no licor branco de cozimento, os consumos de reagentes químicos nos primeiros 30 minutos de cozimentos foram 8% e 11%, mas ao fim do cozimento as diminuições dos álcalis residuais foram somente 12,5% e 14,0%, o pH dos

licores negros permaneceram constantes em 12, 10 e 12,5. No processo de branqueamento nenhum consumo adicional de cloro foi observado.

Novamente *AUCHTER* (1973) agora em um estudo com coníferas plantadas nos EUA chegou a conclusões interessantes ao utilizar madeira com e sem casca sob condições diferentes de processamento das celuloses obtidas pelo processo kraft. Estudando especificamente o álamo vermelho (*Alnus rubra*) e o choupo (*Populus euroamericana*) concluiu que para a primeira espécie as celuloses obtidas de madeira com ou sem casca tiveram o mesmo comportamento. Para o caso do choupo, contudo, foram encontrados menores comprimentos de fibras, baixa densidade, e reduzida qualidade na resistência das celuloses com casca. Frise-se que a celulose de álamo foi depurada em peneiras e depuradores centrífugos enquanto que a do choupo só em peneiras.

No caso das demais coníferas, cujas celuloses foram depuradas em peneiras e em depuradores centrífugos, não houve nenhuma diferença nas propriedades devido à presença de casca.

Os valores de alvura para celulose não-branqueada foram 2 a 4 pontos mais baixos quando a casca foi incluída.

O teor de sujeira genericamente se apresentou muito mais alto se a casca era incluída. As diferenças nos teores de sujeira se mostraram bem menores depois da depuração em depuradores centrífugos e praticamente deixaram de existir depois do branqueamento.

Concluiu o autor que, no processo kraft pode-se utilizar madeira com até 17% de casca para produzir celulose de igual qualidade à celulose de madeira sem casca.

Na tentativa de solucionar problemas relacionados com o uso de casca, *FOELKEL et alii* (1977) realizaram um estudo em que utilizando *E. urophylla*, procuraram analisar as condições de viabilidade para o uso industrial da casca desta espécie, em misturas com cavacos de madeira, para produção de celulose kraft de alta alvura e resistências. Uma nova proposição para o uso da casca é apresentada, qual seja, o descascamento das taras no próprio pátio de madeira da fábrica, seguido por um desmedulamento e envio apenas das fibras da casca e cavacos de madeira para o digestor, numa proporção em peso de no máximo 10% de casca desmedulada no material a ser deslignificado. Até esta proporção obteve-se celuloses que preencheram todas as rígidas exigências e especificações para um produto de qualidade similar ao obtido de apenas madeira.

Em resumo, os principais problemas tecnológicos que advém do emprego da madeira não-descascada na produção de celulose são os decorrentes do aumento do teor de rejeitos e as dificuldades encontradas no branqueamento. Uma possível explicação para estes fenômenos seria a forte ligação lignina-carbohidrato existente na casca sugerida por *BRAUNS e LEWIS*, citados por *BROWNING* (1963). Esta ligação limitaria a ação dos agentes de deslignificação e uma grande parte da lignina da casca permaneceria insolúvel.

Com relação à economicidade do emprego de madeira não-descascada para produção de celulose kraft de *Pinus*, esta foi verificada por *AUCHTER e HORN* (1973). Tal verificação analisou investimentos de capital fixo e custos variáveis como mão-de-obra, matéria-prima fibrosa, consumo de energia e de reagentes químicos. Como conclusão, observou-se que a produção de celulose de madeira não-descascada apresentava uma vantagem econômica de cerca de US\$ 4,68/tonelada em relação à celulose produzida com madeira descascada.

### 3. ASPECTOS TECNOLÓGICOS DO USO DA MADEIRA NÃO-DESCASCADA DE *Pinus caribaea* VAR. *hondurensis* E *Eucalypts grandis* PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE.

#### 3.1. Material

A madeira utilizada no presente estudo era proveniente de povoamentos de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* respectivamente com 6 e 14 anos de idade, implantados na região de Mogi-Guaçu, S.P. Os dados relativos a altura média, diâmetro médio à altura do peito e espaçamento dos povoamentos por ocasião da coleta da madeira são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Altura média, DAP médio e espaçamento dos povoamentos.

Espécie	H (m)	DAP (cm)	Espaçamento (m x m)
<i>E. grandis</i>	21,2	14,6	3 x 2
<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	16,5	13,5	3 x 2

H = altura média

DAP = diâmetro médio à altura do peito

#### 3.2. Métodos

##### 3.2.1. Coleta e amostragem da madeira e da casca

Para cada espécie em estudo foi escolhido um talhão representativo da população no qual foram derrubadas 10 árvores, conforme preconizado por BARRICHELO e BRITO (1978). Cada árvore foi seccionada à cada 2 m até um diâmetro mínimo de 6 cm. Os toros de cinco árvores foram descascados manualmente, permanecendo os demais toros das outras cinco árvores com a casca. Obteve-se assim toros de árvores descasca das e toros de árvores não descascadas separadamente, os quais foram transformados em cavacos utilizando-se picador industrial.

No caso específico da casca a mesma foi picada manualmente em fragmentos com aproximadamente 3 cm de comprimento e 2 cm de largura.

Como conseqüência da coleta e amostragem da madeira obteve-se para cada espécie em estudo:

- um lote de cavacos de madeira descascada;
- um lote de cavacos de madeira não-descascada;
- um lote de casca picada.

Os lotes obtidos foram secados ao ar livre até se aproximarem de um teor de umidade de 10% e peneirados para remoção de serragem e nós. Após a peneiragem os lotes forem acondicionados em sacos plásticos e armazenados.

##### 3.2.2. Caracterização da madeira e da casca



Exclusivamente para se caracterizar a matéria-prima utilizada foram realizados ensaios na madeira e casca, quais sejam: teor de casca, densidade básica e análises químicas.

O teor de casca foi calculado com base na determinação do volume real com casca e volume real sem casca dos toros segundo preconizado por *BARRICHELO e BRITO* (1976).

A densidade básica da madeira e casca sem extração foi determinada pelo método do máximo teor de umidade, segundo preconizado por *FOELKEL et alii* (1971).

A determinação da composição química foi realizada sobre os lotes de cavacos de madeira descascada e casca. Os cavacos de madeira e a casca foram primeiramente moídos em um moinho tipo Wiley, modelo de laboratório. Cada serragem obtida foi classificada através de peneiras, conforme a granulometria requerida pelas normas de ensaios. As serragens foram deixadas a secar ao ar até umidade de equilíbrio e depois individualmente guardadas em sacos plásticos identificados. O teor de umidade foi então determinado segundo a norma ABCP M2/71.

As análises químicas foram realizadas em triplicata e a média dos resultados foi expressa como percentagem do peso seco original de material. As seguintes análises químicas foram realizadas conforme mostradas na Tabela 2.

Tabela 2. Análise químicas da madeira e casca.

Análise	Norma
Solubilidade em água quente	ABCP – M4/68
Solubilidade em álcool-benzeno	ABCP – M6/68
Solubilidade em NaOH 1%	ABCP – M5/68
Teor de Celulose Cross & Bevan	ABCP – M9/71
Teor de Lignina	ABCP – M10/71
Teor de Pentosanas	TAPPI – T 19m-50
Teor de Cinzas	TAPPI – T 15m-58

TAPPI – Technical Association of the Pulp and Paper Industry

ABCP – Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel

### 3.2.3. Cozimentos

Para a produção de celulose, os cavacos de madeira não descascada e de madeira descascada de ambas as espécies sofrerem cozimentos pelo processo sulfato. No caso de *E. grandis* procurou-se obter um número de permanganato entre 16,0 e 18,0 visando-se o branqueamento da celulose. No caso do *P. caribaea* var. *hondurensis* procurou-se obter um número de permanganato entre 23,5 e 25,5 para a produção de celulose não-branqueada.

Para cada espécie foram realizados cinco cozimentos respectivamente para madeira não descascada e madeira descascada, utilizando-se uma quantidade de cavacos equivalente a 1000 g absolutamente secos por cozimento. As condições de cozimentos empregadas constam das Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Condições de cozimento para o *E. grandis*

Variáveis	Madeira descascada	Madeira não descascada
Álcali ativo (% como Na <sub>2</sub> O)	14	14
Atividade (%)	100	100
Sulfidez (%)	25	25
Relação licor-madeira (ℓ/kg)	4:1	4:1
Temperatura máxima (°C)	165	165
Tempo até temperatura máxima (h)	2,0	2,0
Tempo à temperatura máxima (h)	0,5	0,5

Tabela 4. Condições de cozimento para o *P. caribaea* var. *hondurensis*

Variáveis	Madeira descascada	Madeira não descascada
Álcali ativo (% como Na <sub>2</sub> O)	17	18
Atividade (%)	100	100
Sulfidez (%)	25	25
Relação licor-madeira (ℓ/kg)	4:1	4:1
Temperatura máxima (°C)	170	170
Tempo até temperatura máxima (h)	2,0	2,0
Tempo à temperatura máxima (h)	1,0	1,0

As soluções de NaOH e Na<sub>2</sub>S utilizadas nos cozimentos foram preparadas à concentração de aproximadamente 100 g por litro, expressas como Na<sub>2</sub>O e mantidas em recipientes de vidro vedados para serem usadas quando necessário. Antes dos cozimentos as soluções foram padronizadas, misturadas e diluídas em água em quantidades previamente calculadas para se chegar a relação licor madeira especificada. A quantidade de água existente na madeira foi levada em conta.

Os cozimentos foram realizados em digestores rotativos (2-3 rpm) de 20 litros, aquecido eletricamente e dotado de termômetro e manômetro.

#### 3.2.4. Processamento após cozimento

Ao final do tempo necessário para cada cozimento o digestor teve sua pressão aliviada até a pressão atmosférica e a celulose foi transferida para uma caixa de madeira tendo ao fundo uma tela de 40 mesh. As celuloses foram lavadas com água até que os filtrados se mostraram incolores.

Depois da lavagem as celuloses foram desfibradas em um desintegrador, modelo de laboratório, de 3000 rpm para a liberação das fibras.

Após desfibramento as celuloses foram depuradas em classificador de fibras BH 6/12 tipo Brecht & Holl, com peneiras de fendas 0,2 mm para *Eucalyptus* e 0,5 mm para *Pinus*, e prensadas manualmente até se atingir um teor de umidade em torno de 20%, sendo então transferidas para sacos plásticos identificados.

Após depuração e pesagem, as celuloses foram pesadas, bem como calculados seus teores de umidade. com esses valores foram calculados os pesos das celuloses depuradas que possibilitaram a obtenção dos rendimentos dos cozimentos através da fórmula:

$$\text{RCD (\%)} = \frac{\text{PSCD}}{\text{PSc}} \times 100$$

onde:

RCD = rendimento em celulose depurada  
PSCD = peso absoluto seco de celulose depurada  
PSc = peso absolutamente seco de cavacos

Por outro lado, os rejeitos foram secos em estufa a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$  e determinou-se o teor de rejeito através da fórmula:

$$\text{R (\%)} = \frac{\text{PSR}}{\text{PSc}} \times 100$$

onde:

R = teor de rejeitos  
PSR = peso absolutamente seco de rejeitos  
PSc = peso absolutamente seco de cavacos no cozimento

Os rendimentos dos cozimentos em termos de celulose não-depurada (celulose bruta) foram calculados pela soma dos valores encontrados para os rendimentos em celulose depurada e os teores de rejeitos.

### 3.2.5. Análises químicas das celuloses não-branqueadas

As determinações das propriedades químicas das celuloses não-branqueadas foram realizadas de acordo com as análises mostradas na tabela 5. As análises foram realizadas com 9 repetições sobre as amostras das celuloses não-branqueadas das duas espécies.

A média dos resultados obtidos na análise foi expressa como uma porcentagem do peso seco de celulose não-branqueada.

Tabela 5. Análise química das celuloses não-branqueadas

Análise	Norma
Teor de holocelulose	TAPPI – T 9m-58
Teor de pentosanas	TAPPI – T 19m-58
Teor de cinzas	TAPPI – 7 15m-58
Número de permanganato	ABCP – C4/71

3.2.6. Determinação das propriedades óticas das celuloses não-branqueadas e branqueadas.

Nas celuloses não-branqueadas e branqueadas foram determinadas as seguintes propriedades óticas:

- alvura
- opacidade

As determinações foram realizadas com 12 repetições para cada amostra de celulose, previamente deixadas secar ao ar.

O aparelho utilizado nas determinações foi um medidor de alvura e opacidade de leitura direta AL/OP/DIG-REG-MED, sendo os resultados expressos em porcentagem. Os ensaios foram realizados segundo a norma ABCP – P16/73.

### 3.2.7. Análises anatômicas das fibras de celuloses não branqueadas

De cada amostra de celulose não-branqueada foram tomadas sub-amostras para mensuração das dimensões das fibras, a saber:

- comprimento (C) expresso em mm
- largura (L) expressa em  $\mu$
- diâmetro do lúmen (DL) expresso em  $\mu$
- espessura da parede (E) expressa em  $\mu$

O material tomado para mensuração sofreu inicialmente uma maceração em solução de clorito de sódio a 30% durante 5 minutos, como tratamento deslignificativo. Após a maceração o material foi lavado com água até total remoção do clorito de sódio, e a partir dele foram montadas 10 lâminas. Utilizando-se microprojeter e microscópio ótico dotado de micrômetro foram medidas 10 fibras para cada lâmina num total de 100 fibras sendo mensuradas sobre a celulose de madeira não-descascada e outra 100 fibras para celulose de madeira descascada.

Considerou-se a média das mensurações de 10 fibras por lâmina como sendo uma repetição para efeito de análise estatística dos resultados.

Para a determinação das propriedades físico-mecânicas das celuloses não branqueadas, os seguintes ensaios foram realizados e calculados segundo o método TAPPI-220m-60 sobre cada amostra composta:

- peso específico aparente: expresso em  $\text{g/cm}^3$ ;
- resistência à tração: expressa pelo comprimento de auto-ruptura em metros;
- resistência ao arrebentamento: expressa pelo índice de arrebentamento;
- resistência à dobras: expressa pelo número de dobras;
- resistência ao rasgo: expressa pelo índice de rasgo;
- porosidade: expressa em  $\text{seg}/100 \text{ cm}^3$ .

Como o propósito de adequar as celuloses às condições necessárias para a realização dos citados ensaios as mesmas foram previamente refinadas, transformadas em folhas e acondicionadas.

No caso das celuloses branqueadas determinou-se suas viscosidades, segundo preconizado pela norma ABCP – C9/72, com 9 repetições sendo executadas para cada tipo de celulose.

As celuloses foram refinadas em moinho centrifugal Jokro-Muhle, de acordo com o método Merk-blatt V/105-VZIPC (Verein der Zellstoff und Papier Chemiker und Ingenieure), visando o desenvolvimento das propriedades físico-mecânicas, utilizando-se uma consistência de 6%. A refinação foi conduzida a 15 tempos de moagem em ordem crescente desde o tempo zero. O grau de refinação obtido para cada tempo foi expresso em termos de grau Shopper-Riegler ( $^{\circ}$ SR) de acordo com a norma ABCP – C10/73.

A formação de folhas para os testes físico-mecânicos deu-se em formador de folhas FS S/2, tipo Koethen Rapid, de dois secadores. Foram confeccionadas 8 folhas por tempo de moagem, num total de 120 folhas por espécie.

Com a finalidade de evitar os efeitos das variações ambientais sobre os resultados dos ensaios físico-mecânicos, as folhas destinadas aos testes foram acondicionadas em ambiente climatizado à temperatura de  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $65 \pm 2\%$ .

### 3.2.9. Branqueamento das celuloses de *E. grandis*

Os branqueamentos foram efetuados com 5 repetições sobre as amostras compostas de celulose não-branqueadas de *E. grandis* segundo um esquema de 4 estágios a saber: C – E – D – D.

C = cloração ácida;

E = extração alcalina;

D = tratamento com dióxido de cloro.

A porcentagem de cloro total do branqueamento foi de 8% e a porcentagem de NaCH total foi de 2,5%.

As condições do branqueamento por estágio foram as seguintes:

#### *Cloração ácida (1<sup>o</sup> estágio)*

- quantidade absolutamente seca de celulose (g).....	200
- consistência (%).....	4
- cloro disponível para cloração (%).....	4
- temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).....	25
- tempo (minutos).....	45
- pH.....	2

#### *Extração alcalina (2<sup>o</sup> estágio)*

- quantidade absolutamente seca de celulose (g).....	200
- consistência (%).....	10
- % de NaOH.....	2,5
- temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).....	70
- tempo (minutos).....	120
- pH.....	12

*Dioxidação (3º estágio)*

- quantidade absolutamente seca de celulose (g).....	200
- consistência (%).....	10
- cloro disponível para dioxidação (%).....	2,4
- temperatura (°C).....	75
- tempo (minutos).....	180
- pH.....	3,0

*Dioxidação (4º estágio)*

- quantidade absolutamente seca de celulose (g).....	200
- consistência (%).....	10
- cloro disponível para cloração (%).....	1,6
- temperatura (°C).....	70
- tempo (minutos).....	180
- pH.....	3,0

Em cada estágio de branqueamento as celuloses foram colocadas em recipientes plásticos que foram hermeticamente fechados após a adição do agente branqueador e da água para correção da consistência ao nível desejado. O controle da temperatura nos três estágios finais foi realizado em um banho-maria com agitação constante da água.

Após os últimos estágio dos branqueamentos as celuloses foram cuidadosamente lavadas e prensadas manualmente até se atingir um teor de umidade em torno de 20%.

Após a prensagem as celuloses foram transferidas para sacos plásticos identificados.

Após o branqueamento a prensagem, as celuloses foram pesadas bem como foram calculados seus teores de umidade. Com esses valores foram calculados os pesos das celuloses branqueadas que possibilitaram a obtenção dos rendimentos através da fórmula:

$$RB (\%) = \frac{PSCB}{PSCNB} \times 100$$

onde:

RB = rendimento do branqueamento;

PSCB = peso absolutamente seco de celulose branqueada;

PSCNB = peso absolutamente seco de celulose não-branqueada.

3.2.10. Cálculo do rendimento médio final em celulose branqueada.

O rendimento médio em celulose branqueada foi calculado através da fórmula:

$$RCB (\%) = \frac{RB \times RCD}{100}$$

onde:

RCB = rendimento médio final em celulose branqueada;

RB = rendimento médio do branqueamento;

RCD = rendimento médio em celulose depurada.

### 3.2.11. Análises químicas das celulosas branqueadas de *E. grandis*

As determinações das propriedades químicas das celulosas branqueadas foram realizadas de acordo com as análises mostradas na Tabela 6. As análises foram realizadas com 9 repetições, com amostragens sendo feitas diretamente nas celulosas branqueadas. A média dos resultados obtidos nas análises foi expressa como uma porcentagem do peso de celulose branqueada.

Tabela 6. Análises químicas das celulosas branqueadas de *E. grandis*

Análise	Norma
Teor de holocelulose	TAPPI – T 9m-54
Teor de cinzas	TAPPI – T 15m-58

### 3.2.12. Delineamento estatístico

Utilizou-se análise estatística para testar os resultados encontrados para cozimentos, propriedades químicas, óticas e anatômicas das celulosas. Para tanto, os resultados obtidos foram analisados através de aplicação do teste F.

As propriedades físico-mecânicas das celulosas para os quinze diferentes tempos de refinação foram correlacionadas com os correspondentes graus Schopper-Riegler, mediante a aplicação de equações de regressão simples.

Obtidas as equações, aplicou-se o teste de comparação de duas linhas de regressão conforme preconizado por *NETER* e *WASSERMANN (1974)*. Mediante este teste pode-se verificar para cada espécie, a existência ou não de igualdade estatística entre as curvas de regressão para a celulose de madeira não descascada e para a celulose de madeira descascada. A aplicação do teste forneceu um valor C estimado que comparado com um valor de c de tabela levou à uma das seguintes decisões estatísticas:

- a. se C estimado  $\leq$  C de tabela  $\rightarrow$  as curvas de regressão da celulose de madeira não descascada e da celulose de madeira descascada seriam estatisticamente as mesmas.
- b. Se c estimado  $>$  C de tabela  $\rightarrow$  as curvas de regressão da celulose de madeira não-descascada e da celulose de madeira descascada seriam estatisticamente diferentes.

O nível de 5% de significância foi considerado como sendo satisfatório para aplicação do teste.

## 3.3. Resultados e discussão

### 3.3.1. *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

A percentagem média de casca na madeira não-descascada, a densidade básica e a caracterização química médias da madeira e da casca são mostrados nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7. Percentagem média de casca em volume e em peso no tronco de *P. caribaea* var. *hondurensis* até o diâmetro de 6 cm.

	em volume	em peso
% casca	21,5	20,9

Tabela 8. Densidade básica e análises químicas da madeira e da casca de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

	madeira	casca
Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )	0,418	0,508
Teor de extrativos solúveis em:		
- água quente (%)	3,5	28,5
- álcool-benzano (%)	3,4	8,2
- NaOH 1% (%)	11,8	59,4
Teor de Celulose Cross & Bevan (%)	56,1	22,4
Teor de lignina (%)	25,2	33,4
Teor de Pentosanas (%)	8,2	2,3
Teor de Cinzas (%)	0,1	0,4

Com relação à caracterização da madeira e da casca em termos de propriedades físicas, merece destaque o fato da densidade básica da casca mostrar-se superior a da madeira. Este fato pode ser explicado como devido ao alto teor de extrativos existentes na casca da espécie e que teria proporcionado a elevação da densidade, estando de acordo com a teoria proposta por WENZL (1970).

Quanto à composição química destaque-se na casca o mais baixo teor de celulose e pentosanas e o mais alto teor de lignina, extrativos e cinzas quando comparada à madeira da espécie.

### 3.3.1.2. Produção de celulose (cozimentos)

Os resultados médios obtidos dos cozimentos são mostrados na Tabela 9.

Tabela 9. Rendimentos e teor de rejeitos das celuloses

	Madeira não-descascada	Madeira descascada	Teste F
Rendto. Bruto (%)	42,2	45,9	182,00**
Rendto. Depurado (%)	42,1	45,9	182,00**
Rejeitos (%)	0,1	0,1	-

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade



Para a obtenção de celulose comparáveis à um mesmo grau de deslignificação (número de permanganato =  $24,5 \pm 1,0$ ), as condições exigidas nos cozimentos de madeira não-descascada, foram praticamente as mesmas que as exigidas para madeira descascada. Para obtenção de celulose não-branqueada com número de permanganato situado na faixa estipulada foi necessário somente o acréscimo de 1% no teor de álcali ativo do licor de cozimento da madeira não-descascada, mantendo-se constante as demais variáveis. Esta exigência maior em álcali ativo para madeira não-descascada pode ser explicada pelo mais alto teor de extrativos e lignina presentes na casca conforme *MARTIN e BROWN (1952)*.

Concordando com resultados obtidos por *SAMUELS e GLENTE (1958)* e *HORN (1972)*, houve redução nos rendimentos dos cozimentos, quando do uso de madeira não descascada. Para a espécie em questão houve um decréscimo de 3,7% no rendimento tnatoto em termos de celulose bruta como para celulose depurada. Essa diferença, estatisticamente significativa, mostrou ser a presença de casca prejudicial com relação aos rendimentos. A presença de 20% de casca no lugar da madeira dos cozimentos de madeira não descascada como um material de mais baixo teor de celulose e pentosanas pode explicar tal fato.

Com relação aos teores de rejeitos os mesmos podem ser considerados normais para as condições de cozimentos empregadas para a espécie tanto para madeira não-descascada como para madeira descascada. A presença da casca não exerceu influência sobre conteúdo de rejeitos da celulose.

### 3.3.1.3. Análises químicas das celulosas

Os resultados das análises químicas das celulosas são mostrados na Tabela 10.

Tabela 10. Análises químicas das celulosas

Teor (%)	Madeira não-descascada	Madeira descascada	Teste F
Holocelulose	97,3	97,9	1,74 n.s.
Pentosanas	6,7	6,8	1,14 n.s.
Cinzas	0,5	0,5	-

n.s. – não significativo

Com relação à composição química da celulose não-branqueada, tanto os resultados obtidos para a celulose de madeira não-descascada como aqueles obtidos para a celulose de madeira descascada não apresentaram diferenças quanto aos teores de holocelulose, pentosanas e cinzas.

Estes resultados inclusive estão de acordo com aqueles obtidos para *P. echinata* por *MARTIN e BROWN (1956)* e para *Alnus rubra* e *Populus euroamericana* por *AUCHTER (1973)*. Os autores concluíram que a presença de casca causou efeito nocivo menor que o esperado nas propriedades químicas da celulose kraft destas espécies.

### 3.3.1.4. Propriedades óticas das celulosas

Os resultados encontrados para alvura e opacidade das celulosas são mostrados na Tabela 11.

	Madeira não-descascada	Madeira descascada	Teste F
Alvura	25,1	31,1	157,07**
Opacidade	75,0	68,8	169,13**

\*\* significativo ao nível de 1%

O teor da casca presente nos cozimentos de madeira não-descascada exerceu influência significativa sobre as mesmas. A alvura da celulose não-branqueada obtida de madeira não-descascada mostrou-se inferior em cerca de 6,0% em relação à celulose obtida de madeira descascada. Com relação à opacidade houve por sua vez um acréscimo de 6,2% para a celulose obtida de madeira não-descascada.

### 3.3.1.5. Análise anatômica das fibras nas celulosas

Os resultados para comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede são mostrados na Tabela 12.

Tabela 12. Comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura de parede das fibras nas celulosas.

	Madeira não-descascada	Madeira descascada	Teste F
Comprimento (mm)	4,21	4,22	0,077 n.s.
Largura ( )	41,16	40,94	0,87 n.s.
D. lúmen ( )	17,12	17,10	0,034 n.s.
E. parede	12,01	11,9	0,057 n.s.

n.s. – não significativo

Relativamente às dimensões das fibras, o comprimento, a largura, o diâmetro do lúmen e a espessura da parede não sofreram nenhuma influência em face da presença de casca nos cozimentos de madeira não-descascada. Ao contrário do observado, *AUCHTER (1973)* encontrou para *Populus euroamericana* resultados que mostraram haver redução no comprimento médio das fibras devido à presença de casca nos cozimentos.

### 3.3.1.6. Propriedades físico-mecânicas

Os resultados referentes às propriedades físico-mecânicas alcançados pela celulose são mostrados nas Tabelas 13 e 14.

Os resultados referentes às equações de regressão simples são mostrados na Tabela 15.

Tabela 13. Valores das propriedades físico-mecânicas encontrados para a celulose de *P. caribaea* var. *hondurensis* obtida de madeira não-descascada.

°SR	Tração (m)	Arrebatamento (Ind. arreb.)	Rasgo (Ind. Rasgo)	Dobras (N°)	Porosidade (seg/100 cm <sup>3</sup> )	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )
9	2614	18,5	223	34	0	0,367
12	2617	12,4	224	17	0	0,359
13	2740	15,6	229	29	0	0,368
18	6395	49,5	166	838	1,8	0,536
19	6378	51,2	163	810	1,4	0,518
28	7285	50,2	161	1458	8,1	0,558
29	7246	52,4	153	852	7,3	0,550
36	7339	53,1	137	748	15,6	0,557
37	6097	49,8	134	895	18,5	0,563
45	6897	50,1	140	904	27,4	0,562
46	7725	59,1	144	941	25,5	0,561
53	8492	61,2	130	842	65,8	0,592
58	7426	53,0	140	885	64,8	0,556
59	7667	51,8	124	761	80,3	0,581
69	6920	47,9	121	1040	147,7	0,576

Tabela 14. Valores das propriedades físico-mecânicas encontrados para a celulose de *P. caribaea* var. *hondurensis* obtidas de madeira descascada.

°SR	Tração (m)	Arrebatamento (Ind. arreb.)	Rasgo (Ind. Rasgo)	Dobras (N°)	Porosidade (seg/100 cm <sup>3</sup> )	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )
12	2226	13,1	236	14	0	0,367
12	1802	12,5	208	12	0	0,359
13	2012	12,9	221	13	0	0,368
18	5446	39,1	213	1189	1,8	0,536
18	5398	38,0	212	1201	1,4	0,518
20	4918	34,0	219	557	8,1	0,518
35	5335	43,0	164	1624	7,3	0,558
38	5671	39,9	151	952	15,6	0,550
44	5711	42,5	141	1130	18,5	0,557
44	5513	45,7	162	1400	27,4	0,563
56	5989	43,3	146	1163	25,5	0,562
56	5976	40,8	132	905	65,8	0,561
64	5747	43,7	135	1140	64,8	0,592
65	6224	41,5	114	1465	80,3	0,556
68	6193	43,9	116	1396	147,7	0,576

Propriedade	Celulose	Equação	Coef. correlação (r)	Teste F	Teste de comparação	
					C <sub>calculado</sub>	C <sub>tabela</sub>
Peso esp. apar.	mad. não-desc.	$Y = 0,6286 - 2,6390/X$	0,9317	85,49**	1,40 <	3,37
	mad. desc.	$Y = 0,6280 - 3,0161/X$	0,9387	96,56**		
Porosidade	mad. não-desc.	$Y = -37,3439 + 1,9291/X$	0,8818	45,47**	2,21 <	3,37
	mad. desc.	$Y = -25,9152 + 1,3979/X$	0,9284	81,16**		
Res. dobras	mad. não-desc.	$LN(Y) = 7,8976 - 43,9988 (1/X)$	0,8597	36,81**	1,04 <	3,57
	mad. desc.	$LN(Y) = 8,5596 - 61,8095 (1/X)$	0,8597	36,17**		
Res. rasgo	mad. não-desc.	$LOG(Y) = 6,1098 - 0,3124 LOG (X)$	0,9454	109,56**	5,44 >	3,37
	mad. desc.	$LOG(Y) = 6,3686 - 0,3639 LOG (X)$	0,9566	136,96**		
Res. arrebent.	mad. não-desc.	$Y = 64,3424 - 469,6493/X$	0,8684	39,87**	8,82 >	3,37
	mad. desc.	$Y = 52,2426 - 425,8348/X$	0,9122	64,40**		
Res. tração	mad. não-desc.	$Y = 8.771,1824 - 61.242,7064/X$	0,9112	63,58**	11,65 >	3,37
	mad. desc.	$Y = 7.229,8550 - 56.757,7013/X$	0,9070	60,34**		

As propriedades físico-mecânicas das celuloses não-branqueadas de *P. caribaea* var. *hondurensis* foram analisadas quanto ao comportamento das curvas de suas equações de regressão em função do grau de refinação (°SR).

A aplicação do teste de comparação entre linhas de regressão revelou igualdade estatística entre as celuloses obtidas no que diz respeito ao peso específico, porosidade, resistência a dobras. Com relação à resistência ao rasgo, resistência ao arrebentamento e resistência ao rasgo na presença da casca junto à madeira fez com que houvesse uma diminuição da mesma, para a celulose obtida de madeira não-descascada. Ao longo da refinação a celulose de madeira não-descascada. Ao longo da refinação a celulose de madeira não-descascada apresentou valores inferiores. No caso da resistência ao arrebentamento e tração a presença de casca fez com que se observasse uma superioridade nos valores dessas resistências ao longo da refinação.

Em resumo, com exceção da resistência ao rasgo, as demais propriedades físico-mecânicas de celulose de madeira não-descascada se igualaram e algumas vezes suplantaram de modo significativo as propriedades físico-mecânicas da celulose de madeira descascada.

### 3.3.2. *Eucalyptus grandis*

#### 3.3.2.1. Caracterização da madeira e da casca

A porcentagem média de casca na madeira não-descascada, a densidade básica e a caracterização química média da madeira e casca são mostrados nas tabelas 16 e 17.

Tabela 16. Percentagem média de casca em volume e em peso no tronco de *E. grandis* até o diâmetro de 6 cm.

	em volume	em peso
% de casca	15,9	11,0

Tabela 17. Densidade básica e análises químicas da madeira e da casca de *E. grandis*

	madeira	casca
Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )	0,494	0,322
Teor de extrativos solúveis em:		
- água quente (%)	6,1	21,3
- álcool benzeno (%)	2,6	7,5
- NaOH (1%) (%)	15,8	36,7
Teor de celulose Cross & Bevan	52,7	44,5
Teor de lignina	22,8	16,0
Teor de pentosanas	16,5	16,0
Teor de cinzas	0,2	1,9

Com relação à densidade básica, a madeira do eucalipto apresentou um resultado médio inferior aos valores normalmente encontrados para a espécie nesta idade. A casca por sua vez apresentou densidade inferior à da madeira.

Nas análises químicas deve-se destacar o teor de celulose encontrado na casca e que deve ser considerado razoável se a considerarmos como matéria-prima para produção de celulose nos cozimentos. Quanto a lignina, seu teor foi mais baixo na casca que na madeira. Convém salientar que *BROWNIN G (1963)* cita a ocorrência de solubilização de uma boa parte da lignina da casca quando se aplica o método de análise utilizado neste trabalho. Tal fato talvez tenha se sucedido neste caso.

Destaca-se ainda um mais alto teor de extrativos e cinzas na casca que na madeira.

O teor de pentosanas foi semelhante tanto para casca como para madeira, estando de acordo com resultados por *MARTIN e BROWN (1956)* em estudos com *P. echinata*.

### 3.2.2.2. Produção de celulose (cozimentos)

Os resultados médios dos cozimentos são mostrados na tabela 18.

Tabela 18. Rendimentos e teor de rejeitos

	madeira não- descascada	madeira descascada	Teste F
Rendto. Bruto (%)	50,3	52,2	115,25**
Rendto. depurado (%)	50,0	51,9	96,11**
Rejeitos (%)	0,30	0,40	1,01 n.s.

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

n.s. não significativo

Na obtenção de celuloses comparáveis à um mesmo grau de deslignificação (número de permanganato =  $17,0 \pm 1,0$ ), as condições exigidas para madeira descascada. Tal qual ocorreu para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para a obtenção de celulose não-branqueada com o número de permanganato visado necessitou-se somente do acréscimo de 1% no teor de álcali ativo do licor.

Nos cozimentos de madeira não-descascada observou-se uma redução média de 2% nos rendimentos em celulose. Essa redução embora estatisticamente significativa, se comparada com a apresentada pela madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* foi inferior. Isto pode ser explicado pelo menor teor de casca presente nos cozimentos com madeira não-descascada de eucalipto aliada à sua melhor composição química.

A redução nos rendimentos em celuloses devido a presença de casca é confirmada por estudos realizados com madeira de folhosas por *KAWASE e SUSUKI (1967)*, *WIEDERMANN (1972)* e particularmente para o eucalipto por *FOELKEL et alii (1977)*.

Com relação ao teores de rejeitos, os mesmos podem ser considerados normais para as condições de cozimento empregadas para a espécie, tanto para madeira não-descascada como para madeira descascada. A presença da casca não exerceu influência significativa sobre o conteúdo de rejeitos das celuloses nas condições utilizadas para suas obtenções.

### 3.3.2.3. Análises químicas das celuloses

Os resultados das análises químicas das celuloses são mostrados na tabela 19.

Tabela 19. Análise química das celuloses

Teor (%)	madeira não-descascada	madeira descascada	Teste F
Holocelulose	96,2	95,8	0,77 n.s.
Pentosanas	17,2	17,1	1,17 n.s.
Cinzas	0,91	0,79	7,41*

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade  
n.s. não-significativo

Os resultados obtidos para teor de holocelulose e pentosanas das celuloses foram estatisticamente semelhantes. Diferenças foram sentidas quanto a teor de cinzas, o qual se mostrou superior na celulose de madeira não-descascada. O teor de cinzas da casca, cerca de 9,5 vezes superior aos da madeira, refletiu portanto de modo significativo sobre o teor de cinzas da celulose.

### 3.3.2.4. Propriedades óticas das celuloses.

Os resultados encontrados para alvura e opacidade das celuloses são mostrados na tabela 20.

Tabela 20. Alvura e opacidade das celulosas

	madeira não-descascada	madeira descascada	Teste F
Alvura	31,4	37,7	261,81**
Opacidade	68,6	62,0	272,35**

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Os resultados obtidos para a celulose de madeira não-descascada em comparação com aqueles obtidos para a celulose de madeira descascada mostraram diferenças altamente significativas quanto a alvura e opacidade. Assim é que a alvura da celulose não-branqueada de madeira não-descascada mostrou-se inferior na média, em cerca de 6,2% em relação à celulose obtida de madeira descascada. Com relação à opacidade houve por sua vez um acréscimo de 6,2% para a celulose obtida de madeira não-descascada. Particularmente para o caso de alvura os resultados estão de acordo com os de *AUCHTER (1973)* obtidos para madeira não-descascada de *Populus spp.*

### 3.3.2.5. Análise anatômica das fibras nas celulosas

Os resultados para comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura de parede são mostrados na tabela 21.

Tabela 21. Comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura de parede das fibras nas celulosas.

	madeira não-descascada	madeira descascada	Teste F
Comprimento (mm)	0,88	0,88	0,17 n.s.
Largura ( $\mu$ )	17,34	17,18	0,80 n.s.
D. lúmen ( $\mu$ )	7,16	7,14	0,024 n.s.
E. parede ( $\mu$ )	5,05	5,06	0,012 n.s.

n.s. não-significativo

A análise anatômica das fibras com relação ao comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede nas celulosas de eucalipto mostrou não existir nenhuma influência significativa sobre os mesmos em razão da presença de casca nos cozimentos de madeira não-descascada.

### 3.3.2.6. Propriedades físico-mecânicas

Os resultados referentes às propriedades físico-mecânicas alcançados pelas celulosas são mostrados nas tabelas 22 e 23.

Os resultados referentes às equações de regressão simples são mostrados na tabela 24.

Tabela 22. Valores das propriedades físico-mecânicas encontrados para a celulose obtida de madeira descascada de *E. grandis*

°SR	Tração (m)	Arrebatamento (Ind. Arreb.)	Rasgo (Ind. Rasgo)	Dobras (N°)	Porosidade (seg/100 cm <sup>3</sup> )	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )
9	2614	18,5	223	34	0	0,367
12	2617	12,4	224	17	0	0,359
13	2740	15,6	229	29	0	0,368
18	6395	49,5	166	838	1,8	0,536
19	6378	51,2	163	810	1,4	0,518
28	7285	50,2	161	1458	8,1	0,558
29	7246	52,4	153	852	7,3	0,550
36	7339	53,1	137	748	15,6	0,557
37	6097	49,8	134	895	18,5	0,563
45	6897	50,1	140	904	27,4	0,562
46	7725	59,1	144	941	25,5	0,561
53	8492	61,2	130	842	65,8	0,592
58	7426	53,0	140	885	64,8	0,556
59	7667	51,8	124	761	80,3	0,581
69	6920	47,9	121	1040	147,7	0,576

Tabela 23. Valores das propriedades físico-mecânicas encontradas para a celulose de *P. caribaea* var. *hondurensis* obtidas de madeira descascada de *E. grandis*.

°SR	Tração (m)	Arrebatamento (Ind. Arreb.)	Rasgo (Ind. Rasgo)	Dobras (N°)	Porosidade (seg/100 cm <sup>3</sup> )	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )
12	2226	13,1	236	14	0	0,367
12	1802	12,5	208	12	0	0,359
13	2012	12,9	221	13	0	0,368
18	5446	39,1	213	1189	1,8	0,536
18	5398	38,0	212	1201	1,4	0,518
20	4918	34,0	219	557	8,1	0,518
35	5335	43,0	164	1624	7,3	0,558
38	5671	39,9	151	952	15,6	0,550
44	5711	42,5	141	1130	18,5	0,557
44	5513	45,7	162	1400	27,4	0,563
56	5989	43,3	146	1163	25,5	0,562
56	5976	40,8	132	905	65,8	0,561
64	5747	43,7	135	1140	64,8	0,592
65	6224	41,5	114	1465	80,3	0,556
68	6193	43,9	116	1396	147,7	0,576



Tabela 24. Equações de regressão simples para os testes físico-mecânicos correlacionados com °SR para *E. grandis*

Propriedade	Celulose	Equação	Coef. correlação (r)	Teste F	Teste de comparação	
					C <sub>calculado</sub>	C <sub>tabela</sub>
Peso esp. apar.	mad. não-desc.	$Y = 0,2109 + 0,1030LN(X)$	0,9816	343,56**	1,66 <	3,37
	mad. desc.	$Y = 0,2383 + 0,0927LN(X)$	0,9657	179,75**		
Porosidade	mad. não-desc.	$LN(Y) = -0,9867 + 0,0892X$	0,9813	337,76**	10,03 >	3,37
	mad. desc.	$LN(Y) = -0,6335 + 0,0705X$	0,9845	411,85**		
Res. dobras	mad. não-desc.	$LN(Y) = 8,8419 - 64,3493(1/X)$	0,9823	358,24**	3,72 >	3,57
	mad. desc.	$LN(Y) = 8,1945 - 60,8042(1/X)$	0,9702	209,05**		
Res. rasgo	mad. não-desc.	$LN(Y) = 4,8892 - 11,0935(1/X)$	0,9554	136,13**	9,94 >	3,37
	mad. desc.	$LN(Y) = 4,8246 - 7,7076(1/X)$	0,8945	52,08**		
Res. arrevent.	mad. não-desc.	$LN(Y) = 4,6600 - 20,1148(1/X)$	0,9902	653,69**	3,42 ,	3,37
	mad. desc.	$LN(Y) = 4,4829 - 18,9135(1/X)$	0,9723	224,60**		
Res. tração	mad. não-desc.	$LN(Y) = 9,3699 - 12,5204(1/X)$	0,9824	359,81**	3,34 ,	3,37
	mad. desc.	$LN(Y) = 9,2247 - 11,2647(1/X)$	0,9575	143,50**		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Y = propriedade

X = °SR

Tal como realizado para o *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, as propriedades físico-mecânicas das celuloses não-branqueadas do *E. grandis* foram analisados quanto ao comportamento das curvas de suas equações de regressão em função do grau de refinação (°SR).

A aplicação do teste de comparação entre linhas de regressão revelou igualdade estatística entre a celulose de madeira não-descascada e madeira descascada, no que diz respeito ao peso específico aparente e resistência à tração. Com relação à porosidade, resistência à dobras, resistência ao rasgo e resistência ao arreventamento o teste por sua vez revelou a existência de diferenças entre as celuloses. Para estas propriedades houve sempre uma superioridade de valores ao longo da curva de refinação para a celulose de madeira não-descascada.

Em resumo para as propriedades físico-mecânicas das celuloses a presença de casca fez com que a maioria delas mostrassem valores que suplantaram de modo significativo aqueles valores encontrados para a celulose de madeira descascada. A presença da cascano caso foi bastante benéfica, contrariamente aos resultados obtidos por *BROWN (1956)* para *Quercus* spp, o qual relata redução nas resistências físico-mecânicas das celuloses de madeira não-descascada.

### 3.2.2.7. Branqueamento da celulose de *E. grandis*

Os resultados dos rendimentos dos branqueamentos e rendimento final em celulose branqueada são mostrados na Tabela 25.

Tabela 25. Rendimentos dos branqueamentos e rendimento final em celulose branqueada de *Eucalyptus grandis*.

	madeira não- descascada	madeira descascada	Teste F
Rendto. do branqueamento (%)	98,0	98,0	0,12 n.s.
Rendimento final em celulose branqueada	49,0	50,8	-

n.s. não-significativo

Com relação aos rendimentos dos branqueamentos das celuloses de eucalipto não houve diferença significativas entre os mesmos ao se comparar os valores obtidos para celulose de madeira não-descascada e os valores obtidos para celulose de madeira descascada. Portanto, a presença de casca não exerceu influência estatisticamente significativa sobre os rendimentos dos branqueamentos.

Ao se considerar o rendimento final em celulose branqueada pode-se observar a influência significativa da presença da casca. Tal como ocorreu para o caso da celulose não-branqueada, a celulose branqueada de madeira não-descascada apresentou um rendimento inferior ao de celulose de madeira descascada.

### 3.3.2.8. Análises químicas das celuloses branqueadas de *E. grandis*

Os resultados das análises químicas das celuloses branqueadas são mostrados na tabela 26.

Tabela 26. Análises químicas das celuloses branqueadas de *E. grandis*.

	madeira não- descascada	madeira descascada	Teste F
Holocelulose (%)	98,8	98,5	0,38 n.s.
Cinzas (%)	1,0	0,9	3,23 n.s.

n.s. não significativo

Analisadas quimicamente quanto aos teores de holocelulose cinzas, as celuloses branqueadas de eucalipto não mostraram diferenças estatisticamente significativas entre os valores encontrados ao se comparar celulose de madeira não-descascada com celulose de madeira descascada. A presença de casca não foi portanto suficiente para influir nas propriedades químicas das celuloses branqueadas do eucalipto.

### 3.3.2.9. Propriedades óticas das celuloses branqueadas de *E. grandis*

Os resultados das propriedades óticas são mostrados na Tabela 27.

Tabela 27. Propriedades óticas das celulosas branqueadas de *E. grandis*

Propriedade	madeira não-descascada	madeira descascada	Teste F
Alvura	81,8	83,8	17,19**
Opacidade	69,1	63,8	162,54**

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

Conforme ocorreu para as celulosas não-branqueadas o teor de casca presente nos cozimentos exerceu influência estatisticamente significativa sobre as propriedades óticas das celulosas branqueadas. Assim é que, a alvura da celulose branqueada obtida de madeira não-descascada apresentou valor 2,0% inferior em relação à alvura da celulose branqueada obtida de madeira descascada. Com relação à opacidade houve por sua vez um acréscimo de 5,3% em seu valor para a celulose obtida de madeira não-descascada.

No caso de coníferas *HORN e AUCHTER (1972)* encontraram também um decréscimo na alvura das celulosas branqueadas obtidas de madeira não-descascada.

#### 3.2.2.10. Viscosidade das celulosas branqueadas de *E. grandis*

Os resultados encontrados para viscosidade são mostrados na tabela 28.

Tabela 28. Viscosidade das celulosas branqueadas de *E. grandis*

	madeira não-descascada	madeira descascada	Teste F
Viscosidade (cp)	14,2	14,3	0,42 n.s.

n.s. não-significativo

Tanto a celulose branqueada obtida de madeira não-descascada como a celulose branqueada obtida de madeira descascada apresentaram valores para viscosidade que comparados estatisticamente entre si não revelaram diferenças significativas. A presença de casca não influi, portanto nas viscosidades das celulosas branqueadas.

#### 4. ASPECTOS ECONÔMICOS DO USO DA MADEIRA NÃO-DESCASCADA DE *P. caribaea* VAR. *hondurensis* e *E. grandis*.

A crescente demanda de madeira para produção de celulose e papel impõe ao setor a necessidade premente do desenvolvimento de técnicas que possibilitem aumentar o rendimento por estéreo de madeira cortada ou por unidade de área explorada.

Considerando-se o longo tempo de maturação da floresta e o montante investido, é fundamental aliar-se os conceitos técnicos de industrialização aos princípios econômicos. Visa-se com isso, o aproveitamento mais racional e a economicidade desta matéria-prima que se escasseia a cada momento.

Assim é que, à vista da viabilidade da utilização da casca no processamento industrial para obtenção de celulose, foram tecidas algumas considerações de cunho financeiro. Para tanto, foram levados em conta os resultados técnicos obtidos neste trabalho, comparando-se os custos envolvidos nas principais etapas de todo o processo, em relação à quantidade de madeira necessária em cada caso.

#### 4.1. *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

##### 4.1.1. Condições pré-estabelecidas

- densidade básica da madeira (g/cm <sup>3</sup> ).....	0,418
- densidade básica da casca (g/cm <sup>3</sup> ).....	0,508
- densidade básica ponderada da madeira não-descascada (g/cm <sup>3</sup> ).....	0,436
- teor de casca em peso na madeira não-descascada (%).....	20,9
- rendimento depurado cozimento de madeira não-descascada (%).....	42,1
- rendimento depurado cozimento de madeira descascada (%).....	45,9
- fator de empilhamento.....	1,6
- custo da madeira descascada em pé (Cr\$/m <sup>3</sup> )*.....	64,00
- custo da madeira descascada posto carreador (Cr\$/m <sup>3</sup> )*.....	48,90
- custo do recebimento da madeira descascada (Cr\$/m <sup>3</sup> )*.....	0,70
- custo do recebimento da madeira (Cr\$/m <sup>3</sup> ).....	25,00
- custo do carregamento de madeira descascada (Cr\$/m <sup>3</sup> )*.....	5,30
- custo de transporte da madeira descascada (raio de 25 km) (Cr\$/m <sup>3</sup> )*.....	17,10
- custo de NaOH (Cr\$/kg)*.....	7,00
- custo de Na <sub>2</sub> S (Cr\$/kg)*.....	5,20

\* valores médios para o Estado de São Paulo no 3º trimestre de 1978.

##### 4.1.2. Quantidade de madeira para produção de 1 tonelada de celulose seca não-branqueada.

Com base nos rendimentos dos cozimentos aqui obtidos para a obtenção de 1 tonelada de celulose seca não-branqueada seriam necessários:

- madeira não-descascada (R = 42,1% e D.b. = 0,436 g/cm<sup>3</sup>) →

2,375,3 kg secos ou  
5,45 m<sup>3</sup> recém - cortados

- madeira descascada (R = 45,9% e D.b. = 0,418 g/cm<sup>3</sup>) →

2.178,6 kg secos ou  
5,21 m<sup>3</sup> recém - cortados

##### 4.1.3. Participação quantitativa de madeira e casca para a produção de 1 tonelada de celulose seca utilizando-se madeira não-descascada.

Quando a madeira não-descascada é utilizada, a casca substitui parte da madeira que seria necessária para a produção de celulose. Deste modo, sobre a quantidade de madeira não-descascada, a participação efetiva da madeira seria reduzida em 20,9% em peso correspondente à casca. Teríamos então:

- participação da casca (20,9% em peso sobre madeira não-descascada) →

496,9 kg secos ou  
0,98 m<sup>3</sup> recém-cortados

- participação da madeira (79,1% em peso sobre madeira não-descascada)

1,878,4 kg secos ou  
4,49 m<sup>3</sup> recém-cortados

4.1.4. Redução na quantidade de madeira necessária para a produção de 1 tonelada de celulose seca não-branqueada ao se utilizar madeira não-descascada.

Comparando-se as quantidades de madeira efetivamente necessárias para a produção de 1 tonelada de celulose quais sejam:

2.178,6 kg secos de madeira (madeira descascada) e,  
1.878,4 kg secos de madeira (madeira não-descascada)

observa-se uma diferença equivalente de →

300,2 kg secos ou,  
0,72 m<sup>3</sup> recém-cortados

A diferença acima corresponde à redução efetiva de madeira, quando se utiliza madeira não-descascada comparativamente à madeira descascada para a produção de 1 tonelada de celulose seca não-branqueada.

4.1.5. Principais custos diretos envolvidos para a produção de 1 tonelada de celulose seca não-branqueada.

Computando-se os custos operacionais e as quantidades de madeira envolvidas, tem-se os seguintes custos diretos envolvidos na obtenção de matéria-prima para produção de 1 tonelada de celulose seca:

- madeira descascada (5,21 m <sup>3</sup> madeira/tonelada celulose): -			
: madeira em pé	(Cr\$ 64,00/m <sup>3</sup> )	→	Cr\$ 333,44
: madeira posto carreador	(Cr\$ 48,90/m <sup>3</sup> )	→	Cr\$ 254,77
: recebto. da madeira	(Cr\$ 0,70/m <sup>3</sup> )	→	Cr\$ 3,65
: descascamento	(Cr\$ 25,00/m <sup>3</sup> )	→	Cr\$ 130,25
: carregamento	(Cr\$ 5,30/m <sup>3</sup> )	→	Cr\$ 27,61

: transporte (Cr\$ 17,10/m<sup>3</sup>) → Cr\$ 89,09

Custo Total.....Cr\$ 847,91

- madeira não-descascada (4,49m<sup>3</sup> de madeira + 0,98m<sup>3</sup> de casca = 5,47m<sup>3</sup>/tonelada de celulose): -

: madeira em pé	(Cr\$ 64,00/m <sup>3</sup> )*	→	Cr\$ 287,36
: madeira posto carreador	(Cr\$ 48,90/m <sup>3</sup> )*	→	Cr\$ 219,56
: recebimento da madeira	(Cr\$ 0,86/m <sup>3</sup> **	→	Cr\$ 4,70
: descascamento		→	-
: carregamento	(Cr\$ 6,62/m <sup>3</sup> **	→	Cr\$ 36,21
: transporte	(Cr\$ 21,28/m <sup>3</sup> **	→	Cr\$ 116,94

Custo Total.....Cr\$ 628,56

: recebimento da madeira: -

1m<sup>3</sup> de madeira descascada custa Cr\$ 0,70. como em 1m<sup>3</sup> de madeira não-descascada existem apenas 0,8 m<sup>3</sup> de madeira tem-se que considerar os 0,2m<sup>3</sup> relativos à casca:

0,8 m <sup>3</sup>	→	Cr\$ 0,70
1 m <sup>3</sup>	→	y

y = Cr\$ 0,86

: carregamento: -

1m<sup>3</sup> de madeira descascada tem um custo de carregamento de Cr\$ 5,30. Ocorre que em 1m<sup>3</sup> de madeira não-descascada existem somente 0,8 m<sup>3</sup> de madeira. Tem-se então que computar os 0,2 m<sup>3</sup> de carregamento de casca: -

0,8 m <sup>3</sup>	→	Cr\$ 5,30
1 m <sup>3</sup>	→	z

z = Cr\$ 6,62

: transporte: -

mesmo raciocínio anterior. Tem-se então: -

0,8 m <sup>3</sup>	→	Cr\$ 17,10
1 m <sup>3</sup>	→	v

v = Cr\$ 21,38

\* Para se obter uma tonelada de celulose a partir de madeira não descascada seria necessário produzir o equivalente de 0,72m<sup>3</sup> a menos de madeira descascada (4,49 m<sup>3</sup> sem casca).

\*\* Custo por m<sup>3</sup> de madeira não-descascada, corrigidos mediante a utilização do fator = 0,8 relativo à conversão do m<sup>3</sup> com casca para m<sup>3</sup> sem casca, como mostrado a seguir:

4.1.6. Redução no custom final da matéria-prima ao se utilizar madeira não-descascada.

Como foi visto no item anterior, os custos diretos envolvidos na obtenção de matéria-prima para a produção de 1 tonelada de celulose seca foram de: -

: madeira descascada	→	Cr\$ 847,81
: Madeira não-descascada	→	Cr\$ 628,56

Tais valores confrontados mostram uma redução de:

Cr\$ 219,25/tonelada de celulose seca, ao se utilizar madeira não descascada.

4.1.7. Custo adicional por tonelada de celulose resultante do acréscimo de 1% no consumo de álcali ativo no cozimento de madeira não-descascada.

Para a produção de 1 tonelada de celulose segundo os resultados deste trabalho, os consumos de álcali ativo, sem levar-se em conta sistemas de recuperação são da ordem de: -

: madeira descascada	→	370,36 kg como Na <sub>2</sub> O
: madeira não-descascada	→	427,55 kg como Na <sub>2</sub> O

Portanto, são necessários 57,2 kg adicionais de álcali ativo quando se utiliza madeira não-descascada, que correspondem a:

14,3 kg de Na <sub>2</sub> S (como Na <sub>2</sub> O)	→	17,7 kg de Na <sub>2</sub> S
42,9 kg de NaOH (como Na <sub>2</sub> O)	→	54,9 kg de NaOH

A preços de hoje, os custos destes compostos somam a:

17,7 kg de Na <sub>2</sub> S	x Cr\$ 5,20 = Cr\$ 92,04
42,9 kg de NaOH	x Cr\$ 7,00 = Cr\$ 300,30

ou seja um total de .....Cr\$ 392,34

Portanto um acréscimo de 1% no consumo de álcali ativo resulta custo adicional de:

Cr\$ 392,34/Ton celulose

4.1.8. Economicidade obtida utilizando-se casca como matéria-prima versus custo adicional de álcali ativo.

Conforme o item 4.1.6., há uma economia de cerca de Cr\$ 219,25/ton celulose seca produzida ao se utilizar madeira não-descascada. Por outro lado, como mostrado no item 4.1.7., o uso dessa madeira não-descascada resulta num custo adicional de álcali ativo da

ordem de Cr\$ 392,34 por tonelada de celulose seca, na ausência de recuperação de químicos.

Confrontados a redução no custo final da matéria-prima e os custos adicionais em álcali obtém-se:

$$\text{Cr\$ } 219,25 - \text{Cr\$ } 392,34 = \text{Cr\$ } 173,09$$

que correspondem ao valor final acrescido no processo total de utilização da madeira não-descascada de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, para a obtenção de 1 tonelada de celulose seca não-branqueada.

4.1.9. Economicidade obtida utilizando-se a madeira não-descascada de *P. caribaea* como matéria-prima, com a existência de sistema de recuperação de produtos químicos.

O custo adicional de álcali corresponde à Cr\$ 392,34/ton de celulose se reduzirá sensivelmente se for suposta a existência de uma recuperação de produtos químicos do licor negro. Em média considera-se a possibilidade de recuperação de 90% dos produtos químicos do processo sulfato, sendo portanto necessária a reposição de somente 10%. Em função disto o custo adicional de álcalis seria de:

$$10\% \text{ de Cr\$ } 392,34 \rightarrow \text{Cr\$ } 39,23/\text{ton}$$

Confrontando-se este custo adicional com a economicidade em matéria-prima obtém-se uma economia final por tonelada de celulose não-branqueada de:

$$\text{Cr\$ } 219,25 - \text{Cr\$ } 39,23 = 180,02$$

## 4.2. *Eucalyptus granids*

### 4.2.1. Condições pré-estabelecidas

- densidade básica da madeira (g/cm <sup>3</sup> ).....	0,494
- densidade básica da casca (g/cm <sup>3</sup> ).....	0,322
- densidade básica ponderada da madeira não-descascada (g/cm <sup>3</sup> ).....	0,475
- teor de casca em peso na madeira não-descascada (%).....	11,0
- rendimento depurado cozimento de madeira não-descascada (%).....	50,0
- rendimento depurado cozimento de madeira descascada (%).....	51,9
- fator de empilhamento.....	1,4
- custo da madeira descascada em pé (Cr\$/m <sup>3</sup> )*.....	60,00
- custo da madeira descascada posto carreador (Cr\$/m <sup>3</sup> )*.....	30,00
- custo do descascamento da madeira (Cr\$/m <sup>3</sup> )*.....	45,00
- custo do carregamento de madeira descascada (Cr\$/m <sup>3</sup> )*.....	5,00
- custo de transporte da madeira descascada (raio de 25 km) (Cr\$/m <sup>3</sup> )*.....	20,00
- custo de NaOH (Cr\$/kg)*.....	7,00
- custo de Na <sub>2</sub> S (Cr\$/kg)*.....	5,20

\* valores médio para o Estado de São Paulo no 3º trimestre de 1978.



4.2.2. Quantidade de madeira para a produção de 1 tonelada de celulose seca não-branqueada.

Com base nos rendimentos dos cozimentos aqui realizados, para a obtenção de 1 tonelada de celulose seca não-branqueada seriam necessárias:

- madeira não-descascada ( $R = 50,0\%$  e  $D.b. = 0,475 \text{ g/cm}^3$ ) →

2.000,0 kg secos ou  
4,21 m<sup>3</sup>

- madeira descascada ( $R = 51,9\%$  e  $D.b. = 0,494 \text{ g/cm}^3$ ) →

1.926,7 kg secos ou  
3,90 m<sup>3</sup>

4.2.3. Participação quantitativa de madeira e casca para a produção de 1 tonelada de celulose seca utilizando-se madeira não-descascada.

Quanto a madeira não-descascada é utilizada, a casca substitui parte da madeira que seria necessária para a produção de celulose. Teríamos então:

- participação da casca (11,0% em peso sobre madeira não desc.)

220, kg secos ou  
0,68m<sup>3</sup> recém-cortados

- participação da madeira (89,0% em peso sobre madeira não-descascada)

1,780,0 kg secos ou  
3,60 m<sup>3</sup> recém-cortados

4.2.4. Redução na quantidade de madeira necessária para a produção de 1 tonelada de celulose seca não-branqueada ao se utilizar madeira não-descascada.

Comparando-se as quantidades de madeira efetivamente necessários para a produção de 1 tonelada de celulose quais sejam:

1,926,7 kg de madeira (madeira descascada) e,  
1.780,0 kg de madeira (madeira não-descascada).

observa-se uma diferença de

146,7 kg secos ou  
0,30 m<sup>3</sup> recém-cortados

A diferença representa a redução efetiva de madeira quando se utiliza madeira não-descascada, em comparação com a madeira descascada para a produção de 1 tonelada de celulose seca.

#### 4.2.5. Principais custos diretos envolvidos para a produção de 1 tonelada de celulose seca não-branqueada

Computando-se os custos de operação e as quantidades de madeira envolvida, obtém-se os seguintes custos diretos na utilização de matéria-prima para a produção de 1 tonelada de celulose seca:

- madeira descascada (3,90 m<sup>3</sup> madeira/tonelada de celulose):

: madeira em pé	(Cr\$ 60,00/m <sup>3</sup> )	→	Cr\$ 234,00
: corte + desdobramento	(Cr\$ 30,00/m <sup>3</sup> )	→	Cr\$ 117,00
: descascamento	(Cr\$ 45,00/m <sup>3</sup> )	→	Cr\$ 175,50
: carregamento	(Cr\$ 5,00/m <sup>3</sup> )	→	Cr\$ 19,50
: transporte	(Cr\$ 20,00/m <sup>3</sup> )	→	Cr\$ 78,00

Custo Total.....Cr\$ 624,00

- madeira não-descascada (3,60 m<sup>3</sup> de madeira + 0,68 m<sup>3</sup> de casca = 4,28 m<sup>3</sup>/tonelada de celulose). -

: madeira em pé	(Cr\$ 60,00/m <sup>3</sup> )*	→	Cr\$ 216,00
: corte + desdobramento	(Cr\$ 30,00/m <sup>3</sup> )*	→	Cr\$ 108,00
: descascamento		→	-
: carregamento	(Cr\$ 6,09/m <sup>3</sup> )*	→	Cr\$ 26,06
: transporte	(Cr\$ 24,39/m <sup>3</sup> )	→	Cr\$ 104,38

Custo Total.....Cr\$ 454,44

\* Observação: Os custos por metro cúbico foram corrigidos devido a presença de casca junto à madeira não-descascada. O procedimento foi semelhante ao utilizado para a madeira não-descascada de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

#### 4.2.6. Redução no custo final da matéria-prima ao se utilizar madeira não-descascada

Comparando-se os custos totais de obtenção de madeira para a produção de 1 tonelada de celulose quais sejam:

: madeira descascada	→	Cr\$ 624,00
: madeira não-descascada	→	Cr\$ 454,44

Observa-se uma redução de

Cr\$ 169,56/tonelada de celulose seca

ao se utilizar madeira não-descascada

4.2.7. Custo adicional por tonelada de celulose resultante do acréscimo de 1% no consumo de álcali ativo do cozimento de madeira não-descascada.

Para a produção de 1 tonelada de celulose, segundo os resultados deste trabalho os consumos de álcali ativo sem levar-se em conta sistemas de recuperação são da ordem de: -

- madeira descascada → 269,7 kg como Na<sub>2</sub>O  
- madeira não-descascada → 300 kg como Na<sub>2</sub>O

Portanto são necessários 30,3 kg de álcali ativo adicionais quando se utiliza madeira não-descascada. Tal quantia corresponde a:

7,58 kg de Na<sub>2</sub>S (como Na<sub>2</sub>O)      9,39 kg de Na<sub>2</sub>S  
22,7 kg de NaOH (como Na<sub>2</sub>O)      29,08 kg de NaOH

Aos preços atuais desses compostos, os custos correspondem a:

9,39 kg de Na<sub>2</sub>S      x      Cr\$ 5,20 = Cr\$ 48,82  
29,08 kg de NaOH      x      Cr\$ 7,00 = Cr\$ 203,56

ou seja um total de .....Cr\$ 252,38

Portanto, um acréscimo de 1% no consumo de álcali ativo resulta num aumento no custo de álcali na ordem de

Cr\$ 252,38/ton celulose

4.2.8. Economicidade obtida utilizando-se a casca como matéria-prima versus custo adicional de álcali ativo.

Confrontando-se os custos economizados com a matéria-prima e os custos adicionais em álcali obtem-se

Cr\$ 169,56 – Cr\$ 252,38 = Cr\$ 82,82

que corresponde ao valor final acrescido no processo total de utilização de madeira não-descascada de *Eucalyptus grandis*, para a obtenção de 1 tonelada de celulose seca não-branqueada.

4.2.9. Economicidade obtida utilizando-se a madeira não-descascada de *E. grandis* como matéria-prima, com a existência de sistema de recuperação de produtos químicos.

O custo adicional de álcali correspondente à Cr\$ 252,38/ton de celulose se reduzirá sensivelmente se for suposta a existência de sistema de recuperação de produtos químicos do licor negro. Considerando-se a média de 90% dos produtos químicos do processo sulfato, a reposição necessária seria de semente 10%. Em função disto o custo adicional de álcalis seria de:

$$10\% \text{ de Cr\$ } 252,38 \rightarrow \text{Cr\$ } 25,23$$

Confrontando-se este custo adicional com a economicidade em matéria-prima, obtém-se uma economia final por tonelada de celulose não-branqueada de:

$$\text{Cr\$ } 169,56 - \text{Cr\$ } 25,23 = \text{Cr\$ } 144,33$$

## 5. CONCLUSÃO

### 5.1. *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

No presente trabalho foram realizados testes de produção de celulose sulfato com *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. e Golf. E *Eucalyptus grandis* Hill ex maiden utilizando-se madeira não-descascada e descascada. Estes testes revelaram que a presença de 21% de casca em peso na madeira não-descascada em comparação com a madeira descascada de *P. caribaea* var. *hondurensis* resultaram em:

- aumento no consumo de álcali durante os cozimentos;
- diminuição no rendimento em celulose por carga de digestor;
- nenhuma alteração no conteúdo de rejeitos da celulose;
- nenhuma alteração na composição química da celulose;
- nenhuma alteração na morfologia das fibras na celulose;
- nenhuma alteração no peso específico aparente, porosidade e resistência à dobras da celulose;
- aumento da resistência à tração e arrebentamento;
- diminuição na resistência da celulose ao rasgo;
- diminuição na alvura e,
- aumento na opacidade da celulose.

Do ponto de vista econômico, ao se utilizar madeira não-descascada para a produção de celulose não-branqueada de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* comparativamente ao uso da madeira descascada pode-se concluir que:

- a) Há uma redução de 0,72 m<sup>3</sup> de madeira recém-cortada para suprir as necessidades de matéria-prima por tonelada de celulose seca produzida.
- b) Relativamente ao custo da madeira, há uma economia de Cr\$ 219,25 por tonelada seca de celulose obtida quando se utiliza a madeira não-descascada.
- c) O consumo de 1% a mais de álcali na produção de celulose de madeira não-descascada trouxe um acréscimo de Cr\$ 392,34 nos gastos com reagentes químicos por tonelada de celulose seca, sem recuperação de produtos químicos e Cr\$ 39,23 com recuperação de produtos químicos.

- d) Computadas a redução no custo da matéria-prima e o custo adicional em reagentes químicos, para obtenção de 1 tonelada de celulose seca de madeira não-descascada, observou-se um acréscimo de Cr\$ 173,09 quando comparada com o custo final quando se utiliza madeira descascada, e sem sistema de recuperação. Com sistema de recuperação produtos químicos há uma economicidade de Cr\$ 180,02, ao se utilizar madeira não-descascada.

### 5.2. *Eucalyptus grandis*

A presença de 11% de casca em peso na madeira não-descascada em comparação com a madeira descascada de *E. grandis* resultou em:

- aumento no consumo de álcali durante os cozimentos;
- diminuição no rendimento em celulose por carga de digestor;
- nenhuma alteração no conteúdo de rejeitos da celulose;
- aumento no teor de cinzas da celulose;
- nenhuma alteração na morfologia das fibras na celulose;
- nenhuma alteração no peso específico aparente e resistência à tração de celulose;
- aumento da porosidade, resistência a dobras, resistência ao rasgo e resistência ao arrebatamento da celulose;
- diminuição na alvura e,
- aumento na opacidade da celulose.

Para a celulose branqueada de *E. grandis* obtida da madeira não-descascada houve:

- nenhuma alteração no rendimento de branqueamento;
- nenhuma alteração na composição química da celulose;
- diminuição na alvura;
- aumento na opacidade da celulose e,
- nenhuma alteração de viscosidade da celulose.

Ao se utilizar madeira não-descascada de *E. grandis*, comparativamente ao uso da madeira descascada, pode-se concluir que:

- a) Há uma redução de 0,30m<sup>3</sup> de madeira recém-cortada nas necessidades de matéria-prima por tonelada de celulose produzida.
- b) Com relação ao custo da madeira, há uma economia de Cr\$ 169,56 por tonelada seca de celulose obtida quando se utiliza a madeira não-descascada.
- c) O acréscimo de 1% a mais de álcali ativo na produção de celulose de madeira não-descascada, trouxe um acréscimo de Cr\$ 252,38 nos gastos com reagentes químicos por tonelada de celulose seca, sem recuperação produtos químicos.
- d) Computadas a redução no custo da matéria-prima e o custo adicional em reagentes químicos, da obtenção de 1 tonelada de celulose seca de madeira não-descascada, observou-se um acréscimo de Cr\$ 82,82 quando comparado com o custo final do uso da madeira descascada. Com sistema de recuperação de produtos químicos, há uma economicidade de Cr\$ 144,33 ao se utilizar madeira não-descascada.

## 6. LITERATURA CITADA

- AUCHTER, R.J., 1973. Effect of bark Content on Pulp Properties. In: 58<sup>th</sup> Annual TAPPI meeting, Chigago, 8p.
- AUCHTER, R.J. e R.A. HORN, 1973. Economics of Kraft Pulping of Unbarked Wood. *Paper Trade Journal* 6(25): 38-39.
- BARRICHELO, L.E.G. e J.O. BRITO, 1976. *A madeira das Espécies de Eucalipto como Matéria-Prima para a Indústria de Celulose e Papel*. Brasília, PRODEPEF. 145p. (PNUD/FAO/IBDF/BRA-45, Série Divulgação n<sup>o</sup> 13).
- BARRICHELO, L.E.G. e J.O. BRITO, 1978. Instruções para Coleta de Amostras de Madeira Destinadas a ensaios de Produção de Celulose. 7p. mimeografado
- BROWNING, B.L., 1963. *The Chemistry of Wood*. New York, Interscience Publishers, 689p.
- BROWN, K.J., 1956. Effect of Bark in the Sulphate Pulping of a Northern Oak Mixture. *TAPPI*. Atlanta, 39(6): 443-48.
- CASEY, J.P., 1960. *Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology*. Vol. I. N. York, Interscience Publishers, Inc. 580p.
- DAHM, H.P., 1963. Sulfitkoking av Barkskated virke. *Norsk skogindustri*. Oslo, 5: 1-7.
- FOELKEL, C.E.B., M.A.M. BRASIL e L.E.G. BARRICHELO, 1971. Métodos para Determinação da Densidade Básica de Cavacos para Coníferas e Folhosas. *IPEF* (2/3): 65-74.
- FOELKEL, C.E.B., C. ZVINAKEVICIUS, L.R.O. SIQUEIRA, J. KATO e J.O.M. ANDRADE, 1977. A Casca Desmoldulada de Eucalipto: Uma Nova Opção Como Fonte de Fibras para a Indústria de Celulose Kraft. In: *X Congresso da ABCP*. São Paulo, p.19-35.
- HAMILTON, A.D., 1950. Manufacture of Wrapper from Bark. *Pulp and Paper Mag. Canada*. Gardenvale, 51(3): 205-210.
- HORN, R.A. e R.J. AUCHTER, 1972. Kraft Pulping of Pulpwood Chips Containing Bark. *Paper Trade Journal*. New York, 6: 55-59.
- KAWASE, K. e M. SUSUKI, 1967. Fundamental Studies on the Utilization of Hardwoods Barks. *Research Bulletin of the College Experiment Forests*. Hokkaido, 25(1): 211-34.

*KEYS, J.L. e J.V. HATTON, 1974. The Effect of Bark on Wood Pulp Yield and Quality and on the Economics of Pulp Production. Vancouver, Western Forest Products Laboratory. 20p. (Information Report VP-X-126).*

*KELLER, E.L., 1950. Effect of Bark in the Neutral Sulphate Semicemical Pulping of Aspen, Hickory, and Slash Pine. TAPPI Atlanta, 33(11): 556-560.*

*KOLENSKI, L. e F. PRIMAS, 1977. Descascamento a Seco de Eucalipto em Tambores Rotativos. In: X Congresso da ABCP. São Paulo, 36-39.*

*KROGH, G. 1975. O Problema da Casca do Eucalipto. In: Seminário de Integração Floresta-Indústria. Piracicaba, IPEF, 157-164.*

*MARTIN, J.S. e J. BROWN, 1952. Effect of Bark on Yield and Quality of Sulphate Pulp from Southern Pine. TAPPI, Atlanta, 35(1): 7-10.*

*RYDHOLM, S.A., 1965. Pulping Process. N. York, Interscience Publishers, Inc. 1269p.*

*SAMUEL, R.M. e D.W. GLENNIE, 1958. Bark Tolerance of Douglas-fir Chips in Kraft Pulp Manufacture. TAPPI. Atlanta, 41(5): 250-254.*

*WIEDERMANN, A., 1972. Draft Pulping of Several Unbarked European Hardwoods. TAPPI. Atlanta, 55(8): 1209-1211.*

## MADEIRA DO EUCALIPTO: DA FLORESTA AO DIGESTOR

*Celso E. B. Foelkel\**

Não existem dúvidas, que o eucalipto, hoje consagrado na fabricação industrial de celulose, será, em futuro próximo, a fibra dominante no mundo celulósico-papeleiro, dentre as espécies de fibras curtas. A qualidade da celulose do eucalipto, hoje bem conhecida em países como Brasil, Japão, Austrália, Portugal, Espanha, França, Alemanha e Reino Unido, tenderá a se fazer conhecer e dominar em outros mercados como o asiático, africano e norte-americano.

Entretanto, o eucalipto, como é genericamente denominado, não é ainda de uma uniformidade desejável, tanto na qualidade de sua madeira como da celulose. Inúmeros fatores são responsáveis por isso, sendo os principais, a grande diversidade de espécies e híbridos existentes.

Inicialmente, a título introdutório, procurar-se-á definir o que vem a ser uma celulose de qualidade, para depois discutir como se chegar a ela, na conversão da madeira do eucalipto.

Quando se diz que uma celulose possui qualidade, quer-se referir que ela possui os requisitos necessários para certos usos finais. Desde que uma polpa se preste bem para a manufatura de um dado tipo de papel, ela possui qualidade para tal. Quanto maior o número de possíveis usos a que uma celulose se prestar, com maior sucesso que as concorrentes, melhor é a sua qualidade. Para se produzir celulose de qualidade ímpar, é essencial que o técnico disponha à mão de uma série de informações, a fim de poder controlar as etapas do processo de produção desta celulose. Existem já consagrados alguns parâmetros, que desde que controle dos pelo fabricante de celulose, conduzem a produtos finais homogêneos e de qualidade satisfatória. Os parâmetros mais usualmente controlados são: número kappa, alvura, viscosidade, sujeira, habilidade para reversão de alvura, resistências físico-mecânicas (rasgo, tração, estouro, alongação e dobramento) e propriedades óticas (coeficiente de dispersão da luz e opacidade). Com menor frequência, são também analisadas as composições químicas das celuloses e as dimensões dos elementos anatômicos. Composição química é de especial importância no caso de polpas solúveis.

Para se produzir uma celulose de qualidade, o fabricante deve atentar para o estabelecimento dos parâmetros a serem controlados, e, para quais os limites máximos e mínimos de cada um, ao longo do processo e no produto final. Com isso se atingirá uma celulose com qualidade uniforme, e que, graças ao seus predicados, é facilmente comercializada.

A história da fabricação de celulose confirmou a necessidade de se proceder a controle eficaz da qualidade do produto final. Para isso são essenciais laboratórios bem equipados para o controle rotineiro, é tão importante quanto, um laboratório de pesquisas básicas e operacionais, para desenvolvimento de novos produtos e otimizações dos produtos existentes.

No presente trabalho procurar-se-á discutir quais são os principais parâmetros que devem ser controlados no processamento a celulose da madeira do eucalipto. Este controle não se deve prender apenas ao produto acabado. Um sistema eficaz de se controlar a qualidade de uma celulose, no caso da celulose do eucalipto, deve-se iniciar na floresta,

---

\* Celulose Nipo-Brasileira S.A.



desde a escolha das espécies e sementes e terminar na fábrica consumidora, que é quem vai utilizar do produto, e se satisfazer ou não. O propósito deste relatório é cobrir apenas os principais pontos, que merecem consideração, no caminho que a madeira do eucalipto segue até o digestor da fábrica de celulose. Para isso serão desdobrados os seguintes itens:

### 1. Espécie de Eucalyptus

A espécie que se pretende utilizar em produção de celulose é o princípio básico na indústria de polpa de eucalipto. Frente ao grande número de espécies, híbridos e ecotipos dentro de cada espécie, existe ampla variação na qualidade da madeira. Evidentemente, variando-se a qualidade da madeira, variam as condições operacionais na fábrica de celulose, bem como, torna-se difícil controlar a uniformidade da celulose final. Os parâmetros de qualidade ficam mais difíceis de serem controlados, o que redundará em produto de qualidade variável, o que é pouco desejável pelos consumidores.

Embora existam inúmeros parâmetros para se controlar a qualidade da madeira para celulose, a maioria deles não define somente por si, se a madeira em questão se presta ou não para celulose. Existem, é claro, evidências da potencialidade ou não, porém, é apenas o teste de produção e ensaio da celulose que definirá a habilidade para celulose de uma dada espécie de eucalipto.

Muito trabalho tem sido realizado no sentido de se analisar quais os principais parâmetros da madeira que se relacionam com a qualidade da celulose. Para coníferas, a relação de alguns, com a qualidade da polpa, é bem definida. Para o eucalipto restam ainda muitas indagações, que merecem estudos mais amplos.

Inúmeras pesquisas vem sendo também realizadas no que diz respeito à capacitação de cada espécie, de forma geral, para conversão a polpa. Está-se, entretanto, ainda engatinhando, pois não se tem seguras informações sobre quais as espécies potenciais, além das tradicionais.

Sabe-se hoje o seguinte: a) cada espécie de eucalipto possui um potencial para conversão a celulose de determinadas qualidades; b) a qualidade da celulose pode ser melhorada até certo ponto, por técnicas que vão do campo até o processo de cozimento e branqueamento; c) o processo de melhoramento da qualidade do eucalipto para celulose alcança grandes retornos no início da sua aplicação, porém cada tipo de eucalipto possui um patamar de máxima qualidade, acima da qual torna-se difícil obter ganhos d) para a maioria das espécies de eucalipto, ainda se está na fase de ascensão da qualidade da celulose; e) os pontos de máximo para as espécies tradicionais não estão porém afastados demais do que hoje se obtém em termos de facilidade para cozimento, branqueamento e propriedades físico-mecânicas e óticas; f) novos ganhos podem ser obtidos pela melhoria dos processos tradicionais de produção de polpa, ou pela criação de processos novos, mais protetores no que diz respeito à conservação dos carboidratos.

Há em tudo isso algumas verdades que não podem ser esquecidas:

- a) o eucalipto de forma geral se deslignifica e sua celulose se branqueia facilmente, com pequenos consumos de produtos químicos e bons rendimentos;
- b) a fibra do eucalipto é curta e rígida, não havendo perspectivas, nem a longo prazo, de se obterem ganhos consideráveis quanto à comprimento de fibras e flexibilidade das mesmas.

Isso posto, pode-se concluir que a maior parte das espécies do eucalipto podem ter sua madeira e celulose melhoradas para economia em consumo de madeira e produtos químicos, em otimização no cozimento e branqueamento e em propriedades físico-mecânicas e óticas. Não se pode porém, esquecer que, pelos processos tradicionais, existe um ponto de máxima para cada espécie, além do qual os ganhos em qualidade são pequenos e talvez não justifiquem a continuação do melhoramento neste sentido. Quando este momento for alcançado, e estamos ainda afastados dele, as esperanças de novos ganhos que se tem são: a) combinação das propriedades ótimas de diversas espécies por hibridação; b) criação de novos métodos de conversão a celulose, que produzam polpas de qualidade melhor.

Outras certezas do sucesso no melhoramento da madeira e celulose do eucalipto são: a) a grande base genética representada por inúmeras espécies e ecotipos; b) a facilidade para reprodução vegetativa de material botânico de árvores superiores; c) a comprovada herdabilidade de muitos dos parâmetros de qualidade.

Retornando a espécies de eucalipto, surge invariavelmente uma primeira questão: "Qual a melhor espécie de eucalipto para celulose?". A resposta não é imediata, pois depende de inúmeros fatores locais, tais como: a) processo de produção de celulose que se está utilizando; b) adaptação da espécie na região onde está implantada a fábrica; c) disponibilidade de madeira de outras espécies.

Muitas fábricas são implantadas, visando a utilização parcial ou total de madeira de terceiros. Neste caso devem conviver com as espécies plantadas na região, até que um plano de fomento próprio consigo introduzir nas vizinhança, a espécie desejada. Outras fábricas se implantam em regiões onde as espécies tradicionais não vão bem por motivos diversos: incidência de geadas susceptibilidade a doenças, não adaptação ao tipo de solo, etc .

Isso significa que cada situação precisa ser cuidadosamente analisada para se definir qual a espécie, ou espécies, desejadas, para depois se iniciar programa de plantios e melhoramentos. A situação, que se conhece hoje, é bem diferente daquela de poucos anos atrás, quando ao se falar de plantar eucalipto para celulose, se pensava imediatamente em plantar *Eucalyptus saligna*, *E. grandis* e *E. "alba"*. É bem sabido que espécies como o *E. saligna* e *E. grandis* conduzem a celuloses de excepcionais qualidades nas regiões onde as espécies se desenvolvem bem, são poucas as espécies que possuem potencial celulósico tão bom com estas duas. Não significa porém que sejam as únicas. Outras espécies tão boas quanto, e talvez até melhores, em termos de celulose para usos finais, deverão existir. A verdade é que quase todo o melhoramento feito no Brasil até hoje sobre eucalipto foi feito sobre estas duas espécies. Este melhor amento envolveu testes de procedências, melhoria de sementes, estudo de práticas silviculturais, melhoramento genético, otimizações nos processos de cozimento e branqueamento da celulose, etc. Assim, desde que se disponham de outras espécies de boas potencialidades para regiões onde o *E. saligna* e *E. saligna* não se adaptem. e mesmo para concorrer com ambas em suas regiões, é possível se melhorá-las até obter resultados excepcionais.

As pesquisas que vêm sendo realizadas pelo autor, já há quase uma década, demonstram a viabilidade para celulose de diversas espécies, com qualidades comparáveis a *E. saligna* e *E. grandis*. Estas espécies, que merecem atenção são: *E. urophylla*, *E. pilularis*, *E. torelliana*, *E. dunnii*, *E. deanei*, *E. tereticornis* e *E. viminalis*. Mais estudos são necessários e estão sendo realizados para *E. camaldulensis*, *E. robusta* e *E. deglupta*. Entretanto, estas pesquisas não se limitam apenas a estas espécies. Cerca de três dezenas de

espécies potenciais foram e estão sendo ensaiadas nos laboratórios de Celulose Nipo-Brasileira S.A. e da Universidade Federal de Viçosa.

Além disso, existem sempre disponíveis novos resultados publicados pela E.S.A. "Luiz de Queiroz" e pelo Centro Técnico em Celulose e Papel. Daí a confiança de que o muito que se tem ainda a descobrir sobre o eucalipto, paulatinamente vai sendo realizado.

Outra questão que costuma surgir e "Quais as características da madeira que devem ser analisadas para definir se uma espécie de eucalipto é potencial para celulose?".

Até o momento a resposta para esta questão não é completa. Por tradição, e, baseados nas informações disponíveis para madeiras de coníferas, uma série de parâmetros são medidos na madeira do eucalipto, buscando correlacioná-los à qualidade da celulose. Nenhum destes parâmetros por si só define se a celulose é de boa qualidade ou não. Porém a densidade básica da madeira costuma ser parâmetro capaz de dar boas indicações sobre o potencial celulósico da madeira e, mesmo limitá-la quanto ao seu uso para celulose. Outras características que mais parecem se relacionar ao produto final são: índice de Runkel, fração parede, índice de enfiamento, coeficiente de flexibilidade, teor de vasos, teor de parênquima, dimensões dos vasos, teor de cerne/alburno e teor de nós. Até o momento não existem seguras indicações de como a composição química da madeira do eucalipto se relaciona à produção e qualidade da celulose. Evidentemente isso se aplica às madeiras usuais, pois certamente madeiras anormais, ricas em lignina, serão mais difíceis de serem convertidas a celulose.

Apenas para melhor definir cada destas principais características, serão apresentados a seguir ligeiros comentários sobre cada uma em particular.

#### A. Densidade básica

A densidade básica da madeira é uma característica complexa que se relaciona à anatomia e à química da madeira, dando uma segura indicação do teor de matéria seca que um dado volume de madeira possui. Este parâmetro é bem associado ao teor de celulose e extrativos da madeira, ao teor de vasos e parênquima, a espessura da parede celular, ao teor de lenho tardio, dentre outros.

Apenas pela determinação da densidade básica é possível se estimar se uma madeira tem potencial celulósico, embora a densidade não dê para definir qual a qualidade da celulose resultante.

É por isso que a densidade é o teste mais usual realizado para controle da qualidade da madeira. Além disso é um teste simples e não requer que a árvore seja abatida para sua realização.

A densidade básica serve para controle da madeira na própria árvore, para o controle da qualidade da madeira estocada e da madeira que ingressa ao digestor.

Atualmente dá-se preferência às espécies de eucalipto de média densidade, entre 0,45 a 0,65 g/cm<sup>3</sup>. Madeiras com densidade básica, abaixo de 0,4, mostram características indesejáveis, como alto teor de vasos de dimensões demasiadas, ou alto teor de parênquima. O consumo de estéreos de madeira por tonelada de celulose atinge nesse caso valores proibitivos. Entretanto, a qualidade das celuloses de madeiras de eucalipto pouco densas não é decepcionante. Existe maior facilidade de deslignificação, pois a penetração do licor é fácil; o rendimento base peso é às vezes até melhor que para as madeiras de média densidade; as resistências que dependem da ligação entre fibras, como tração, estouro e dobramento, são excelentes enquanto a resistência ao rasgo é prejudicada; as folhas ficam

mais compactadas, o que conduz a uma menor opacidade da celulose branqueada. Uma espécie típica destas condições é o *E. deglupta* que mostra, além destas características, vasos super-dimensionados, impróprios para papéis de impressão. Espécies de média densidade às idades de corte (5 a 10 anos) podem apresentar baixa densidade a idades mais jovens, conduzindo a modelos semelhantes ao enunciado.

As madeiras densas, com densidade básica acima de  $0,65\text{g/cm}^3$ , são geralmente refugadas para conversão a celulose. Apesar de mostrarem algumas vantagens como o baixo consumo específico por tonelada de celulose e boas resistências ao rasgo, estas madeiras trazem uma série de problemas operacionais e de qualidade. A picagem é dificultada, o consumo de produtos químicos é maior, o teor de rejeitas aumenta a níveis às vezes difíceis de serem manuseados, e a resistência ao dobramento é particularmente prejudicada. Espécies típicas desta situação são *E. citriodora*, *E. paniculata* e *E. cloeziana*. Por outro lado, quaisquer das espécies de média densidade à idade de corte, podem produzir madeiras muito densas, quando as árvores se tornarem velhas, acima de 15 anos.

#### B. Índice de Runkel

É uma característica que bem se relaciona à rigidez da fibra e à sua capacidade de inter-ligação. Desaconselha-se produzir celulose com fibras cujo índice de Runkel seja superior a 1,5. As espécies de alta densidade costumam cair nesta situação.

#### C. Fração parede

Associa-se à facilidade de colapso e flexibilidade para ligação das fibras. Fibras com fração parede acima de 60% são muito rígidas e a inter-ligação das mesmas é prejudicada.

#### D. Índice de enfeltramento

É uma característica que indica que o afilada a fibra é; ou seja, quanto maior o índice de enfeltramento, mais fibrosa a fibra em questão o é. Para as fibras longas, o índice de enfeltramento varia de 70 a 80. Para o eucalipto o índice de enfeltramento varia de 40 a 50.

Como o comprimento da fibra do eucalipto não tem grandes perspectivas de ser aumentado, a outra opção para se elevar o índice enfeltramento é se diminuir a largura da fibra. Com isso, levar-se-ia a fibrosidade da fibra do eucalipto. Para reforçar este parecer, tem-se observado que o *E. dunnii* mostra elevada resistência ao rasgo em sua celulose. A única de suas características de fibra em evidente diferença com o usual tem sido o índice de enfeltramento, com valores próximos a 70.

#### E. Coeficiente de flexibilidade

Indica a habilidade para ligação das fibras. Quanto maior a flexibilidade das mesmas, maior a sua possibilidade de colapso durante refino. Com isso, ocorre maior ligação entre as fibras, aumentando as resistências ao estouro e tração, e, diminuindo a opacidade e a resistência ao rasgo.

#### F. Teor de parênquima

Algumas espécies são ricas em células não fibrosas, portanto indesejáveis. Estas células parenquimatosas constituem-se em "finos" no processo de fabricação do papel. entupindo telas e feltros e criando problemas diversos na reciclagem da água branca. Altos teores de parênquima são próprios de espécies que vegetam demasiado e tem necessidade de células de reserva para os elementos nutritivos que produzem, são abundantes em espécies tipicamente tropicais.

As espécies de madeira de densidade baixa podem estar relacionadas a este tipo de fenômeno.

#### G. Teor e dimensões dos vasos

Os vasos, elementos de condução da seiva bruta no xilema dos vegetais, são elementos anatômicos curtos e largos.

Vasos grandes e abundantes não são desejáveis na fabricação de papéis para impressão e escrita.

A espécie *E. deglupta* tem sido referida por alguns autores como possuidora de vasos super-dimensionados, o que atrapalharia o seu uso para produção de papéis de impressão.

#### H. Teor de cerne/alburno

A formação de cerne é uma característica da maioria das espécies de eucalipto. Entretanto, nas idades jovens de corte, entre 5 a 10 anos, o cerne é juvenil e sua madeira não difere significativamente da madeira do alburno. É comum mesmo, nestas idades jovens, que a madeira do cerne seja menos densa que a do alburno.

A alta incidência de um cerne denso e rico em extrativos deve preocupar ao fabricante de celulose Kraft, quando a madeira for proveniente de árvores muito velhas. Neste caso os problemas mais comuns que surgem são: dificuldades na picagem, cozimento e branqueamento. resistências físico-mecânicas inferiores.

Para o fabricante de celulose sulfito ou de pasta mecânica, o cerne no eucalipto é indesejável, para o primeiro, pelos teores de extrativos e dificuldades de cozimento, para o segundo, pela cor e densidade.

#### I. Teor de nós

A presença de nós em árvores de eucaliptos, provenientes de povoamentos artificiais, é reduzida. Isso porque, a forma florestal das árvores de quase todas as espécies comerciais de eucalipto é boa, com ramificações finas.

Nós desenvolvidos ocorrem esporadicamente em árvores velhas, plantadas em espaçamentos amplos. Costumam ocorrer também em árvores provenientes de sementes pouco classificadas, com alta heterogeneidade genética, o que se traduz em fenótipos deficientes.

Finalmente, a terceira questão que ocorre quanto a espécies de eucalipto para produção de celulose é "É possível se misturar madeiras de diferentes espécies?".

Para esta questão a resposta é mais fácil. Praticamente, o que o fabricante de celulose de eucalipto no Brasil vem fazendo há longa data, é produzir celulose de misturas de madeiras. Sabe-se que a maioria das plantações homogêneas de eucalipto foram implantadas no Brasil com sementes de *E. saligna* Rio Claro. Apenas há questão de um dez anos, é que se passou a introduzir sementes puras de *E. grandis*, *E. saligna* e *E. urophylla*, provenientes da África do Sul, Rodésia, Austrália e Nova Zelândia. Os povoamentos mais antigos de eucaliptos comerciais para celulose em nosso país são basicamente povoamentos de híbridos de *Eucalyptus saligna*, *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. robusta*, *E. tereticornis* e *E. camaldulensis*.

Assim a mistura de madeiras de espécies é perfeitamente possível e viável. Deve-se apenas evitar a mistura de madeiras de espécies cujas qualidades sejam muito distintas, p.e., madeiras de densidades elevadas misturadas a madeiras de média densidade.

A preservação de uma qualidade uniforme de polpa é obtida na dosagem da madeira ao digestor. O ideal é se trabalhar com madeira a mais uniforme possível, no que diz respeito a espécie idade e condições da madeira. Estas condições são difíceis de serem alcançadas, pois a fábrica de celulose consome grande quantidade de madeira e esta provem de povoamentos distintos, muitas vezes implantados de formas e em locais diferentes, com sementes e técnicas diferentes. Além disso, a ciência florestal é dinâmica e a cada ano novas situações ocorrem. A tendência é o setor florestal ir sempre aperfeiçoando a madeira que entra à fábrica.

O setor de preparo da madeira em uma fábrica deve-se responsabilizar por um controle da qualidade da madeira que nela ingressa, levando em conta alguns fatores que serão posteriormente discutidos, e também as espécies de madeira de eucaliptos. É evidente a dificuldade em se separar as madeiras dos eucaliptos na forma de toras por espécies. Para isso deve existir um perfeito relacionamento entre os setores florestal e o de preparo da madeira.

Se possível, as madeiras de qualidades muito distintas devem ser armazenadas em separado e dosadas na alimentação da fábrica de celulose.

## 2. Idade das árvores

Praticamente todas as propriedades da madeira são afetadas pela idade. A árvore, sendo um ser vivo, cresce e passa por período de juvenilidade até atingir a idade adulta. No final de sua vida atinge um período de senilidade. As espécies comerciais de eucalipto são utilizadas no Brasil para celulose ainda na idade jovem. Nesta fase, a madeira não atingiu ainda o máximo de suas características, porém o ciclo de exploração mais adequado prevê cortes com a árvore entre 5 a 8 anos. Nesta fase, as propriedades da madeira estão tendendo à se estabilizai. Não existem muitas informações disponíveis na literatura sobre as principais alterações que sofre a madeira e a celulose do eucalipto com o envelhecimento da árvore. Inexistentes são as informações sobre as qualidades da madeira do eucalipto de segundo e terceiro corte em comparação com o de primeiro corte.

Existem dois tipos de conhecimentos bem caracterizados sobre a influência da idade da árvore sobre a qualidade da madeira e celulose:

### A. Madeiras infantis

Por infantil defina-se a madeira de árvores de menos de cinco anos. Surpreendentemente a qualidade da celulose, obtida de madeira infantil de até um ano de idade, é muito boa. A única das resistências a se mostrar inferior é a resistência ao rasgo, mas esta não é decepcionante.

### B. Madeiras sobre-maduras

Por madeiras sobre-maduras defina-se a madeira de árvores com idade superior a quinze anos. Para a maioria das espécies, a madeira de árvores nestas idades é rica em cerne, em extrativos, em lignina, com elevada densidade. Estas características atrapalham a conversão da madeira a celulose, mas não a limitam.

Para as madeiras jovens (idades das árvores de 5 a 10 anos) e madeiras maduras (idades de 10 a 15 anos) existem poucas informações mais detalhadas. Sabe-se que nas idades de 5 a 10 anos é que a maioria da madeira utilizada para celulose se enquadra, porém pouco se conhece sobre qual a real influência destas idades, sobre a qualidade da madeira e celulose. Pesquisa de PEREIRA, publicada em 1969, dá conta que para o *E. granids* e *E. saligna*, a idade de cinco anos era altamente indicada para produção de celulose. Pesquisas de FOELKEL, BARRICHELO & MILANEZ, 1975, revelam alguns resultados contraditórios para a influência da idade em *E. paniculata*, *E. citriodora* e *E. saligna*. O grande problema ao se estudar a influência da idade, é que isso só é possível se fazer de duas formas:

- a) Em um mesmo povoamento, amostrar-se algumas árvores anualmente e se analisá-las para madeira e polpa. O processo é demorado e os resultados aparecem a longo prazo. Existe ainda o problema de variação de metodologia ao longo dos anos.
- b) Em uma mesma época, amostram-se diversos povoamentos da mesma espécie, em idades diferentes e se analisam as madeiras. O método é rápido mas não leva em conta as diferenças genéticas e de desenvolvimentos existentes entre cada dos povoamentos.

É por estas razões que não existem resultados palpáveis sobre a influência da idade das árvores sobre a qualidade da madeira e celulose. Existem alguns estudos em andamento na Cenibra e na ESALQ, cujos resultados breve deverão ser publicados, Segundo nosso conhecimento.

Uma coisa é certa: "a idade ótima de corte para produção de celulose deve depender de cada espécie e local e para sua determinação são necessários estudos econômicos, florestais (incrementos), de qualidade de madeira e de qualidade de celulose". Somente estudos aprofundados e rigorosos é que poderia defini-la.

### 3. Tratos silviculturais

A árvore, como ser vivo, responde bem a tratos aplicados ao longo de seu desenvolvimento. Práticas como fertilização, controle de luminosidade e espaço útil para exploração, irrigação, combate a pragas, combate a ervas daninhas, refletem-se em um crescimento mais vigoroso das árvores. A árvore, crescendo mais saudável, dá origem a madeira mais uniforme e em maior volume. Embora existam referências de que todas as práticas aceleradoras de crescimento se traduzem por ligeira perda de densidade da madeira, este fato não atrapalha, de forma alguma, a qualidade da mesma, nem de celulose resultante. Aliás, por qualidade não se entende apenas densidade básica da madeira, mas

também uniformidade de dimensões, de características e de morfologia. Povoamentos florestais bem cuidados refletem-se em altos rendimentos volumétricos, com uma qualidade de madeira mais uniforme e conseqüentemente, com habilidade de conversão a polpa mais estabilizada.

Não são muitos os suportes científicos para a influência dos tratamentos silviculturais sobre a qualidade da celulose do eucalipto. A prática industrial porém não tem relatado qualquer tipo de perda de qualidade da celulose pela adoção de práticas silviculturais no campo, hoje tão usuais.

#### 4. Doenças

À exceção do cancro, não existem doenças sérias a prejudicar a qualidade da madeira do eucalipto. O cancro causado pelo fungo *Diaporthe cubensis*, adquiriu expressão significativa em áreas tropicais úmidas, com alta precipitação, bem distribuída ao longo do ano, e baixa altitude. As espécies *E. saligna* e *E. grandis* tradicionalmente recomendadas para produção de celulose, são das mais susceptíveis à doença. As influências que a doença causa são das mais variadas e todas danosas ao desenvolvimento do povoamento e à utilização da madeira. O incremento volumétrico é diminuído; muitas árvores morrem, a qualidade do "stand" é irregular; a regeneração por brotação diminui significativamente; a qualidade da madeira é irregular e piorada no que diz respeito às propriedades físicas, anatômicas e químicas; a qualidade da celulose é prejudicada a partir de incidências da doença em mais de 34 % das árvores.

Estudos sobre a influência do cancro do eucalipto sobre a qualidade da madeira e da celulose foram realizados por FOELKEL, ZVINAKEVICIUS & ANDRADE, 1976 e 1978. Os autores notaram como principais características das madeiras doentes, a maior densidade básica, fibras menores, mais estreitas e de paredes mais delgadas, vasos mais curtos e mais estreitos, altos teores de extrativos em água quente, álcool/benzeno e NaOH 1%, alto teor de lignina e menores teores de cinzas. Frente às alterações causadas pelo cancro na madeira surgiram problemas na conversão tecnológica da mesma. O principal destes problemas é a perda de rendimento em celulose, o que ocasiona um consumo maior de madeira por tonelada de celulose. O branqueamento e a resistência da celulose são também influenciados negativamente pelo cancro. É porém possível se produzir celulose kraft de qualidade quase similar à de madeira sadia, quando a taxa de infestação de árvores no povoamento for inferior a 34%. Neste caso, o inconveniente que se terá, será um consumo específico maior, na ordem de 3% a mais de madeira por tonelada de celulose. Infestações maiores do que 34% são prejudiciais. Deve-se evitar trabalhar com toda a madeira doente de povoamentos onde a incidência da doença seja em mais que 50% das árvores.

#### 5. Presença de casca

Atualmente, com o encarecimento, das operações de exploração florestal e com a crescente escassez de fibras para produção de celulose, ênfase especial tem sido dada ao uso de resíduos florestais pela indústria de celulose. Destes resíduos destacam-se casca, serragem, ponteiros, galhos, folhas e raízes. Resíduos lenhosos de outras indústrias de transformação da madeira são também cogitados a serem transformados em celulose e papel. Entre todos os resíduos fibrosos de origem florestal, a casca da árvore é aquele que



tem maior potencial para ser imediatamente consumido pela indústria. Existem mesmo muitas indústrias que já se valem da casca como fonte auxiliar de matéria-prima fibrosa. Isso é perfeitamente lógico numa situação como a atual, onde a demanda por fibras está crescendo e a disponibilidade diminuindo. A tendência é se passar para uma mais completa utilização da árvore, como atesta o movimento, já em desenvolvimento, de utilização integral da árvore (whole-tree utilization concept).

Até há poucos anos atrás, a indústria de celulose era extremamente exigente quanto à matéria-prima: a madeira deveria ser aquela encontrada em toras do tronco, não tortuosas, livres de cascas, nós, etc., isentas de pragas e doenças, etc. Evidentemente, todos estes fatores quando controlados permitem melhor operação industrial e fornecem melhor qualidade de celulose. O inconveniente era que não se destinava um uso racional para o material desclassificado, o qual era simplesmente perdido. Hoje, com os problemas de falta de madeira que a humanidade vem enfrentando, o homem lamenta o material desperdiçado no passado pelo uso irracional das matas. A indústria de celulose é uma das indústrias de conversão da madeira que está tentando encontrar novas opções dentro do que existe nas florestas. O objetivo é se racionalizar o uso das fibras formadas pelas árvores. Fibras que hoje quase não estão sendo consumidas são as das cascas das árvores. E elas existem em quantidades que variam de 30 a 50% nas cascas, dependendo da espécie florestal. A forma de se utilizar proveitosamente estas fibras sem causar problemas extras à qualidade da celulose é que ainda precisa ser encontrada. Os principais problemas que têm aparecido pelo uso da casca da árvore, juntamente com os cavacos da madeira são os seguintes:

a) Problemas operacionais em:

- classificação dos cavacos;
- alimentação e fluxo em digestores contínuos;
- depuração da celulose pelo aumento do teor de feixes e rejeitos;
- entupimento de filtros lavadores pelo material fino não fibroso da casca;
- aumento no teor de sólidos do licor negro;
- evaporação do licor negro fraco por problemas de incrustação de matéria orgânica e sílica;
- maior formação de espumas.

b) O rendimento em celulose, expresso em peso de celulose obtido por peso de matéria-prima fibrosa, diminui. Como consequência, a produção diária de uma fábrica já instalada diminui.

c) A densidade da casca, sendo mais baixa que a da madeira, faz com que a casca ocupe relativamente um espaço maior do que seria ocupado somente por madeira. Como resultado o rendimento em peso de celulose por carga de digestor diminui.

d) A casca consome maior quantidade de reagentes químicos, havendo portanto, um desperdício na eficiência dos mesmos.

e) A presença de casca junto à madeira provoca o aparecimento de um grande número de pintas e sujeiras na celulose. Para a eliminação das mesmas é necessário um eficiente sistema de depuração centrífuga.

f) Os extrativos e a cortiça da casca dificultam o branqueamento da celulose, havendo maior necessidade de reagentes químicos.

g) As resistências físico-mecânicas da celulose diminuem pela presença da casca no cozimento.

Apesar de todas estas desvantagens o uso da casca vem paulatinamente sendo incrementado. Isso porque as vantagens alcançadas pelo seu uso são maiores; quais sejam:

- a) colocação à disposição da indústria de uma nova e volumosa fonte de fibras a custo desprezível em relação aos processos de exploração florestal convencionais;
- b) diminuição nas operações florestais pela não necessidade de uma das mais onerosas atividades no campo que é o descascamento. O descascamento das toras no Brasil é quase que exclusivamente manual, com o baixo rendimento de 2 a 5 estéreos/homem/dia de madeira descascada.

A forma como a indústria de celulose tem procurado utilizar a casca da madeira é a clássica: toras de madeira com casca são picadas e transformadas em cavacos que alimentam os digestores. Como alternativas que algumas indústrias utilizam tem-se a mistura em proporções pré-estabelecidas de cavacos de madeiras com e sem casca.

Hoje existem muitos suportes científicos, mesmo para o eucalipto, sobre como a casca interfere na qualidade da celulose. Recentemente FOELKEL et alii, 1977, relataram o seguinte:

- a) Sabe-se que no Brasil, algumas fábricas, que utilizam o eucalipto, realizaram cozimentos kraft industriais com a madeira com casca e os problemas que ocorreram foram os esperados, somente que em menor intensidade do que se supunha.
- b) A casca do eucalipto apresenta em geral, relativamente a madeira, menor densidade básica, fibras mais longas e mais largas, índices de Runkel e fração parede menores e coeficiente de flexibilidade e índice de enfiamento maiores. Os extrativos e cinzas são consideravelmente mais abundantes na casca e o teor de lignina é maior.
- c) A presença de casca em dosagens crescentes influencia negativamente o rendimento em celulose, a branqueabilidade da polpa e as resistências à tração e ao dobramento.
- d) Uma, nova tecnologia de utilização da casca do eucalipto foi proposta, onde da casca se separavam as fibras do córtex, e apenas fibras eram dosadas aos cavacos na alimentação do digestor. O córtex, também denominado de medula, seria apropriado para geração de energia por queima.

Entretanto as informações sobre casca de eucalipto não podem ser generalizadas, pois a casca é muito variável de espécie para espécie. Em 1978, FOELKEL et alii, mostraram que a presença de casca no *Eucalyptus deglupta* em nada interferia na transformação desta madeira a celulose. Esta espécie é talvez uma das que menor teor de casca apresenta para as espécies comerciais do gênero.

## 6. Teor de umidade

Existe um consenso generalizado de que, embora o teor de umidade não seja limitante para o processo kraft, quanto maior ela é na madeira, maior é a facilidade de difusão do licor e de deslignificação. Daí a melhor madeira para ser levada ao digestor, em termos de umidade, seria a madeira de árvores recém-abatidas. Isso raramente é possível, pois a exploração florestal exige que a madeira murche no campo para perder peso e baratear o transporte.

De forma geral, desde que o tempo de ascensão de temperatura no cozimento seja suficiente para que todo o cavaco seja impregnado, quando se alcança temperaturas acima

de 150°C preferencialmente, o teor de umidade da madeira não causa maiores problemas no processo kraft. As dimensões dos cavacos se relacionam bastante com o fenômeno. Para madeira muito seca, a penetração do licor é melhorada pela diminuição da espessura dos cavacos.

Pode-se melhorar a penetração por pré-vaporização dos cavacos e injeção a seguir do licor, que é avidamente absorvido.

Satisfatoriamente, o processo kraft consegue suplantar os problemas de diferenças em teor de umidade da madeira pelo inchamento e hidratação dos cavacos em presença do álcali cáustico.

Para o processo sulfito e similares, excesso e falta de umidade são prejudiciais. O ideal é se ter madeira com umidade próxima a 50%.

O teor de umidade da madeira, em pé, é relacionado inversamente à sua densidade, pois, maior a densidade, menor e o espaço disponível à planta para guardar água.

## 7. Teor de taras finas

As normas para aceitação de madeira na maioria das fábricas de celulose kraft de eucalipto mostram como diâmetro limite inferior o de 6 a 7 em. Isso significa que toras com o diâmetro inferior menor que 6 ou 7 cm. tem aceitação restringida pelas fábricas consumidoras. Esta atitude se relaciona com os problemas que advem, para o manuseio desta madeira na floresta e na indústria, e por razões econômicas. Estas toras de diâmetros inferiores a 6 a 7 cm. são normalmente conhecidas na indústria por "finos".

A madeira de finos se compacta pouco quando estas taras são empilhadas. Com isso, a relação m<sup>3</sup> sólido/estéreo é tão inferior quanto a metade daquela de taras com diâmetro de 15 a 20 cm. Com isso o consumo específico de madeira por tonelada de celulose aumenta com o aumento de finos.

Operacionalmente, os maiores problemas dos finos misturados às taras mais grossas são as dificuldades de picagem, conduzindo a maiores teores de lascas e serragem.

Quanto à qualidade da celulose obtida de madeira de toras finas, sabe-se que esta não é significativamente diferente das obtidas de madeiras de taras mais grossas.

## 8. Armazenamento ou estocagem

Embora a madeira possa ser explorada o ano todo, não sendo pois sazonal, existe uma necessidade de que as companhias mantenham um pátio pulmão para estocagem na própria fábrica.

Esta providência é necessária para evitar falta de suprimento de cavacos à fábrica no caso de problemas na exploração florestal.

O pátio de madeira trás inúmeras vantagens pois, além de garantir madeira ao digestor, permite que se manuseie a madeira de forma a selecioná-la por tipo e se dosá-la na alimentação da fábrica de celulose. Por outro lado, o pátio de madeira representa um investimento estagnado, o que não é desejável para empreendimentos com fins lucrativos. A dimensão do pátio de madeira depende de dois fatores principais: consumo da fábrica e facilidades para corte e transporte da madeira. Quanto mais próxima e acessível é a floresta, menor é a dimensão necessária do pátio.

Os empreendimentos normais, que recebem madeira num raio de 100 km, podem dimensionar pátios de estocagem para de um a dois meses de capacidade. As condições locais é que determinarão estas dimensões.

Como exemplo, uma fábrica de 1000 toneladas/dia de celulose kraft branqueada de eucalipto, necessita de aproximadamente 5500 estéreos/dia de madeira. Isso significa que para um estoque de um mês, a fábrica precisará de 165000 estéreos. Ao preço atual de US \$ 10,00 o estéreo posto fábrica, significa um investimento imobilizado de US 1.650.000,00.

A madeira pode ser armazenada de duas formas: na forma de toras ou de cavacos. Existem muitas discussões e opiniões os dois sistemas. O sistema de armazenamento de cavacos sobre mostra como principal vantagem a simplicidade de manuseio. Entretanto, existem opiniões de que as vantagens no manuseio não pagam as perdas de madeira por deterioração, as perdas de rendimento, os maiores consumos de produtos químicos e as perdas de resistência da celulose.

Na opinião do autor, o eucalipto responde bem ao armazenamento na forma de cavacos, desde que a pilha não seja dimensionada para períodos maiores do que dois meses. As condições locais é que definirão quais as melhores formas de se armazenar a madeira. Existe também a possibilidade de se associar pátio de toras de madeira com pilhas pulmões de cavacos.

A deterioração de madeira do eucalipto não é tão acentuada como pode parecer. Embora as taras descascadas escureçam rapidamente, o escurecimento é mais devido a oxidação de extrativos do que apodrecimento. Toras com cascas se preservam mais do que as descascadas. O mesmo não é verdade para cavacos com casca.

Recentemente, FOELKEL & ZVINAKEVICIUS, 1978, analisaram cavacos completamente deteriorados de madeira de eucalipto, e relataram que apenas pequena perda de rendimento ocorreu na conversão e que a celulose mostrava como única propriedade realmente afetada, a resistência ao rasgo, Mesmos tipos de tendências deve mostrar a madeira armazenada na forma de toras.

Uma coisa á certa: a melhor madeira é a madeira verde, recém-abatida. Esta conduz a maiores rendimentos e propriedades de celulose. O ideal seria que tomasse o mínimo de tempo entre o corte da árvore e o uso da madeira.

Como há tendência de se deixar a madeira secar no campo durante um a dois meses e se tomam de um a dois meses na estocagem da madeira na fábrica, o geral é se levar de dois a seis meses para o consumo da madeira após o abate. Seis meses é um prazo para que estas operações de manuseio, transporte e armazenamento sejam efetuadas. Mais tempo do que isso, deve passar a representar perdas de peso, de rendimento e de qualidade da celulose. Todas estas perdas têm reflexos econômicos, além da perda que se tem pelo alto ciclo de retorno do capital empregado na madeira.

Frente a estas considerações, e ao fator do alto custo de transporte atualmente, sugere-se que seja sempre levado em conta em novos empreendimentos, o local de instalação da fábrica em relação ao manancial de madeira. Com isso, reduz-se os tempos de estocagem, e a madeira pode chegar quase verde à fábrica, na plenitude da qualidade que possuía na mata.

## 9. Picagem

A transformação da madeira a cavacos é a primeira fase da produção da maioria dos tipos de celulose. O objetivo é se aumentar a superfície de contato da madeira com o licor, aumentando sua acessibilidade pelo mesmo.

Cavacos são fragmentos de madeiras, mas antes de tudo, devem ter qualidade. As principais qualidades, que se referem a cavacos, são dimensões e uniformidade. Outras determinações de interesse são o teor de umidade e a densidade a granel.

Na transformação de toras a cavacos, a madeira aumenta seu volume aparente de 1,8 a 2,2 vezes para o eucalipto. Como já se mencionou antes, dimensões dos cavacos e sua uniformidade são aqui também as razões para esta variação.

Para a deslignificação exige-se também dimensões bem dentro de limites pré-estabelecidos e uniformidade. Estas duas características tão importantes são facilmente determinadas em jogos de peneiras que classificam a porcentagem de cavacos dentro de cada intervalo de dimensões.

Junto aos cavacos de dimensões ideais, encontram-se dois tipos de materiais indesejáveis e que resultam do próprio processo de picagem: serragem e cavacos super-dimensionados. A maior ou menor quantidade destes dependem do próprio picador (corte das facas, contra-facas, ajustagens. etc), da umidade da madeira, do comprimento e diâmetro das toras, etc. Tanto serragem como cavacos super-dimensionados são separados. A serragem ou é queimada ou jogada fora e os cavacos super-dimensionados são re-picados e retornam a nova peneiragem.

A serragem não segue misturada aos cavacos pois consome álcali demais e rende pouco em celulose. Esta afirmação entretanto só é válida para o pó fino, de dimensões inferiores às partículas que atravessam uma peneira de 10 malhas por polegada. Acompanhando este pó fino tem-se mini-cavaquinhos na proporção de 50% do peso da serragem. Pesquisas em andamento têm mostrado que estes pequenos fragmentos de madeira rendem 40 a 50% de celulose de qualidade apenas ligeiramente inferior à de cavacos normais, sob mesmas condições de cozimento. Como em geral se tem 2 a 4% do peso total de madeira que se perde como serragem, a metade deste valor é representada por fragmentos de madeira aproveitáveis para polpa.

Considerações mais cuidadosas devem ser feitas no caso de digestores contínuas, quando se desejar aproveitar parcialmente a serragem para polpa.

Dentre as dimensões dos cavacos, atribui-se como a mais importante para o processo kraft, a espessura. Trabalho de ANDRADE et alii, 1978, concluiu que os cavacos de 4 a 6 mm de espessura eram os mais indicados para obtenção de celulose kraft de eucalipto. Entretanto, os resultados obtidos para cavacos de espessura 2 a 4 mm e 6 a 8 mm eram também satisfatórios.

Além da espessura, deve-se atentar também para o comprimento dos cavacos, pois a velocidade de penetração do licor no sentido longitudinal ocorre mais rapidamente. Cavacos curtos podem ser impregnados mais rapidamente.

Os danos mecânicos que os cavacos podem sofrer na picagem, causados por facas cegas ou má regulagem, ou no manuseio, afetam principalmente a qualidade da celulose sulfito. Embora não se relatem influências sérias destes danos mecânicos ao processo kraft, alguns pesquisadores sugerem que eles sejam evitados mesmo para o processo kraft.

## 10. Manuseio da madeira

O manuseio da madeira é responsável por perdas de qualidade da mesma para celulose. Os problemas do manuseio começam no campo, onde a madeira é descascada manual ou mecanicamente, sofrendo nesta operação algumas perdas de material. A seguir a madeira é empilhada e recebe em geral, contaminantes como terra, folhas etc, que se grudam à sua superfície úmida. No transporte, do campo até a fábrica costuma ocorrer um dos maiores problemas no manuseio: a mistura de tipos diferentes de madeira. A madeira, que chega à fábrica, provém de áreas diversas, logo se não houver uma iniciativa de se separá-las, ocorrerá mistura de qualidades.

No pátio de madeira, as taras são manuseadas pelo menos duas vezes, na descarga e empilhamento e na retirada aos picadores.

O controle da qualidade da madeira, que segue aos picadores, é desejável para se manter uniformidade. Deve-se atentar para: espécie de madeira, dimensões das toras, tempo de armazenamento, etc.

Logo após o picador, os cavacos são classificados e soprados (transporte pneumático) ou transportados mecanicamente para uma pilha de cavacos ou silo do digestor. O transporte mecânico causa menos danos aos cavacos que o pneumático. Devido aos impactos dos cavacos com as tubulações na sopragem, costuma-se aumentar o teor da palitos nos cavacos. Entretanto, o sistema pneumático mostra vantagens como a facilidade de controle e flexibilidade de execução.

No caso de pilhas de cavacos, onde o movimento dos mesmos é feito por tratores com caçambas, costuma-se argumentar que a ação mecânica de atrito das rodas ou esteiras do trator sobre os cavacos causa danos aos mesmos. O teor de serragem é relatado aumentar. A solução que se propõe é se realizar a classificação dos cavacos após a pilha de estocagem.

Outro inconveniente que se reporta ao uso de pilhas grandes de cavacos é a contaminação dos mesmos com poeira mineral prejudicando sua qualidade para celulose.

## RESUMO

Procurou-se neste artigo discutir sucintamente as principais causas de variação da qualidade da celulose do eucalipto, partindo-se da qualidade da madeira desde a árvore até o digestor. Ênfase especial foi dada ao processo kraft por ser este o mais difundido no Brasil para a conversão da madeira do eucalipto para celulose.

## BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, J.O.M.; ZVINAKEVICIUS, C. & FOELKEL, C.E.B. – Estudos sobre a influência da espessura dos cavacos de eucalipto sobre a qualidade da celulose Kraft correspondente. Cenibra Pesquisa, Belo Oriente, n° 38, 16p, 1978.

FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L.E.G. & MILANEZ, A.F. - Estudo comparativo das madeiras de *Eucalyptus saligna*, *E. paniculata*, *E. citriodora*, *E. maculata* e *E. tereticornis* para produção de celulose sulfato. IPEF 10 : 17 - 37, 1975.

FOELKEL, C.E.B.; ZVINAKEVICIUS, C. & ANDRADE, J.O.M. - Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* afetados por cancro. O Papel, São Paulo, 37 (12): 113 - 124, 1976 .

FOELKEL, C.E.B.; ZVINAKEVICIUS, C. & ANDRADE, J.O.M. - O cancro do eucalipto e sua influência sobre a qualidade da celulose kraft. Cenibra Pesquisa, Belo Oriente, nº 58, 34p, 1978.

FOELKEL, C.E.B.; ZVINAKEVICIUS, C.; ANDRADE, J.R.; KATO, J. & MEDEIROS SOBRINHO, J. - Eucaliptos tropicais na produção de celulose kraft. Cenibra Pesquisa, Belo Oriente, nº 68, 31p, 1978.

FOELKEL, C.E.B. & ZVINAKEVICIUS, C. - Estudo da influência da deterioração de cavacos de eucalipto nas propriedades da celulose kraft. Cenibra Pesquisa, Belo Oriente, nº 80, 21p, 1978.

FOELKEL, C.E.B. & ZVINAKEVICIUS, C.; SIQUEIRA, L.R.O.; KATO, J. & ANDRADE, J.O.M. - Casca desmedulada de eucalipto: uma nova opção como fonte de fibras para a indústria de celulose Kraft. X Congresso Anual da ABCP. Trabalhos Técnicos, 1977.

PEREIRA, R.A.G. – Estudo comparativo das propriedades físico-mecânicas de celulose sulfato de madeira de Eucalyptus saligna, E. alba e E. grandis. Piracicaba, ESALQ, tese de doutoramento, 1969.

## USO DE MÉTODOS NUCLEARES NO ESTUDO DA QUALIDADE DA MADEIRA

Mário Tomazello Filho\*  
Epaminondas S. de B. Ferraz\*\*

### 1. INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico da humanidade, da sua condição primitiva, para a sociedade atual, tem sido associado com a dependência do homem pela madeira. Um histórico desse relacionamento homem-madeira-evolução tecnológica é relatado com propriedade por PANSHIN e de ZEEWN (1970).

Apesar da pesquisa colocar inúmeros e novos materiais sintéticos, à disponibilidade do homem, verifica-se que o mesmo tem encontrado dificuldades, quando privado dos produtos da madeira, mesmo em países desenvolvidos. TSOUKIS (1969) em revisão sobre o assunto, relaciona a ampla gama de produtos que podem ser obtidos da madeira, sendo muitos resultado da utilização empírica dessa substância natural. Atualmente, os conhecimentos da estrutura da madeira, tem possibilitado um significativo ganho tecnológico, concretizado pelos seus diversos e sofisticados usos.

Considera-se com regra, que para a correta utilização de um material é necessário um completo conhecimento de suas características. Essa afirmativa também se aplica para a madeira, sendo o estudo de sua estrutura relativamente complexo: trata-se do produto de um organismo vivo, a árvore, com as propriedades sujeitas à variações, em função dos fatores que afetam seu crescimento. A madeira como um material natural, tem sua qualidade variando em função da constituição anatômica, composição química e propriedades físico-mecânicas, resultantes da somatória dos fatores genéticos, dos métodos silviculturais (melhoramento, manejo florestal, tecnologia,...) e das condições climáticas e edáficas.

Dentre as técnicas utilizadas na avaliação da qualidade da madeira, relatadas na literatura especializada, destacam-se as técnicas nucleares. O termo qualidade da madeira, em seu sentido amplo, compreende a somatória de determinadas variáveis: densidade, constituintes anatômicos, porcentagem de lenho outonal e primaveril, presença de alburno/ cerne, defeitos naturais (lenho de reação, nós, grã) e outras características relacionadas.

O presente trabalho, discute a aplicação de métodos nucleares, principalmente a radiação gama no estudo e melhoria da qualidade da madeira e suas possibilidades de emprego nos laboratórios de tecnologia da madeira.

### 2. USO DE TÉCNICAS RADIOATIVAS

O emprego de radioisótopos para o estudo da qualidade da madeira não é recente. A literatura registra que há mais de 20 anos, vários pesquisadores vem estudando o assunto, tentando desenvolver uma metodologia que proporcione resultados precisos, rápidos e de fácil aplicabilidade. Várias linhas de trabalho foram sugeridas e dentre elas pode-se separar três grupos, os quais, segundo o tipo de radiação utilizada, são assim denominados: com radiação beta, com raio-X e com radiação gama.

---

\* Prof. Assistente do Departamento de Silvicultura da ESALQ-USP

\*\* Prof. Adjunto do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ-USP e CENA



As primeiras medidas de densidade de madeira com radiação beta foram realizadas por CAMERON e colaboradores (1959) e ainda por SANDERMAN (1960). Um estudo mais detalhado da metodologia foi feito por KEYWERTH, e KLEUTERS (1962) com um bom desenvolvimento teórico e uma parte experimental bem conduzida: a amostra se deslocava com velocidade constante em baixo de um feixe colimado de partículas beta e o resultado era registrado automaticamente num potenciômetro. Usando técnica similar, NIEMANN e SCWEERS (1963) mediram a espessura e densidade de anéis de crescimento, obtendo um poder de resolução linear de  $\pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ . PHILLIPS e colaboradores (1962) melhoraram o método anteriormente desenvolvido, usando agora películas beta do  $^{14}\text{C}$  e amostras de pequena espessura, diminuindo com isso o espalhamento e melhorando a resolução. KLEUTERS (1964), reelaborando o seu trabalho também obteve ótimos resultados .

Quanto à influência da umidade da madeira na determinação da densidade por atenuação de partículas beta, alguns autores deixaram registros dignos de nota. NOAK e KLEUTERS (1960) demonstraram a possibilidade de determinação da umidade da madeira utilizando-se técnicas com radioisótopos. HARRIS (1969) fez uma completa exposição do método beta, discutindo suas vantagens e desvantagens. De acordo, com o trabalho, a radiação beta possibilita avaliar a densidade da madeira, a espessura dos lenhos primaverais e outonal, as variações radiais de densidade, a espessura da parede dos traqueídeos, bem como o teor de resina da madeira.

A técnica de medida de densidade em amostras de madeira por atenuação de raios-X, foi proposta por LENZ (1957) e desenvolvida por POLGE (1963, 1966). Várias modificações foram posteriormente propostas por esse pesquisador e seus colaboradores, sendo, portanto, o principal responsável pelo desenvolvimento e pela utilização dessa técnica. Consiste em se preparar uma pequena amostra de 5 mm de espessura, a qual é seca e presa num suporte para que permaneça sem deformações. Essa amostra é colocada sobre uma chapa foto gráfica devidamente protegida de luz e o conjunto é levado ao equipamento de raio-X para exposição. O filme é então revelado, mostrando contrastes (claros, escuros) entre as zonas de baixa e alta densidade. Esse negativo é, então, levado a um microdensitômetro que faz as leituras das intensidades nas zonas claras e escuras. Essas leituras são depois transformadas em valores de densidade através de uma calibragem previamente estabelecida.

Vários artigos comparando as duas metodologias foram escritos em revistas especializadas e, dentre estes, pode-se destacar: HARRIS e POLGE (1967); PHILLIPS (1968); POLGE (1969) e por BRAZIER (1969). As duas técnicas são altamente sofisticadas e requerem pessoal especializado, além de equipamentos caros. A montagem de qualquer um desses laboratórios não ficaria por menos de US\$ 10.000, excluindo-se as despesas com pessoal altamente especializado e taxas várias.

### 3. O MÉTODO COM RADIAÇÃO GAMA

Um dos primeiros a utilizar isótopos radioativos no controle de qualidade de madeiras foi LAKATOSH em 1956, que observou a relação existente entre densidade e a atenuação de radiação gama. Nesse mesmo ano, SAKAMOTO e IIZUKA (1956) se utilizaram de um feixe de radiação gama para localizar pontos de podridão interna em árvores em pé. Defeitos internos em árvores em pé foram também estudados por PARRISH (1961) e LOSS (1965).

LOSS (1961) estudou a determinação de densidade e de umidade em amostras de madeira de 6 em de espessura com a radiação gama do  $^{137}\text{Cs}$ . WOODS e colaboradores (1965) usaram  $^{131}\text{I}$  em amostras de pinus e PHILLIPS (1965) usou  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{137}\text{Cs}$ . Aqui entre nós, o método foi primeiramente usado por REICHARDT e FERREIRA (1966) e, posteriormente, por FERREIRA e FERRAZ (1969). Desde essa época a metodologia usada por quase todos os pesquisadores era praticamente a mesma: um feixe colimado de radiação gama de uma fonte de  $^{137}\text{Cs}$  é atenuado pela amostra de madeira e posteriormente detectado por um cristal cintilador de NaI (TI) para ser contado num espectrofotômetro gama monocanal.

Os trabalhos realizados por diversos autores mostraram as várias limitações do método, das quais a principal era a falta de sensibilidade. Isso era devido a alta energia da radiação gama do  $^{137}\text{Cs}$  (660 KeV) em comparação com a baixa-densidade do material a ser analisado - madeira. PARRISH (1961) estudou o problema, testando vários radioisótopos com radiação gama de energias diferentes recomendando aqueles cujas energias variam de 23 KeV e 135 KeV.

FERRAZ (1974), estudando a determinação simultânea de densidade e umidade de solos, trabalhou com fontes de  $^{241}\text{Am}$  e percebeu as grandes vantagens de sua utilização na determinação da densidade de madeiras. Em trabalho publicado posteriormente (FERRAZ, 1976) descreve com detalhes a utilização da radiação gama de 60 KeV do  $^{241}\text{Am}$  e detector de cintilação de NaI (TI) acoplado a espectrofotômetro gama monocanal para amostras de madeira de 3 a 5 em de espessura.

Quando um feixe colimado e monoenergético de radiação atravessa um meio absorvedor, o fenômeno é descrito pela Lei de Beer-Lambert:

$$I = I_0 e^{-\mu\rho x} \dots\dots\dots(1)$$

- onde:  $I_0$  = intensidade do feixe incidente
- $I$  = intensidade do feixe emergente
- $\mu$  = coeficiente de atenuação de massa do meio absorvedor para a energia do foton incidente (cm<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>)
- $x$  = espessura do absorvedor (em)
- $\rho$  = densidade do meio absorvedor (g. cm<sup>-3</sup>)

A figura nº 1 mostra esquematicamente uma montagem experimental para tal fim. A fonte de  $^{241}\text{Am}$  de atividade aproximadamente igual a 100 mCi é montada numa blindagem de chumbo que possui somente uma abertura (furo de 1 mm de diâmetro) por onde escapa o feixe colimado. Distante 11 cm desse bloco, existe outro bloco de chumbo que protege o detector de NaI (TI) e que também possui um furo de igual diâmetro, perfeitamente alinhado com o primeiro.

Na ausência de qualquer absorvedor nesse espaço intermediário, o detector acusará uma intensidade de radiação gama igual a  $I_0$ . Colocando-se nesse espaço uma amostra de madeira, por exemplo, de espessura previamente determinada, o feixe gama sofrerá uma atenuação  $\Delta I$  e o detector acusará uma intensidade de radiação gama atenuada igual a  $I$ . Conhecendo-se os parâmetros  $x$  (espessura) e  $\mu$  (coeficiente de atenuação de massa, previamente determinado), é possível calcular-se a incógnita  $\rho$  (densidade) pela equação proposta.

Para a correta utilização do método, dois cuidados são essenciais: o perfeito paralelismo entre as duas faces perpendiculares do feixe de radiação e a secagem da amostra. O paralelismo consegue-se na oficina, serrando-se e lixando-se a amostra com cuidado e fazendo-se medições com paquímetro, com a precisão de 1/10 de milímetro. O valor absoluto da espessura (x) não é crítico, podendo ser qualquer um num intervalo de 30 a 80 mm, para as amostras mais comuns de madeira.

A secagem da amostra também é importantíssima. Quando não for possível a secagem completa da amostra, é possível utilizar-se do método com igual sucesso para umidades de até 10% em volume, desde que se conheça exatamente o seu valor, o qual pode ser obtido por processo de secagem. Neste caso a equação (1) ficará modificada, pois a água também concorrerá para a atenuação da radiação, devendo, portanto, ser considerada:

$$I = I_0 e^{-x(\mu\rho + \mu_A\theta)} \dots\dots\dots (2)$$

onde os termos adicionados são:

$\mu_A$  = coeficiente e atenuação de massa da água ( $\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$ )  
 $\theta$  = umidade volumétrica ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ )

Para a determinação experimental do coeficiente de atenuação de massa da madeira, utiliza-se pó-de-serra seco e peneirado, proveniente do lote de amostras que se deseja estudar. É importante saber que o valor desse coeficiente deve ser muito bem determinado e que varia bastante de espécie para espécie, podendo mesmo variar de árvore para árvore irmãs, dependendo das disponibilidades nutritivas do solo.

PRECISÃO DAS MEDIDAS

Desde que tomadas as precauções básicas no emprego da metodologia, pode-se dizer que a limitação do método está diretamente relacionada com a intensidade do feixe incidente ( $I_0$ ), conforme é descrito por FERRAZ e MANSELL (1977):

$$\sigma\rho = \frac{-1}{x\mu\sqrt{I_0}} \exp \frac{x}{2} (\mu\rho + \mu_A\theta) \dots\dots\dots (3)$$

onde  $\rho$  é erro cometido na medida da densidade  $\rho$

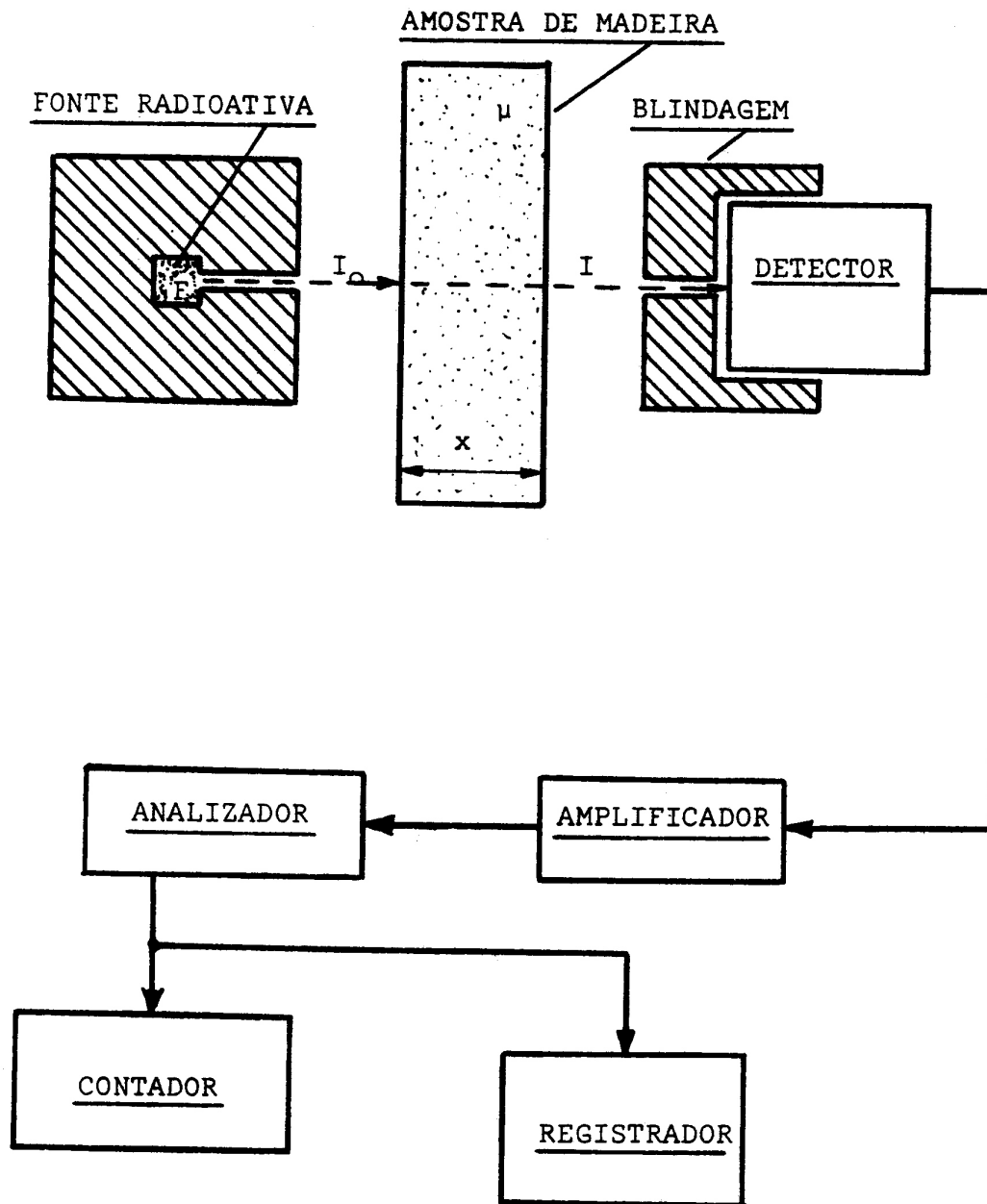


Figura 1. Diagrama esquemático do equipamento usado na determinação da densidade da madeira pelo método de atenuação da radiação gama.

Isso significa na prática, erros menores do que 2%. Ou seja, na determinação de densidade de pinus ou de eucaliptos, o erro experimental para uma densidade igual a  $0,555 \text{ g/cm}^3$ , por exemplo, é de mais ou menos  $0,008 \text{ g/cm}^3$ :

$$\rho = 0,555 \pm 0,008 \text{ g/cm}^3$$

Foi salientada já, a importância do paralelismo da amostra na precisão dos resultados. Para efeito ilustrativo convém exemplificar: suponha-se que numa amostra de 40 mm de espessura, exista uma divergência de 1 mm na espessura entre dois pontos de mesma densidade, por exemplo,  $0,500 \text{ g/cm}^3$ . Neste caso, no ponto onde a espessura for de 39 mm, o método acusara uma densidade igual a 0,513 ou seja, 2,6% maior.

Também foi comentada a importância de se determinar corretamente o valor do coeficiente de atenuação de massa ( $\mu$ ) da madeira para cada caso. Com prática de rotina, é usual em laboratório uma aproximação até a 5a. casa decimal para se obter um bom resultado. Uma aproximação na 4a. casa decimal pode provocar um erro de até 0,3%, enquanto que uma aproximação na 3a. casa decimal pode provocar um erro de até 3% na determinação da densidade.

A acuracidade da metodologia está ligada diretamente à geometria do colimador. Desde que este seja suficientemente longo para proporcionar um feixe de raios paralelos onde a divergência dos ftons pode ser desprezada, a acuracidade do sistema é igual ao diâmetro do feixe. É usual utilizar-se de colimadores de secção reta circular e diâmetros próximos a 1 mm. (Por exemplo: furos feitos com brocas 3/64"). Neste caso, o aparelhamento é capaz de distinguir e medir regiões de diferentes densidades tão próximas uma da outra, de até 1 mm.

#### 4. RADIAÇÃO GAMA NO ESTUDO E MELHORIA DA QUALIDADE DA MADEIRA

##### 4.1. Densidade da madeira

Dentre as características físicas e anatômicas da madeira, destaca-se a densidade básica pela sua importância, facilidade de obtenção e pelo volume de informações disponíveis na literatura. Significativas contribuições sobre as variáveis que regulam seu valor são apresentadas por pesquisadores das diferentes áreas da ciência florestal, sejam anatomistas, químicos, silvicultores, etc.. (SPURR e HSIUNG, 1954; TAPPI, 1962; PAUL, 1963; ELLIOTT ; 1970).

Por convenção, densidade básica de uma madeira é a relação entre sua massa absolutamente seca (em gramas) e seu volume (em  $\text{cm}^3$ ).

Do ponto de vista biológico, a densidade é uma estrutura celular complexa, dependendo dos componentes da madeira e das características de suas paredes. Em termos gerais, a densidade básica é função das dimensões das células, da espessura da parede celular e da interação entre o número e tipos de células existentes em uma dada espécie.

A correlação entre a densidade com outras características da madeira tem sido bastante explorada: é utilizada como indicador da qualidade da madeira (SPURR e HSIUNG, 1954; WATSON, 1965), freqüentemente associada com a produção de polpa (PINWOODIE, 1965; BAREFOOT e COL, 1970) e com a dureza da madeira (USDA, 1974).

Como a densidade é influenciada pelas condições de crescimento da árvore, existe a possibilidade de controlar seu valor, dentro de certos limites, através de técnicas de manejo florestal. O efeito de praticas silviculturais e do ritmo de crescimento da árvore sobre a densidade da madeira tem sido abordado por PAUL, (1963) e ELLIOT, (1970). Sendo caráter de alta herdabilidade a densidade deve ser encarada como uma das mais importantes

propriedades da madeira a serem incluídas nos programas de melhoramento genético. (ZOBEL, 1965; FERREIRA, 1970).

Na determinação da densidade básica tem sido empregados os métodos gravimétricos convencionais. A técnica mais simples para obter a densidade de um bloco de madeira regular é calcular sua massa e seu volume. Para amostras de forma irregular é mais adequado o método de imersão em água ou de máximo teor de umidade (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1956). PHILLIPS (1965) revendo os métodos de determinação da densidade da madeira, recomenda os métodos gravimétricos, pelo seu baixo custo e precisão relativamente alta. Entretanto, os métodos gravimétricos tradicionais de avaliação da densidade apresentam limitações com respeito à dimensão mínima da amostra e por fornecerem apenas os valores médios de densidade.

A necessidade de informações detalhadas sobre os valores da densidade e sua relação com as características anatômicas da madeira, dentro das camadas anuais de crescimento, como enfatizam HARRIS e POLGE (1967) conduziu ao desenvolvimento de novas técnicas empregando elementos radioativos. Essas técnicas, possibilitam entender detalhadamente os fatores que controlam a densidade e demais características da madeira, permitindo o seu manuseio para a obtenção de produtos de melhor qualidade. Essa linha de pesquisa tem sido desenvolvida, para inúmeras espécies florestais, em diversos laboratórios de anatomia da madeira.

Dentro do programa de pesquisas realizado entre o Curso de Engenharia Florestal da ESALQ e o Centro de Energia Nuclear-CENA, tem sido investigada a variação da densidade da madeira de coníferas e folhosas, através do feixe gama. Cilindros de madeira de várias espécies de pinheiros e eucaliptos, coletadas na região do DAP, foram submetidas à metodologia discutida anteriormente (item 3), cujas variações de densidade são apresentadas nas figuras 2 e 3.

Para as espécies de Pinus, a análise das figuras permite verificar significativas variações de densidade entre os lenhos primaveril e outonal e mesmo dentro dos lenhos. Características da madeira de interesse anatômico-silvicultural, como a presença de falsos anéis de crescimento podem também ser notados.

Com respeito à variação radial da densidade, PANSWIN e DE ZEEWN (1970) sugerem quatro modelos básicos: i) a densidade aumenta da medula para a casca; ii) a densidade é alta da medula, decresce nos primeiros anéis e depois aumenta no sentido da casca; iii) a densidade é alta nos primeiros anéis próximos à medula e assim permanece relativamente constante podendo, às vezes, decrescer próxima à casca; iv) a densidade decresce da medula para a casca.

Para Eucalyptus grandis, com 25 anos de idade, a densidade média de um disco de madeira, retirado da altura do DAP, teve sua densidade variando de 0,30 até 0,50 g/cm<sup>3</sup> da medula para a casca, de uma forma quase que linear (TAYLOR, 1973). A mesma tendência foi obtida por ROLIM e FERREIRA (1974) para Araucaria angustifolia, enquadrando no modelo 1 proposto por Panshin e De Zeewn. Muitos autores consideram o modelo 1 como o único para todas as espécies, sendo que uma generalização nesse nível é perigosa, pois como esclarece a literatura, existem indivíduos com comportamentos diferentes. Nas espécies estudadas, observa-se que eliminando os fatores clima e manejo, o Pinus elliottii var. elliottii e Eucalyptus saligna se enquadram no modelo 1, enquanto que E. propinqua se identifica melhor com o modelo 2 e o E. urophylla com o modelo 3.

A utilização dessa técnica possibilita conhecer com detalhes a variabilidade das propriedades da madeira, bem como os fatores que as regulam, sejam devidos às práticas de manejo, aplicações de métodos de melhoramento ou condições edafo-climáticas do local.

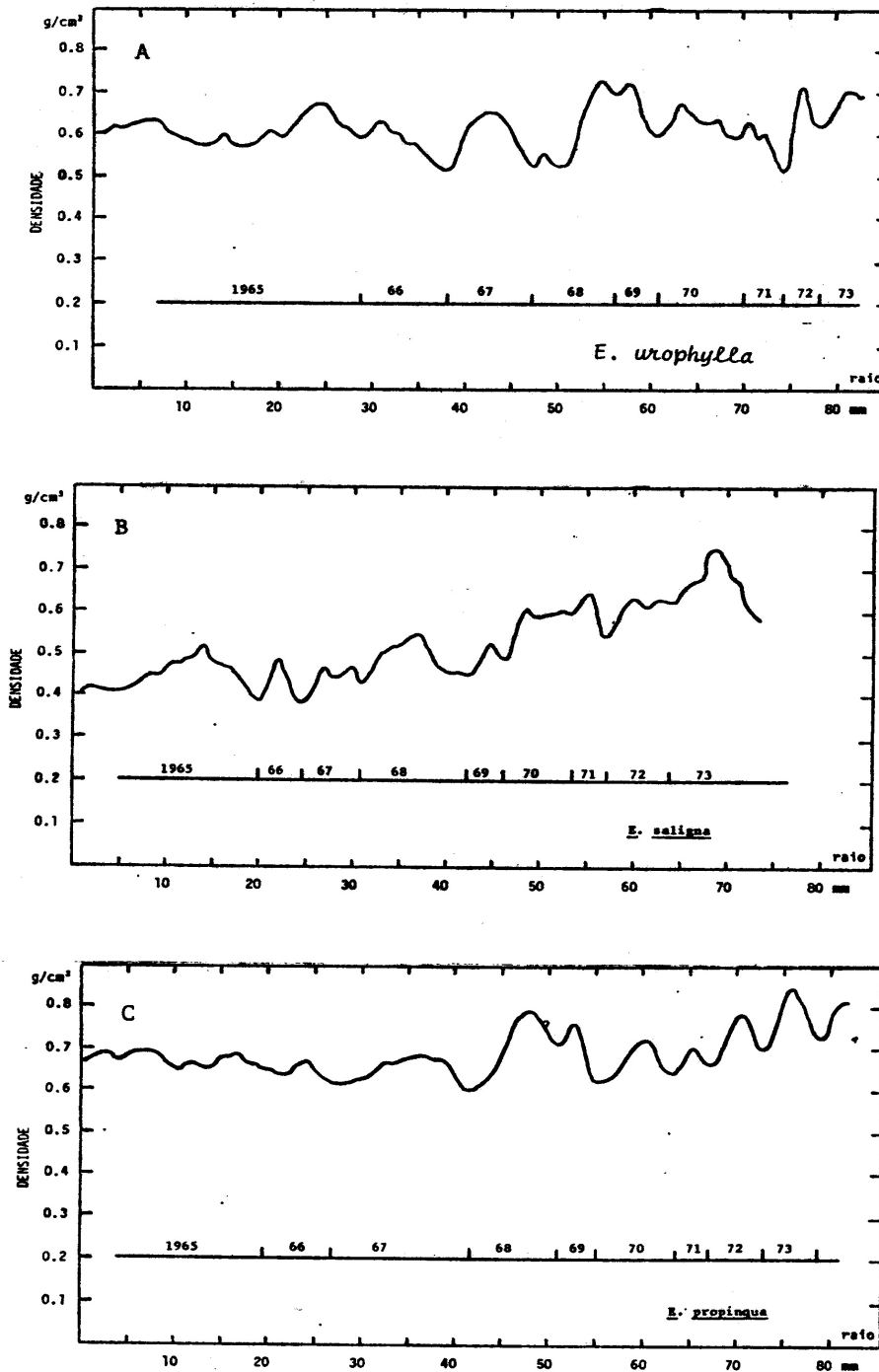


Figura 2. Variação da densidade da madeira, no sentido medula-casca, em *Eucalyptus* spp: A) *E. urophylla*, B) *E. saligna* C) *E. propinqua*.

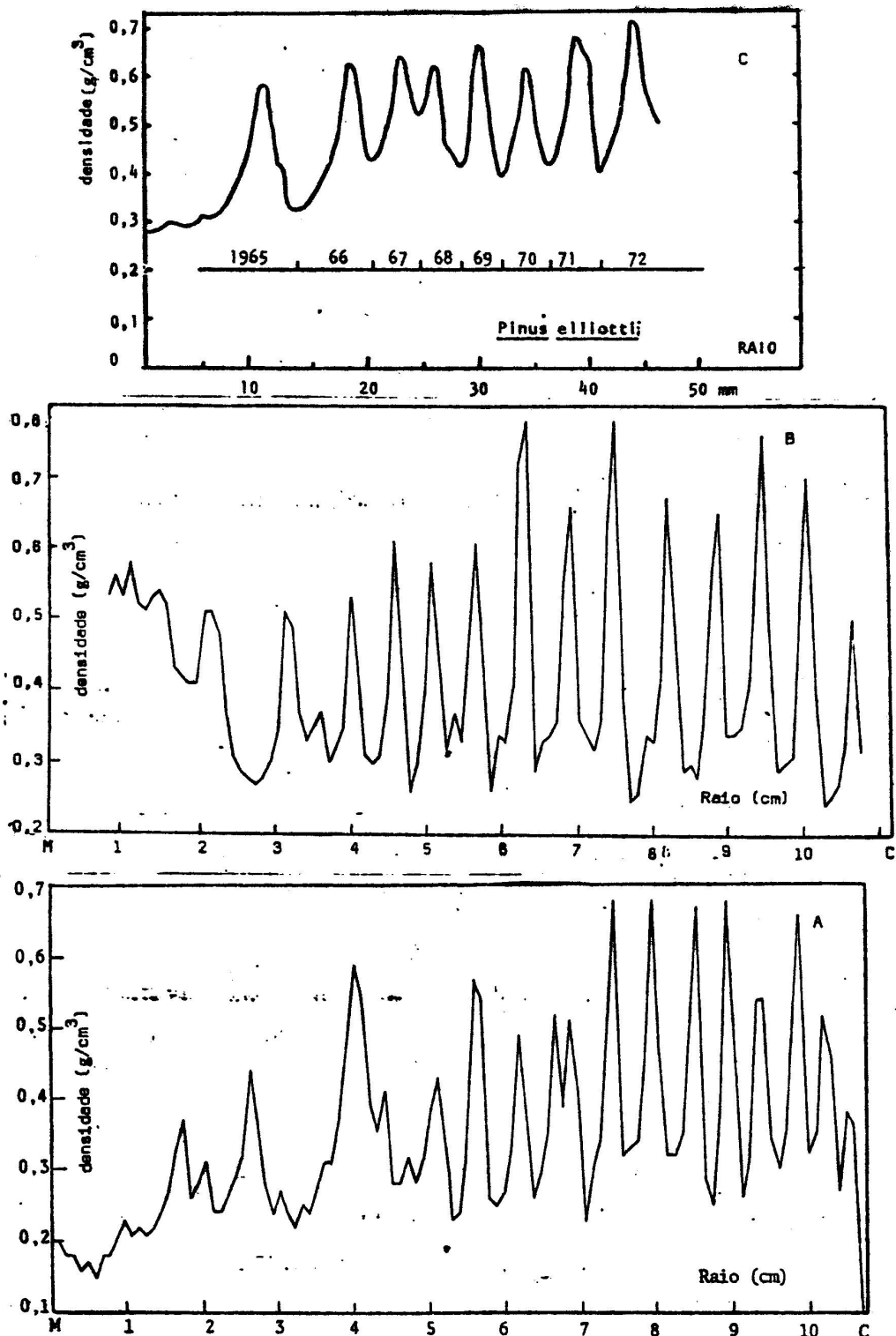


Figura 3. Variação das densidades da madeira, no sentido medula-casca, em *Pinus* spp: A, B) *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; C) *Pinus elliottii* var. *elliottii*.



#### 4.2. Densidade versus dimensões das células

As variações das características anatômicas e das propriedades físicas da madeira, de uma dada espécie, podem ser consideradas em termos de: i) variações na direção radial, isto é, através dos acréscimos anuais de volume e/ou massa e, ii) variações na direção axial, isto é, no sentido do colo para o ápice da planta. Nas análises radial e axial, os autores têm se preocupado principalmente com os valores da densidade e dimensões das células. O desenvolvimento dessas pesquisas justifica-se pelas correlações existentes entre os parâmetros citados e a qualidade da madeira ou da matéria prima produzida. Diversos pesquisadores têm apresentado excelentes revisões sobre a variabilidade da madeira, destacando-se DINWOODIE (1961), PANSWIN e DE ZEEWN (1964), KOLLMANN e CÔTÉ (1968), TSOUMIS (1969) e KOCH (1972) .

Sanio, citado por PANSWIN e DE ZEEWN (1964), verificou para Pinus sylvestris, através da secção transversal, que os traqueídeos são inicialmente curtos perto da medula, aumentando em comprimento nos primeiros anos de crescimento, passando então para um comprimento constante no lenho adulto. Nas coníferas de regiões temperadas, o comprimento dos traqueídeos na madeira próxima à medula varia de 0,5 a 1,5 mm, enquanto que nas fibras das folhosas varia de 0,1 a 1,0 mm. O período de rápido acréscimo de comprimento das células, compreende os primeiros 10-20 anos de crescimento da árvore. Entretanto os limites desse período não é totalmente definido, considerando que existe uma transição gradual até o comprimento máximo ser atingido.

Mesmo dentro de um incremento anual, ocorrem significativas diferenças entre as dimensões dos elementos fibrosos. Nas coníferas observa-se um decréscimo no comprimento dos traqueídeos no lenho primaveril. Outras variações também podem ser notadas: as coníferas de clima temperado geralmente mostram valores extremos de espessura da parede e diâmetro entre os traqueídeos dos lenhos primaveril e outonal. A variação radial da densidade da madeira foi discutida no item anterior.

Com base no exposto, procurou-se avaliar a variabilidade da madeira de Pinus caribaea var. hondurensis, com respeito às dimensões dos traqueídeos (comprimento, espessura da parede, largura e diâmetro do lumen) e sua relação com a densidade da madeira, obtida pela radiação gama. (figura 4 e 5).

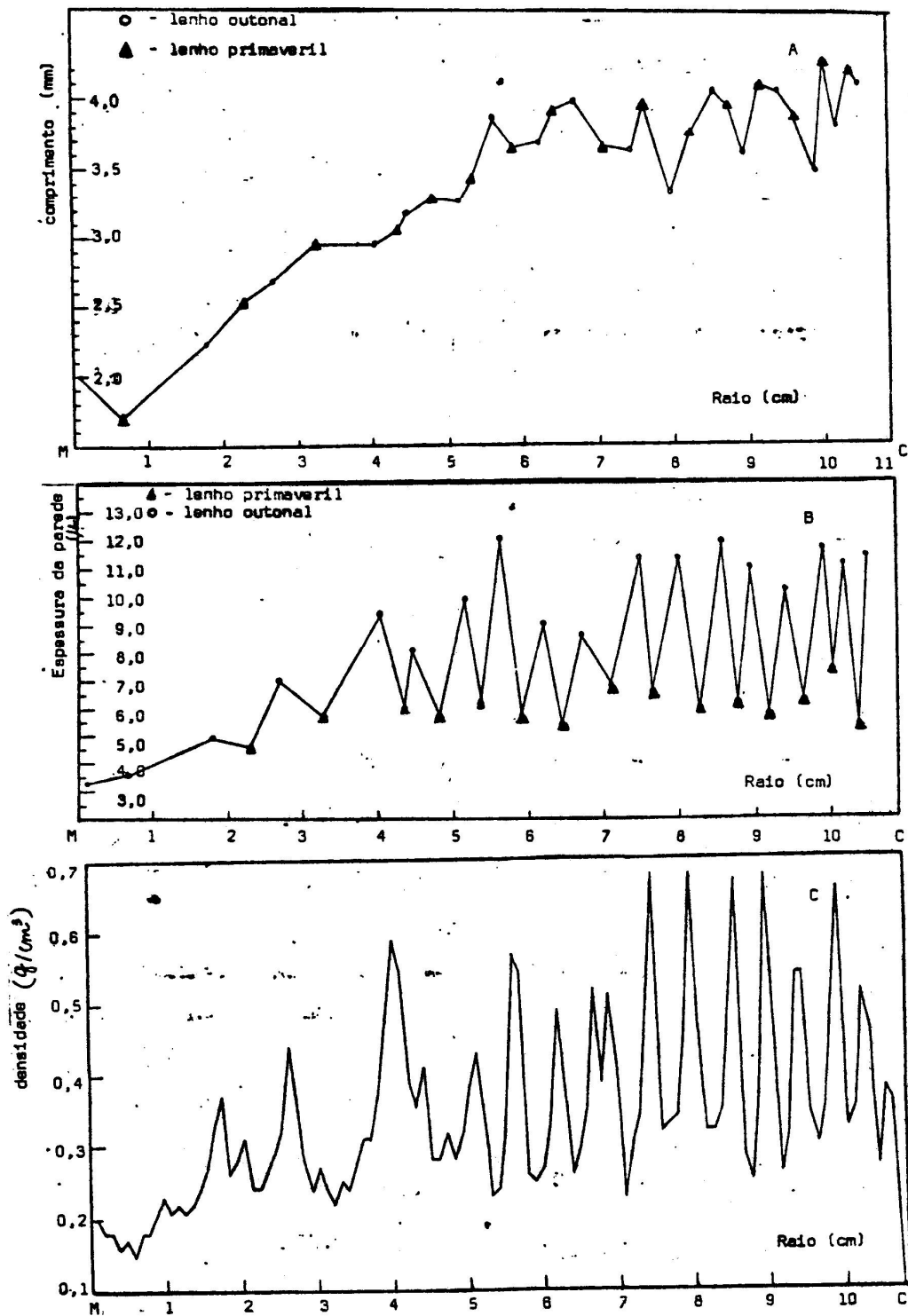


Figura 4. Variabilidade radial do comprimento (A) e espessura da parede (B) dos traqueídeos e correlação com a densidade da madeira (C) em Pinus caribaea var. hondurensis

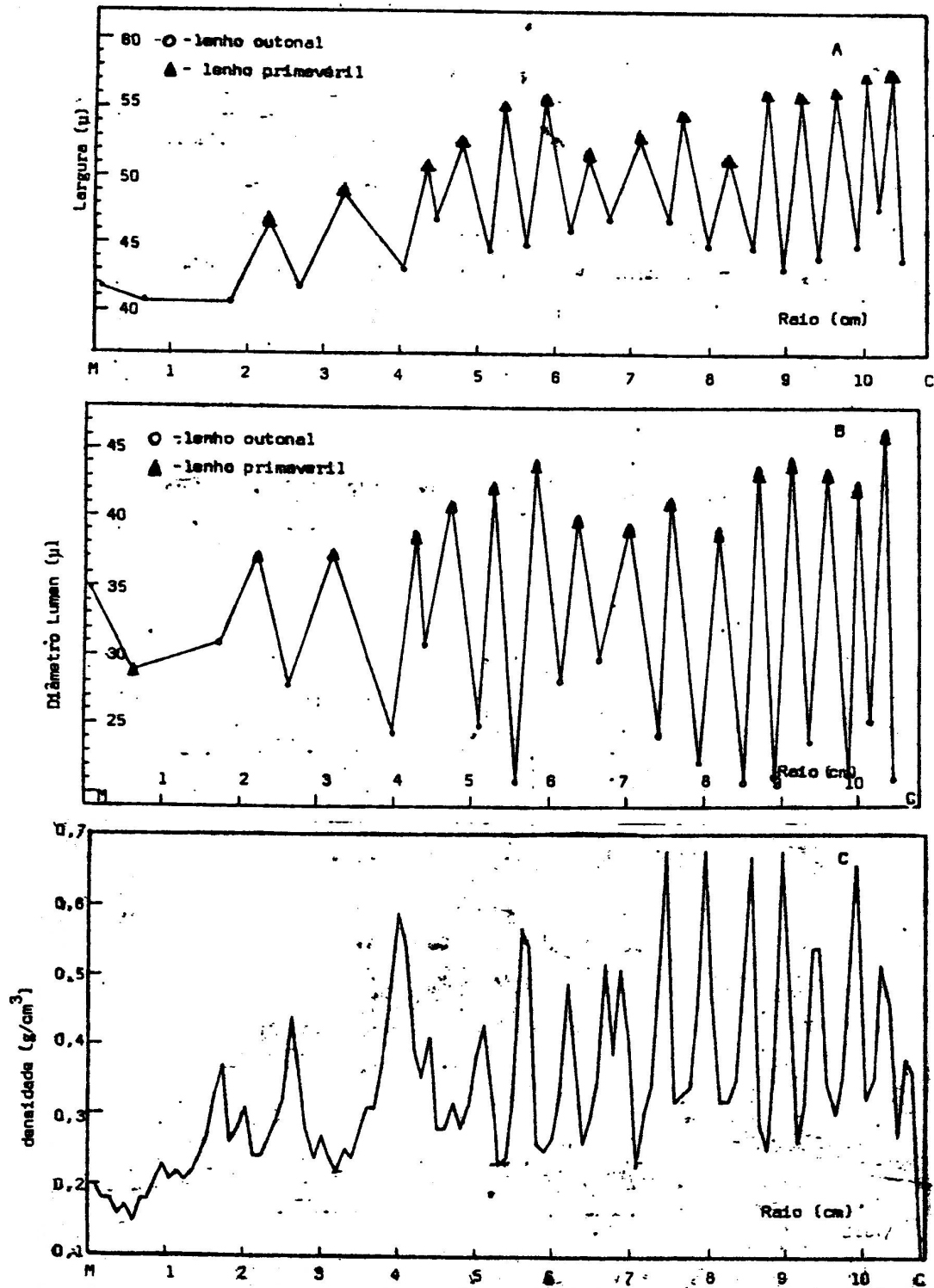


Figura 5. Variabilidade radial da largura (A) e diâmetro do lúmen (B) dos traqueídeos e correlação com a densidade da madeira (C). Em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Através das figuras, observa-se que o comprimento dos traqueídeos aumenta no sentido medula-casca, passando de 1,7 para 4,0 mm, apresentando a mesma tendência de outras essências florestais. Entretanto, verifica-se que para P. caribaea hondurensis, o comprimento máximo dos traqueídeos é atingido em um período menor de tempo, a partir do 7º - 9º ano, sugerindo que a madeira adulta é formada em torno dessa época.

Com respeito às demais dimensões dos traqueídeos, nota-se uma estreita correlação com o lenho e com a densidade da madeira. Em um mesmo anel de crescimento (por exemplo, 9º ano) no lenho outonal os traqueídeos apresentam a parede mais espessa, e no primavera mais delgada, com valores de 6,8 a 11,4  $\mu$ , respectivamente. A densidade da madeira, por sua vez, atinge valores máximos no lenho outonal e mínimos no lenho primavera, com valores de 0,23 a 0,69 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. A avaliação da largura e diâmetro mostra uma relação inversa: os traqueídeos de lenho primavera apresentam maior largura e diâmetro, quando comparados com os de lenho outonal.

#### 4.3. Densidade versus condições climáticas

A seqüência alternada de anéis concêntricos de cor clara e escura, presente no tronco de essências florestais, principalmente nas coníferas, reflete as condições climáticas reinantes no local desde a época de plantio da espécie. Cada par de anel é, basicamente, um ano de vida da árvore, podendo se destacar um anel mais largo de coloração mais clara (lenho primavera ou inicial) e um anel mais fino e mais escuro (lenho outonal ou tardio).

A existência de alta correlação entre os anéis de crescimento e o clima, possibilitou o desenvolvimento de novos ramos da ciência: a dendrocronologia e a dendroclimatologia. Nos últimos anos, o volume de pesquisas nessas áreas tem sido tão significativo, que motivou a confecção de um compêndio por FRITTS (1976), denominado "Tree Rings and Climate".

A separação macroscópica dos anéis através da diferença de coloração, exprime variações físico-anatômicas da madeira à nível celular, relacionadas no item 4.2.

Como a estrutura dos anéis é diferente de espécie para espécie, com reflexos na sua densidade, procurou correlacionar a variação radial da densidade ao longo do raio, com as condições climáticas, em várias espécies de eucalipto e de pinheiro.

As figuras 2 e 3 mostram a variação da densidade de Eucalyptus saligna, E. propinqua, Eucalyptus urophylla e Pinus elliottii var. elliottii, através da análise de cilindros de madeira coletados na altura do DAP. As árvores foram plantadas no mesmo período e local (Itupeva-SP), estando sujeitas às mesmas variações de clima e solo. O comportamento de cada espécie foi comparado com o regime pluviométrico reinante na região, da época do plantio até o corte das árvores (figura 6).

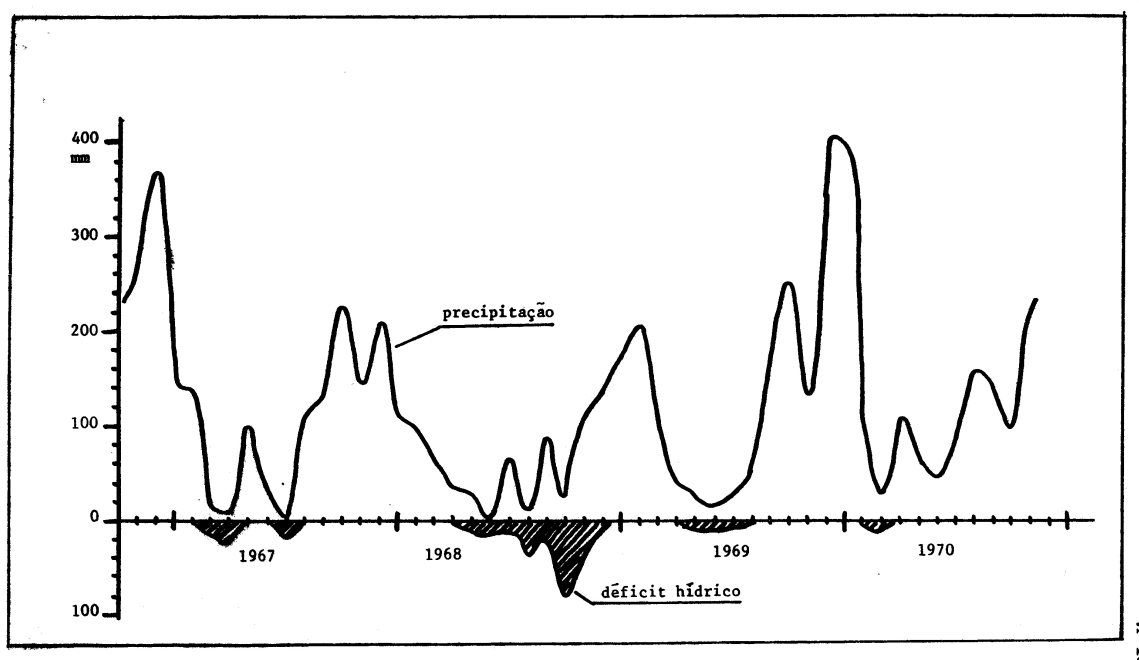


Figura 6. Regime pluviométrico e déficit hídrico representativos do período de crescimento das árvores. Região de Itupeva – SP.

Uma análise dos gráficos apresentados sugere a ocorrência de algum fenômeno climático ocorrido durante o inverno de 1968: os anéis decrescimento dos indivíduos das várias espécies apresentam densidades com valores superiores. Também percebe-se que os anéis correspondentes ao ano de 1970 são mais largos e apresentam densidade com valores inferiores. Observando o gráfico 6 percebe-se que 1968 foi um ano de baixo índice pluviométrico, tendo o déficit hídrico alcançado valores elevados, ao passo que 1970, foi um ano de alto índice pluviométrico, com excesso hídrico. A elevada densidade apresentada no anel primaveril corresponde ao verão 68/69 revela o baixo índice de precipitação da estação chuvosa.

É evidente que para testar melhor as hipóteses formuladas, para as espécies florestais cultivadas em nossas condições, fazem-se necessárias intensas pesquisas. Os resultados apresentados fazem parte de um programa de trabalho, em início de desenvolvimento, que visa o estudo da influência do clima em maior número de árvores de espécies mantidas sob condições climáticas peculiares.

#### 4.4. Incremento anual de massa (IAM)

A variabilidade radial da densidade constitui uma importante fonte de informações para os pesquisadores da ciência florestal. Com os valores da densidade média (DM) e do incremento volumétrico (IV), para cada período de crescimento, pode-se determinar o incremento anual de massa (IAM):  $IAM(g) = DM(g/cm^3) \times IV(cm^3)$ .

De um modo geral, os trabalhos de melhoramento e manejo florestal são dirigidos para um aumento da DM e uma maior taxa de IAM, necessitando de uma metodologia adequada e segura para a avaliação desses parâmetros .

Na metodologia tradicional, a quantificação da DM é feita pela individualização de cada um dos anéis de crescimento, determinando-se a densidade pelo método de máximo teor de umidade (FOREST PRODUCTS, 1956). Conhecido o volume (IV), calcula-se o IAM, de acordo com a fórmula acima.

Entretanto, a separação mecânica dos anéis, encontra alguns impedimentos práticos. Nas coníferas com lenhos primaveril e outonal delgados essa separação é dificultada e para a maioria das folhosas tornou-se praticamente impossível, considerando tratar-se de espécies que não apresentam anéis de crescimento nitidamente demarcados.

O cálculo da IM anual, com o emprego das informações fornecidas pela variação radial da densidade da madeira, pela radiação gama, pode ser feito: i) através da média dos valores individuais de densidade obtidos a cada milímetro, ou, ii) através de fórmulas. Em trabalho aprofundado sobre possibilidades de uso de radiação no estudo da qualidade da madeira, HARRIS (1969) sugere a seguinte fórmula para o cálculo da DM:

$$DM = D_{\min.} + \frac{\%LO}{100} \cdot (D_{\max.} - D_{\min.})$$

sendo:

DM = densidade média anual

$D_{\min.}$  = densidade mínima do lenho primaveril

$D_{\max.}$  = densidade máxima do lenho outonal

% LO = porcentagem de lenho outonal, em volume, no anel anual de crescimento.

O IAM para Eucalyptus saligna, E. propinqua e E. urophylla, com 9 anos de idade, obtido através de um disco de madeira com 1,0 em de espessura, retirado na altura do DAP das árvores é apresentado na figura 7. Até a idade em que foi efetuado o corte, observa-se uma superioridade do E. urophylla, aparecendo o E. saligna como a espécie de menor produtividade.

Por outro lado, examinando-se a figura 8, observa-se que E. saligna, a partir do 7º ano, vem obtendo acréscimos de massa superiores às demais espécies. Esse acréscimo é resultante do aumento da densidade, de ano para ano, enquanto que a variação da densidade permanece praticamente a mesma para E. urophylla e E. propinqua, (Figuras 2 e 3).

A análise das figuras apresentadas permite formular uma orientação quanto à época de exploração florestal para as diferentes espécies. Considerando que para E. urophylla e E. propinqua os ganhos de massa sintetizada por ano, excluindo-se os fatores externos, são aproximadamente os mesmos, pode-se sugerir o corte das árvores em sua época normal, ou seja, a partir do 5-7º ano. Já para E. saligna, a figura parece indicar que o corte aos 9 anos foi prematuro, pois o acréscimo anual de massa vinha aumentando e portanto, melhorando o rendimento da espécie. Convém salientar que os dados apresentados se referem a amostras provenientes da região de Itupeva – SP sendo que o comportamento dessas espécies em outras condições de clima, solo e manejo podem ser diferentes.

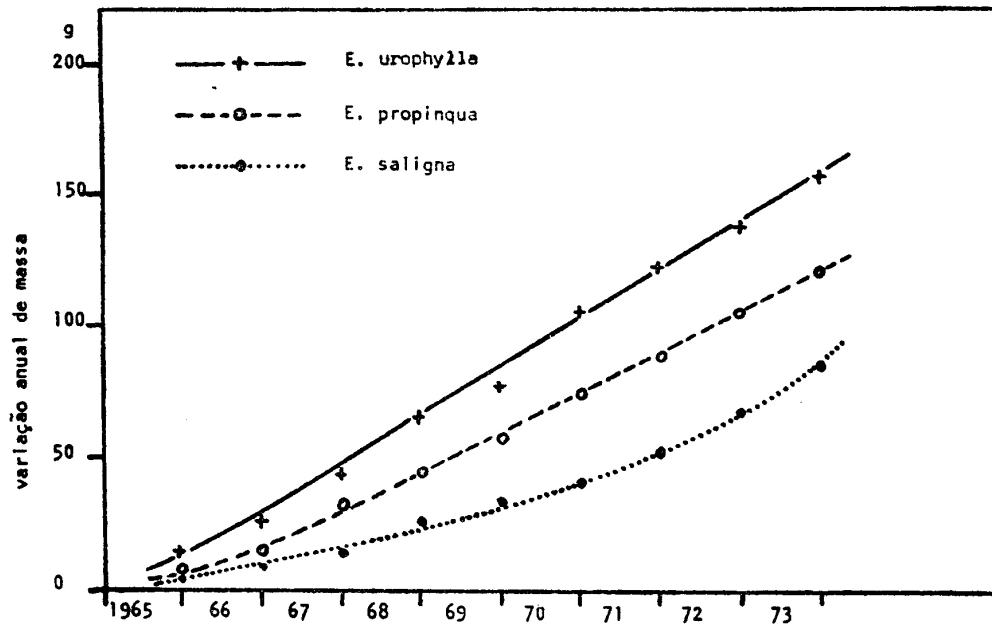


Figura 7. Variação anual de massa (g) em *Eucalyptus urophylla*, *E. propinqua* e *E. saligna*

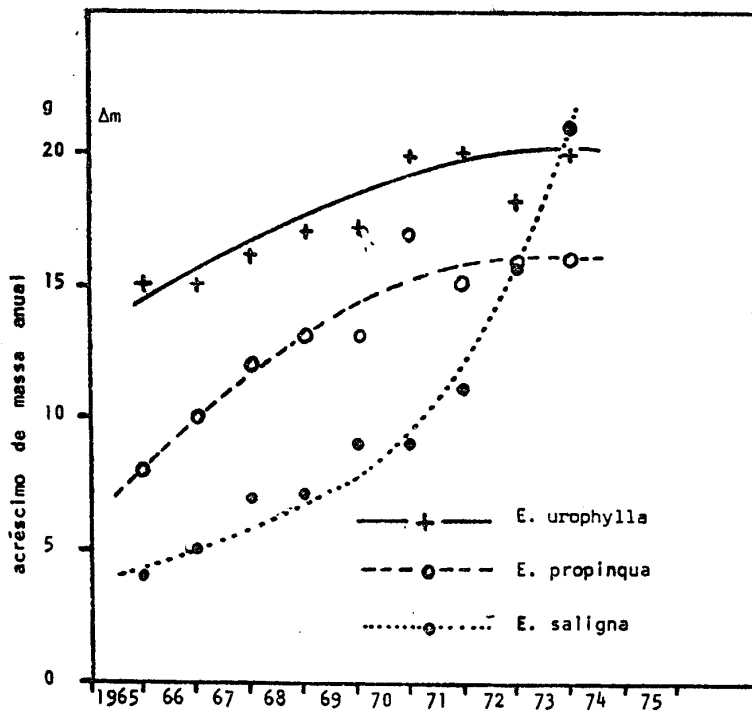


Figura 8. Acréscimo anual de massa (g) em *Eucalyptus urophylla*, *E. propinqua* e *E. saligna*.

#### 4.5. Densidade "In Situ"

A densidade da madeira e os defeitos internos (nós, podridões, madeira de compressão) podem ser determinados em árvores em pé, com o método de radiação gama, dentro de certos limites a serem considerados. A extensão dessa metodologia para as condições de campo, além de limitações técnicas está sujeita às limitações de ordem prática: um equipamento eletrônico de contagem portátil acionado a baterias e o peso dos suportes e blindagens de chumbo necessários à operação e proteção radiológica.

A massa de chumbo necessária para a proteção do operador esta relacionada com a energia e atividade do material radioativo usado. Por exemplo, quando se usa uma fonte de  $^{241}\text{Am}$  de aproximadamente 100 mCi, é suficiente uma proteção de 0,5 a 1,0 cm de chumbo. Porém, se for usada uma fonte de  $^{137}\text{Cs}$ , será necessária uma proteção de 20,0 cm ou mais. Isto porque o  $^{241}\text{Am}$  tem uma energia de 60 keV e o  $^{137}\text{Cs}$  de 662 keV. Por outro lado, a energia é que limita a faixa de boa utilização do método, de acordo com o produto da densidade pela espessura. De acordo com PINTO (1978), a fonte de  $^{241}\text{Am}$  se presta para a determinação de densidade e defeitos em pinheiros de até 30,0 em de diâmetro e eucaliptos de até 20,0 cm. Para outras espécies de densidade média mais elevada e árvores de grande diâmetro, será necessário o uso de fontes mais energéticas como por exemplo,  $^{144}\text{Ce}$  (134 KeV) ou  $^{137}\text{Cs}$  (662 KeV).

O equipamento é instalado em torno da árvore, de maneira que o feixe de radiação gama, incida próximo à casca, passando pelo ar livre, na primeira medida, para a leitura seguinte, o feixe é deslocado uma distância pré-estabelecida e atingindo uma parcela da casca. Desta forma, deslocando-se o feixe de radiação gama por toda a faixa do tronco, em um sentido paralelo, obtêm-se  $n$  contagens, até atingir o lado oposto, passando as radiações novamente pelo ar livre. (figura 9).

No caso de determinação de densidade, são feitas várias leituras nos diâmetros em diferentes orientações. Calcula-se a espessura exata do diâmetro atravessado pelo feixe e determina-se umidade média da madeira. Com essas informações, mais as constantes do aparelho e da madeira testada, calcula-se a densidade.

Para a localização de defeitos internos, o procedimento é mais simples, pois trata-se de uma investigação qualitativa e não quantitativa. Após a coleta das  $n$  contagens, de acordo com a seqüência descrita, é construído um gráfico em papel milimetrado contendo as distâncias no eixo das ordenadas. Pelo aspecto da curva obtida, pode-se identificar uma árvore sadia de uma com defeito interno no tronco. O gráfico da figura 10 mostra 3 exemplos de aplicação da técnica.



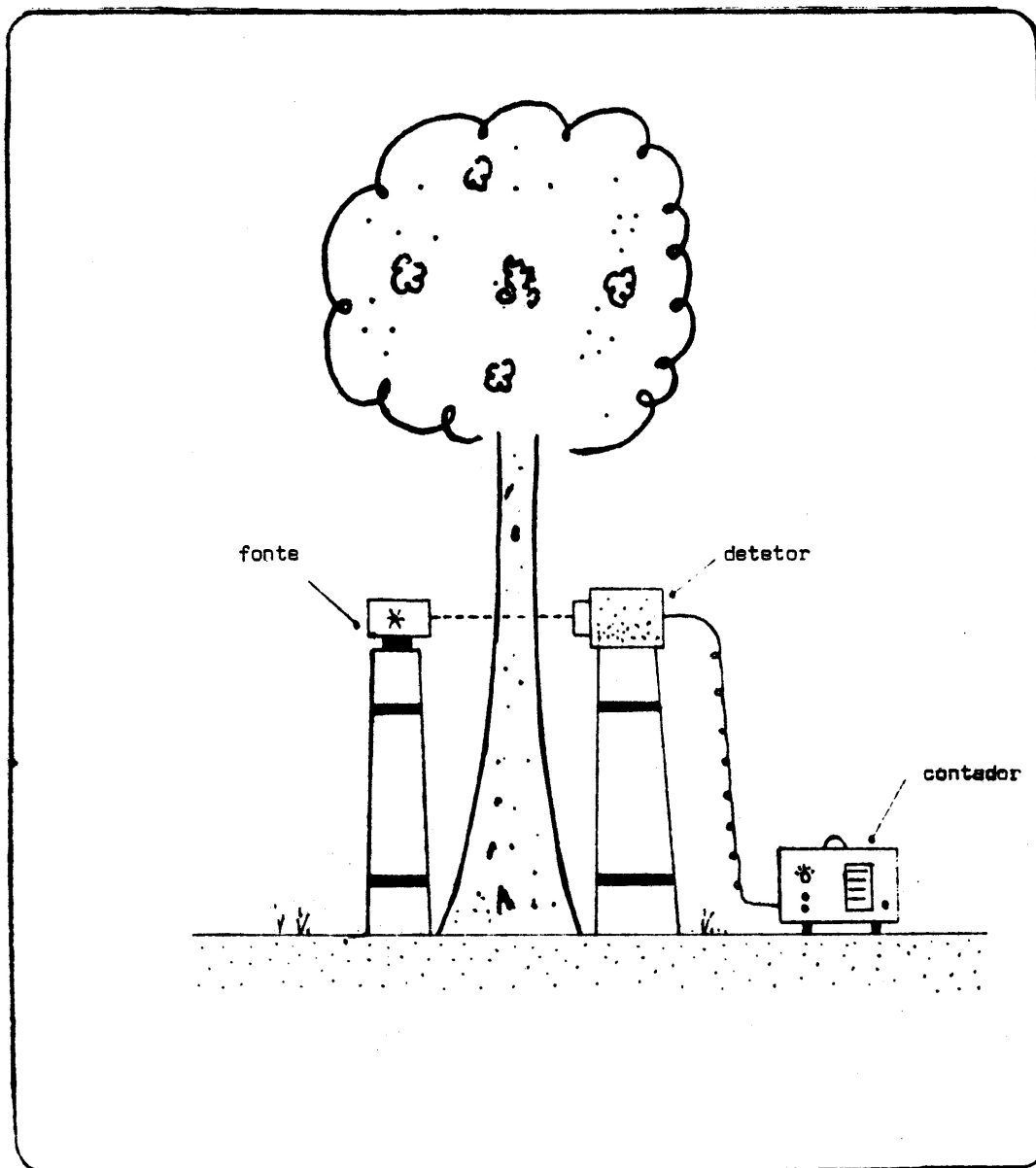


Figura 9. Esquema da utilização "insitu" do método de radiação gama determinação da densidade e localização de anomalias internas no tronco.

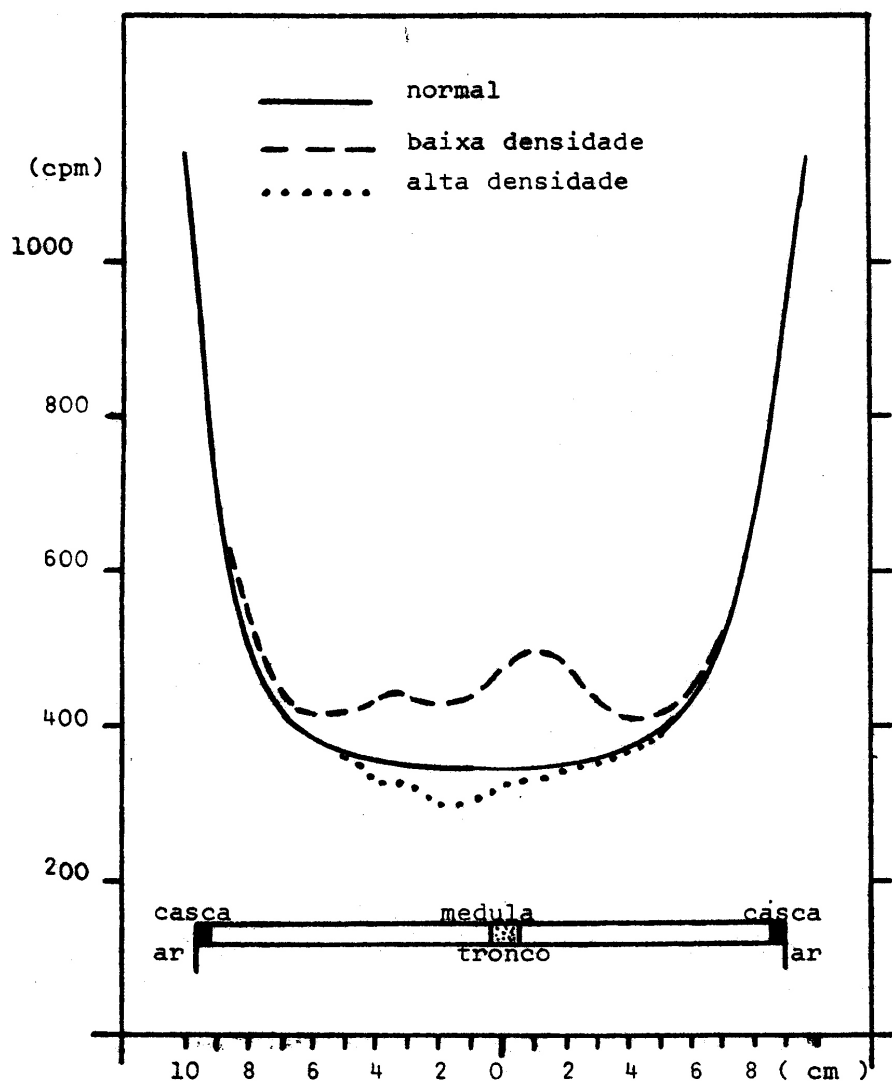


Figura 10. Exemplo da variação na taxa de contagens em função da posição, para troncos normais, com regiões de baixa densidade (podridão interna) e com regiões de elevada densidade (nós).

#### 4.6. Polimerização da madeira

Quando uma peça de madeira sofre infiltração com um monômero e em seguida provoca-se a sua polimerização, pela aplicação de técnicas adequadas, a madeira impregnada exibe alterações em suas propriedades naturais. A madeira polimerizada apresenta um aumento de densidade, de dureza, menor higroscopicidade, resistência ao ataque de fungos e insetos, resistência à flexão e demais propriedades relacionadas. As propriedades físicas da madeira polimerizada, em relação à madeira natural, são aumentadas proporcionalmente à retenção do polímero.

Para que a polimerização seja eficiente há necessidade de inicialmente, retirar a água do interior da madeira. Em seguida, a madeira seca é submetida, ao vácuo, permitindo a penetração do monômero. A polimerização ocorre pela exposição da peça de madeira à radiação gama, proveniente de uma fonte de cobalto 60 (KENT e col., 1963).

A radiação inicialmente produz radicais livres que podem iniciar a polimerização ou copolimerização dos monômeros. As modificações de um polímero pela copolimerização com um segundo monômero é conhecida como "graft copolymerization". Há a produção de longas cadeias laterais do segundo polímero, ligadas às moléculas do primeiro polímero (no caso a celulose), resultando em um produto com características desejáveis de ambos os polímeros (RAMALINGAN e col., 1963).

Alguns fatores devem ser considerados quando da aplicação de técnica de polimerização: i) a dificuldade de penetração é função dos constituintes anatômicos, características físicas da madeira, ii) a eficiência da polimerização é função da dose. iii) alguns extrativos da madeira (como por exemplo, fenóis) podem ter efeitos inibidores na polimerização. iiiii) os polímeros podem ser degradados pela radiação (SIAU e col., 1965).

Para o desenvolvimento da técnica de polimerização através da radiação gama, foi selecionado o guapuruvú – Schizolobium excelsum. Essa espécie foi empregada, considerando suas características anatômicas e propriedades físico-mecânicas (CARNEIRO, 1978). De acordo com MAINIERI e PEREIRA (1965), trata-se de uma madeira muito leve, com densidade em torno de 0,3 g/cm<sup>3</sup>, e de boa permeabilidade.

Amostras de madeira de espécies foram secas em estufa (103 ± 3°C) até peso constante. Permaneceram sob condições de vácuo (70 cmHg0 durante 17 horas no sistema de impregnação, sendo então infiltradas com o monômero: metacrilato de metila (MMA).

As peças de madeira permaneceram no sistema de impregnação, por mais um período de 6 horas, quando foram retiradas, pesadas e envolvidas em papel alumínio. Procedeu-se à polimerização, pela exposição das amostras a radiação gama proveniente de fonte de Co, de 25.000 Ci de atividade, em doses variando de 0,4 a 1,6 MR e a uma faixa de dose de 0,2 MR/hora. Após a irradiação, as amostras sofreram secagem em estufa à vácuo (50°C) até peso constante. Amostras testemunhas passaram pelo mesmo tratamento, exceto a irradiação.

Os novos valores de densidade, para os diferentes tratamentos, foram determinados pelo método de pesagem e avaliação do volume das peças. O gráfico da figura 11 mostra o efeito dos tratamentos, em função da dose total de radiação gama, recebida pelas amostras. Naquelas que houve polimerização total, a densidade de um valor inicial de 0,20 cresceu para 0,86 g/cm<sup>3</sup>.

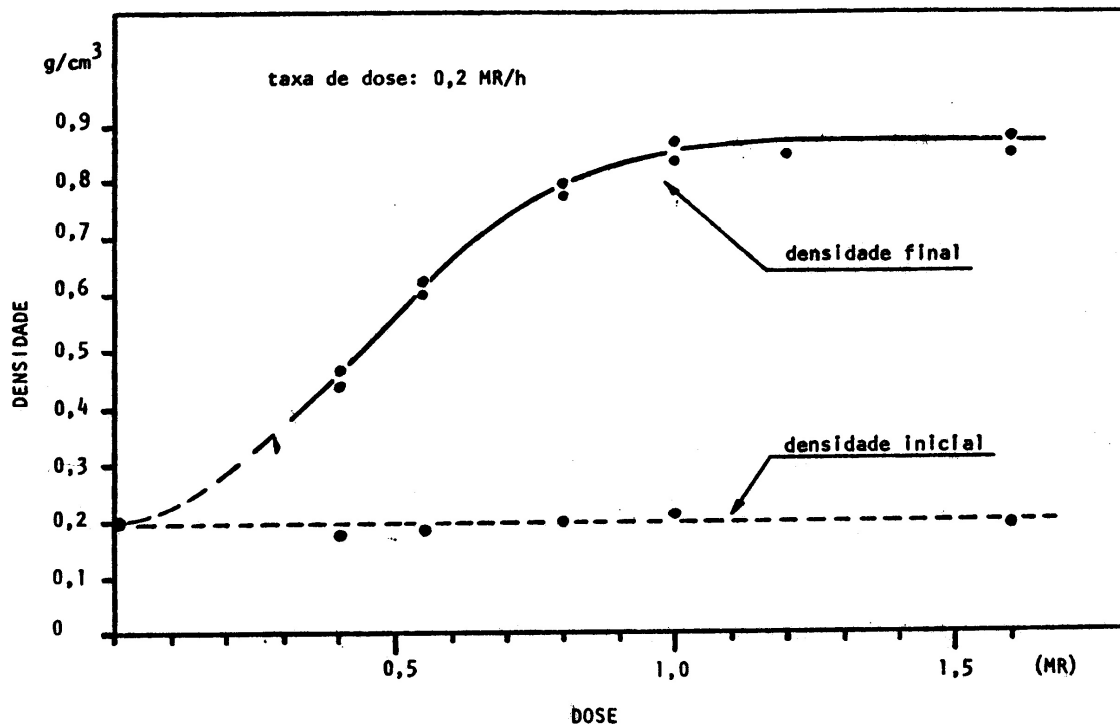


Figura 11. Variação da densidade da madeira de *Schizolobium excelsum*, em função da dose total recebida.

As perspectivas de emprego do método são amplas, considerando a escassez de madeira dura no mercado, resultantes da intensa exploração das espécies nobres. A melhoria da qualidade do guapuruvú, obtida pela técnica de polimerização, pode ser estendida para inúmeras espécies florestais de madeira mole, disponíveis em nossas condições.

No momento, alguns impedimentos de ordem técnico-econômica restringem parcialmente seu uso, aspecto que pode-se considerar plenamente natural, quando trata-se do desenvolvimento de metodologia inédita. Essa conclusão deve ser considerada, com base na intensa evolução havida na tecnologia da madeira, nos países desenvolvidos, os quais já utilizam industrialmente a madeira polimerizada de várias espécies florestais.

## 5. DISCUSSÃO

Os métodos nucleares têm se constituído em importante recurso para o exame detalhado da madeira, especialmente a densidade e a % de umidade (CAMERON e col., 1959; HARRIS, 1969), bem como na melhoria da qualidade de madeira de baixa densidade (KENT e col., 1963; CARNEIRO, 1978). Significativas contribuições têm sido oferecidas, nesse sentido, por inúmeros laboratórios, através do emprego de vários tipos de radiação (LENT, 1963; POLGE, 1963; PHILLIPS, 1968).

Em nossas condições, à medida que as pesquisas na área florestal vão se desenvolvendo, tem sido exigido um melhor conhecimento da qualidade da madeira produzida, especialmente pelas espécies de rápido crescimento. A radiação gama, conforme verificado para pinheiros e eucaliptos, possibilitam atingir esse conhecimento,

necessitando, entretanto, de um preparo conveniente e cuidadoso da amostra de madeira a ser estudada.

Apesar da radiação gama ser uma técnica de aplicação relativamente recente no Brasil (FERREIRA E FERRAZ, 1969; FERRAZ, 1976), com alguns detalhes a serem desenvolvidos, já foram obtidos resultados compensadores.

A radiação gama oferece detalhes não alcançados pelos métodos tradicionais, mostrando sua potencialidade em inúmeros campos da tecnologia da madeira. Pode ser aplicada para verificar as conseqüências de variações climáticas (dendrocronologia e dendroclimatologia), da aplicação de técnicas de melhoramento e dos regimes silviculturais nas propriedades da madeira.

## USO DE MÉTODOS NUCLEARES NO ESTUDO DA QUALIDADE DA MADEIRA USE OF NUCLEAR TECHNIQUES TO IMPROVE WOOD QUALITY

### a. RESUMO

No presente trabalho discutiu-se a possibilidade do emprego da radiação gama no estudo e melhoria da qualidade da madeira de coníferas e folhosas. A aplicação de técnicas nucleares fornece informações da variabilidade radial da densidade da madeira, em pontos distantes de 1,0 mm. Estudou-se a correlação da densidade, com as dimensões dos traqueídeos (espessura da parede, largura, comprimento e diâmetro do lúmen), com as condições climáticas e o incremento anual de massa. A análise da densidade e defeitos internos da madeira, em condições de campo, também foi discutida, bem como a melhoria da qualidade da madeira de Schizolobium excelsum (guapuruvú), através da infiltração com monômero e sua posterior polimerização, pela exposição das peças à radiação gama.

### b. SUMMARY

The possibility of the use of gamma radiation, in the study and in the improvement of the wood quality of soft and hardwoods is discussed in this work. The application of nuclear techniques supply informations of the radial variability of the wood density in 1,0 distant points. The correlations of the wood density with the tracheid dimensions (length, width, lumen and cell wall thickness), the climatic conditions and the anual growth increment. The analysis of wood density and of the internal deffects in the field conditions and the improvement of the wood quality of Schizolobium excelsum (guapuruvu), through the infiltration with a monomer and its posterior polymerization by exposure of blocks to the gamma radiation were also discussed.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- BRAZIER, J. D.* 1969. Timber improvement 1. A study of the variation in wood characteristics in young stika spruce. *Forestry* 40 (1): 117-128.
- CAMERON, J. F.; BERRY, P. F.; PHILLIPS, E. W. J.* 1959. The determination of wood density using beta-rays. *Holzforschung* 13 (3): 78-84.
- CARNEIRO, M. G.* Polimerização de monômeros em madeira usando radiação gama. Dissertação mestrado. ESALQ-USP (em preparo).
- DINWOODIE, J. M.* 1961. Tracheid and fiber length in timber. A review of literature. *Forestry* 34: 125-144.
- ELLIOTT, G. K.* Wood density in conifers. Commonwealth Forestry Bureau. Tec. Communication n° 8. 44 p. 1970.
- FERRAZ, E. S. B.* Determinação simultânea de densidade e umidade de solos por atenuação e raios gama do  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{241}\text{Am}$ . Tese Livre-Docência. ESALQ-USP. 1974.
- FERRAZ, E. S. B.* 1976. Determinação da densidade de madeiras por atenuação de radiação gama de baixa energia. *IPEF* (12): 61-68.
- FERRAZ, E. S. B.; MANSELL, R. S.* 1977. Determination water content and bulk density of soil gamma ray methods. Technical Bulletin. University of Florida
- FERREIRA, C. A.; FERRAZ, E. S. B.* 1969. Uso da radiação gama na determinação da densidade e do teor de umidade da madeira. Relatório. 27 p. (não publicado).
- FERREIRA, M.* 1970. Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus saligna* Smith. *IPEF* (1): 83-96.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY.* 1956. Methods of determining specific gravity of wood. USDA. Forest Service. Note n° B-14. 6pp.
- FRITTS, H. C.* 1976. Tree rings and climate. Academic Press. 567 p.
- HARRIS, J. M.; POLGE, H.* 1967. A comparison of x-ray and Beta ray techniques for measuring wood density. *J. Inst. Wood Sci.* 19 (4-1): 34-42.
- HARRI, J. M.* 1969. The use of beta rays in determining wood properties. *New Zealand J. of Science* 12 (2): 395-451.
- KENT, J. A.; A. W. WINSTON; W. R. BOYLE; L. W. HARMISON.* 1963. Prepared of wood plastic combinations using gamma radiation to induce polymerization. U. S. Atomic Energy Commission, The Division of Isotopes Development ORO-600.

*KEYWERTH, R.; KLEUTERS, W. 1962.* Analysis of annual rings by the isotope technique. Holz. Rohnwerkstoff 20, 173-181.

*KLEUTERS, W. 1964.* Optical test conditions for determining local density of wood by the beta ray method. For. Prod. J. 14 (9): 414-420.

*KOCH, P. Utilization of Southern Pines. I. The raw material. USDA-Forest Service. Agriculture Handbook n° 420. 1972. 734 p.*

*KOLLMANN, F. F. P., CÔTÉ, W.A. Principles of wood science and technology. I. Solid Wood. Springer-Verlag, Berlin. 1968. 592 p.*

*LENS, O. 1957.* The use of radiography in the examination of annual rings. Swiss. Forest Research Inst. Memoirs. 33 (5).

*LOSS, W. E. 1961.* The relationship between gamma ray absorption and wood moisture content and density. For. Prod. Journal 11 (3): 145-149.

*LOSS, W. E. 1965.* Determining moisture content and density of wood by nuclear radiation technique. Forest Journal Products (3): 103-106.

*MAINIERI, C.; PEREIRA, J. A. 1965.* Madeiras do Brasil. Sua caracterização macroscópica, usos Comuns e índices qualitativos físicos e mecânicos. Anuário Bras. de Econ. Florestal n° 17. 282 p.

*PANSHIN, A. J.; DE ZEEWN, C. Textbook of wood technology. Mc Graw-Hill Book company. 1964. 643 p.*

*PAUL, B. H. 1963.* The application of silviculture in controlling the specific gravity of wood. USDA. Forest Service. Tec. Bull. n° 1288.

*PARRISH, W.B. 1961.* Detecting defects in wood by the attenuation of gamma-rays. Forest Science (7), 2: 136-143.

*PHILLIPS, E. W. J.; ADAMS, E. H.; HEARMON, R. F. S. 1962.* The measurement of density variation within the growth rings in thin sections of wood using beta particles. J. Inst. Wood Science 10: 11-28.

*PHILLIPS, E. W. J. 1965.* Methods and equipment for determining the specific gravity of wood. IUFRO, section 41. Melbourne. Australia.

*PHILLIPS, E. W. J. 1968.* A further contribution to the comparison of x-ray and beta-ray techniques for measuring wood density. J. Inst. Wood Sci. 19: 64-6.

*PINTO, F. A. Determinação de densidade da madeira por atenuação de radiação do <sup>241</sup>Am. Dissertação mestrado. ESALQ. 129 p. 1978.*



*POLGE, H. 1963.* Densitometric analysis of radiographs. Ann. Ecole Nat. Elaux et Forêts 20 (4).

*POLGE, H. 1966.* Utilization des spectres de diffraction des rayons pour les études de qualité de bois. Thesis. Nancy.

*RAMALINGAM, K. U.; G. N. WEREZAK; J. D. BODGINS. 1963.* Radiation-induced graft polymerization of styrene in wood. J. of Polymer Science. Part ,C, n° 2: 153-167.

*REICHARDT, K., FERREIRA, M. 1966.* Contribuição do estudo da radiação gama na determinação da densidade aparente da madeira. XVIII Reunião da SBPC. Blumenau. Santa Catarina.

*ROLIM, M. B., FERREIRA, M. 1974.* Variação da densidade básica da madeira produzida pela *Araucaria angustifolia* em função dos anéis de crescimento. IPEF 9: 47-55.

*SAKAMOTO, S., IIKUZA, N. 1957.* A study of judgement methods of relative water contents in green discs douglas fir by gamma-rays. J. Japan Wood Res. Soc. 3 (1): 14-19.

*SANDERMAN, W.; SCHWEERS, W.; GAUDERT, P. 1960.* Messing der Holtzdichte und Bestimmung der Holz-Jahr-ring braite nit Hilfe von  $\beta$  - Strahlen. Forstarchiv 31 (8): 126.

*SIAU, J. F.; J. A. MEYER; C. SKAAR. 1965.* Wood polymer combinations using radiation techniques. Forest Products Journal 10: 426-434.

*SPURR, S. H., HSIUNG, W. 1954.* Growth rate and specific gravity in conifers. J. Forestry 52 (3): 191-200.

*TAPPI. 1962.* In The Influence of environmental and genetics on pulpwood quality - an annotated bibliography. Tappi monograph Series 24: 763.

*TAYLOR, F. 1973.* Anatomical wood properties of south African grown *Eucalyptus grandis*. South African Forestry Journal 84: 20-24.

*TSOUMIS, G. Wood as raw material.* Pergarnon Press. 1969. 276 p.

*USDA, Forest Products Laboratory. Wood Handbook: wood as Engineering material* Agriculture Handbook n° 72. 1974.

*ZOBEL, B. J. 1965.* Inheritance of fiber characteristics in hardwoods – A review. IUFRO, section 41. vol. II, 14 pp.

*WOODS, F. W. 1965.* Gamma-ray attenuation by loblolly pine wood: an investigation of integral counting. Forest Science (11). 3: 341-345.