

MANOEL AMÉRICO MENDONÇA

**"CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DE *Pinus elliottii* COM  
DIFERENTES IDADES E PROPRIEDADES DO PAPEL"**

Dissertação submetida à apreciação da  
Comissão Examinadora para obtenção do  
Título de mestre em Ciências, no Cur-  
so de Pós-Graduação em Engenharia Flo-  
restal do setor de Ciências Agrárias  
da Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA

1982



COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

PARECER

Os membros da Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato MANOEL AMÉRICO MENDONÇA, sob o título "CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DE *Pinus elliottii* COM DIFERENTES IDADES E PROPRIEDADES DO PAPEL" para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, área de concentração TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Dissertação, completando assim os requisitos necessários para receber o grau e o Diploma de Mestre em Ciências Florestais. Observação: O critério de avaliação da Dissertação e defesa da mesma a partir de novembro de 1980 é apenas APROVADA ou NÃO APROVADA.

Curitiba, 09 de julho de 1982.

Professor Luiz Ernesto George Barrichelo, DR.  
Primeiro Examinador

Professor José Carlos Duarte Pereira, M.Sc  
Segundo Examinador

Professor Ivan Tomaselli, DR.  
Presidente.



A minha mãe

Aos funcionários da Faculdade de Floresta  
da Universidade Federal do Paraná

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar os seus agradecimentos às seguintes pessoas e instituições:

- Ao professor Dr. Ivan Tomaselli, por sua orientação, estímulo, compreensão e amizade.

- Ao co-orientador Prof. João Carlos Moreschi, pelas valiosas sugestões apresentadas neste trabalho.

- Ao Prof. Henrique Soares Köehler pela elucidação estatística dos dados.

- Ao Eng. Ricardo Coraiola - chefe do Centro de Pesquisa e Controle de Qualidade da Indústria KLABIN do Paraná de Celulose S/A - pela ajuda na coleta dos dados.

- Ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná por possibilitar a realização deste curso.

- Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo suporte financeiro.

- À BRASKRAFT S/A - Florestal e Industrial - pelo suporte financeiro e cessão do material para este trabalho.

- À Indústria KLABIN do Paraná de Celulose S/A - pela cessão de seus laboratórios e apoio na coleta de dados.

- À Arlene Stenger Blum pela datilografia deste trabalho.

- Aos funcionários Pedro Salvador Herrera e José Benedito Teixeira pelo auxílio prestado.

- Aos demais professores e colegas do curso que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

## BIOGRAFIA

MANOEL AMÉRICO MENDONÇA, filho de Angelo Mendonça Netto e Cornélia Aparecida Mendonça, nasceu em Arceburgo, Estado de Minas Gerais, no dia 6 de novembro de 1951.

Concluiu o primeiro grau no Instituto de Educação Estadual de Andradina.

Em 1967 iniciou o estudo secundário no Instituto de Educação "Oscar Villares" de Mococa, encerrado em dezembro de 1969.

Em 1970 iniciou o Curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, graduando - se em dezembro de 1974.

Em janeiro de 1975 ingressou na Usina Itaiquara Fermento-Açúcar onde exerceu as funções de Supervisor Agrícola.

Em março de 1976 iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná na Área de Tecnologia da Madeira, concluindo os créditos para o grau de M.Sc. em dezembro de 1977.

Em julho de 1979, ingressou na Fundação Universidade Federal de Mato Grosso como professor visitante pelo Convênio SUBIN - Universidade Federal do Paraná.

Atualmente é professor Assistente no Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, tendo iniciado esta atividade em agosto de 1980.

## SUMÁRIO

	Página
Lista de Figuras .....	<i>ix</i>
Lista de Quadros .....	<i>xi</i>
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1. Fatôres que influenciam a qualidade da ma- deira .....	3
2.1.1. Fatôres inerentes à árvore .....	3
2.1.1.1. Influência genética .....	3
2.1.1.2. Influência da taxa de crescimento .....	5
2.1.1.3. Posição no tronco .....	7
2.1.1.4. Idade da árvore .....	11
2.1.2. Fatôres inerentes ao Ambiente e Tratos Sil- viculturais .....	12
2.1.2.1. Influência do Desbaste, Espaçamen- to e Poda .....	12
2.1.2.2. Influência da Fertilização .....	14
2.1.2.3. Influência da Fertilização e sua interação com Desbaste .....	15
2.1.2.4. Influência da Irrigação .....	16
2.1.2.5. Localização Geográfica .....	17
2.2. Influência da Qualidade da Madeira nas Pro- priedades do Papel .....	19
2.2.1. Influência das Características Anatômicas .....	19
2.2.2. Influência da Composição Química .....	24
2.2.3. Outros Fatôres .....	26

	Página
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	28
3.1. Amostragem .....	28
3.1.1. Definição da População .....	28
3.1.2. Seleção do Material .....	29
3.2. Estudo das Propriedades da Madeira .....	30
3.2.1. Determinação da Densidade Básica para as Amos <u>tr</u> tras .....	30
3.2.2. Determinação da Percentagem de Lenho Outonal.	32
3.2.3. Estudo das Características Morfológicas dos Traqueóides .....	33
3.3. Produção de Cavacos .....	36
3.3.1. Preparo dos Cavacos .....	36
3.3.2. Amostragem dos Cavacos .....	36
3.3.3. Cozimento e Condições dos Cozimentos .....	38
3.3.4. Lavagem e Depuração da Polpa .....	38
3.3.5. Determinação dos Rendimentos em Celulose e Teores de Rejeitos .....	40
3.3.6. Determinação do Número KAPPA .....	40
3.3.7. Refinação da Polpa .....	41
3.3.8. Formação das Folhas .....	41
3.3.9. Acondicionamento das Folhas .....	41
3.3.10. Ensaio Físico-Mecânicos do Papel .....	42
3.4. Análise Estatística .....	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
4.1. Características Físicas da Madeira .....	44
4.1.1. Densidade Básica .....	44
4.1.2. Porcentagem de Lenho Outonal .....	47
4.2. Características Morfológicas .....	49

	Página
4.2.1. Comprimento do Traqueóide .....	49
4.2.1.1. Variação do Comprimento do Traqueóide nos Anéis de Crescimento em diversas posições no fuste ....	49
4.2.1.2. Variação do Comprimento dos Traqueóides nas diversas Posições do Fuste e Idades .....	54
4.2.2. Diâmetro do Traqueóide .....	57
4.2.2.1. Variação do Diâmetro do Traqueóide nos Anéis de Crescimento em diversas posições no fuste .....	57
4.2.2.2. Variação no Diâmetro do Traqueóide nas diversas posições do fuste e idades .....	59
4.2.3. Diâmetro do Lúmen do Traqueóide .....	62
4.2.3.1. Variação do Diâmetro do Lúmen do Traqueóide nos Anéis de Crescimento nas diversas posições no fuste.	62
4.2.3.2. Variação no Diâmetro do Lúmen nas diversas posições do fuste e idades	65
4.2.4. Espessura da Parede do Traqueóide .....	70
4.2.4.1. Espessura da Parede do Traqueóide nos Anéis de Crescimento nas diversas posições no fuste .....	70
4.2.4.2. Variação da Espessura da Parede do Traqueóide nas diversas posições do fuste e idades .....	72
4.2.5. Fator Runkel, Coeficiente de Flexibilidade, Índice de Enfeltramento e Coeficiente de Rigidez .....	74

	Página
4.3. Rendimentos em celulose .....	78
4.4. Número de Permanganato das Polpas .....	81
4.5. Valores obtidos para densidade (g/cm <sup>3</sup> ) das Folhas .....	81
4.6. Propriedades Físico-Mecânicas das Folhas ....	83
4.6.1. Comprimento de Auto-Ruptura .....	83
4.6.2. Estouro .....	88
4.6.3. Índice Rasgo .....	89
4.7. Correlações entre Características dos Traqueóides e Propriedades do Papel .....	90
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	94
6. RESUMO .....	98
SUMMARY .....	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	102
APÊNDICE .....	109

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Influência da morfologia dos traqueóides em algumas propriedades do papel .....	23
2	Sistemática para obtenção dos Toretos (T) e Discos (D) neste estudo .....	31
3	Delineamento para a coleta do material para estudo da morfologia dos traqueóides .....	34
4	Amostragem e medição dos traqueóides no meio de montagem .....	37
5	Densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ ) em diversas posições do tronco para madeira de <i>Pinus elliottii</i> nas três idades estudadas .....	46
6	Porcentagem de lenho outonal (%) nas diversas posições do tronco da madeira de <i>Pinus elliottii</i> considerando-se três idades .....	50
7	Variação do comprimento de traqueóide no sentido medula-casca para madeira de <i>Pinus elliottii</i> nas três idades estudadas ( disco tomado na base) .....	53
8	Variação do comprimento de traqueóide para madeira de <i>Pinus elliottii</i> nas diversas posições do tronco e idades estudadas .....	56
9	Variação do diâmetro do traqueóide no sentido medula-casca para madeira de <i>Pinus elliottii</i> nas três idades estudadas ( disco tomado na base) .....	60

Figura	Página
10	Variação do Diâmetro do Traqueóide para madeira de <i>Pinus elliottii</i> nas diversas posições do tronco e idades estudadas ..... 63
11	Variação no diâmetro do lúmen do traqueóide no sentido medula-casca para madeira de <i>Pinus elliottii</i> nas três idades estudadas (disco tomado na base) ..... 66
12	Variação do Diâmetro do Lúmen dos Traqueóides da madeira de <i>Pinus elliottii</i> nas diversas posições do tronco e idades estudadas ..... 69
13	Variação na espessura da parede do traqueóide da madeira de <i>Pinus elliottii</i> no sentido medula-casca nas três idades estudadas (disco tomado na base) ..... 73
14	Variação na espessura da parede do traqueóide para madeira de <i>Pinus elliottii</i> nas diversas posições do tronco e idades estudadas ..... 76

## LISTA DOS QUADROS

Quadro		Página
1	Condições de cozimento utilizadas .....	39
2	Densidade básica da madeira de <i>Pinus elliottii</i> com diferentes idades, coletada em três alturas do fuste (5 árvores para cada idade) ....	45
3	Porcentagem de lenho outonal de <i>Pinus elliottii</i> de diferentes idades, coletada em três alturas do fuste (5 árvores para cada idade) ....	48
4	Comprimento de traqueóide de <i>Pinus elliottii</i> de diferentes idades coletado em diversos anéis de crescimento e três posições do fuste (5 árvores para cada idade) .....	51
5	Comprimento de traqueóide de <i>Pinus elliottii</i> de diferentes idades, coletado em três alturas no fuste (5 árvores para cada idade) ....	55
6	Diâmetro de traqueóide de <i>Pinus elliottii</i> de diferentes idades, coletado em diversos anéis de crescimento e três posições do fuste (5 árvores para cada idade) .....	58
7	Diâmetro de traqueóide de <i>Pinus elliottii</i> de diferentes idades, coletado em três alturas do fuste (5 árvores para cada idade) .....	61
8	Diâmetro do lúmen do traqueóide de <i>Pinus elliottii</i> de diferentes idades, coletado em diversos anéis de crescimento e três posições do fuste (5 árvores para cada idade) .....	64

Quadro	Página
9	Diâmetro do lúmen de <i>Pinus elliottii</i> de diferentes idades, coletado em três alturas nas árvores (5 árvores para cada idade) ..... 68
10	Espessura da parede do traqueóide de <i>Pinus elliottii</i> de diferentes idades, coletada em diversos anéis de crescimento e três posições do fuste (5 árvores para cada idade)..... 71
11	Espessura da parede do traqueóide de <i>Pinus elliottii</i> de diferentes idades, coletado em três posições do fuste (5 árvores para cada idade).. 75
12	Fator Runkel, coeficiente de flexibilidade, Índice de Enfeltramento e Coeficiente de rigidez para madeira de <i>Pinus elliottii</i> com três diferentes idades ..... 79
13	Rendimentos em celulose e teor de rejeitos para <i>Pinus elliottii</i> de diferentes idades em porcentagem (média para os dois cozimentos) ..... 80
14	Números de permanganato (nº k) para polpas de <i>Pinus elliottii</i> com diferentes idades (média de 2 cozimentos)..... 82
15	Densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) das folhas de papel para madeira de <i>Pinus elliottii</i> de diferentes idades (valores médios para 24 folhas e 4 níveis °SR). 84
16	Propriedades das celuloses kraft de <i>Pinus elliottii</i> com 10 anos a diferentes graus de refinação ..... 85

Quadro		Página
17	Propriedades das celuloses kraft de <i>Pinus elliotii</i> de 13 anos com diferentes graus de refinação .....	86
18	Propriedades das celuloses kraft de <i>Pinus elliotii</i> de 17 anos, com diferentes graus de refinação .....	87
19	Dados estimados e valores reais obtidos para densidade da folha ( $\text{g/cm}^3$ ) e resistência ao estouro para as diferentes idades .....	92

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria de celulose e papel atravessou durante os últimos anos um franco desenvolvimento.

Em 1970 as exportações brasileiras de celulose foram da ordem de 0,23% no total de 17 milhões de toneladas ao mundo. A partir de 1974, implantou-se o Programa Nacional de Papel e Celulose (PNPC) com o objetivo de substituir importações e conseqüentemente gerar exportações. Este incremento no setor, proporcionou um crescimento relevante cuja taxa média anual foi de 17,3% na produção interna. Paralela - mente ocorreu elevação do grau de tecnologia do processo<sup>(1)</sup>.

Com a adoção de incentivos fiscais para os reflorestamentos através da lei nº 5106 de 1966, a área de plantio teve uma ampliação significativa. Entre as espécies florestais introduzidas, destaca-se as do gênero *Pinus* spp. com uma área implantada de aproximadamente 1.500.000 ha até 1980.

Devido ao rápido crescimento das espécies introduzidas, as características da madeira diferem daquela obtida com árvores crescendo no seu habitat natural. Existe portanto a necessidade de que se obtenham informações detalhadas sobre as propriedades deste material, que gradativamente vem assumindo importância na indústria de celulose e papel.

O objetivo principal deste trabalho foi o de deter

---

(1) De acordo com a ABCECEL - Associação Brasileira de Exportadores de Celulose - 1980.

minar as variações em algumas propriedades físicas da madeira e características morfológicas dos traqueóides em árvores de *Pinus elliottii*, com idades de 10, 13 e 17 anos provenientes de Itararé e Itapeva no Estado de São Paulo. Paralelamente realizou-se um estudo sucinto sobre o papel produzido com as três idades estudadas, determinando-se as suas propriedades. Analisou-se também a adaptabilidade de equações apresentadas em estudos anteriores que correlacionavam as características da madeira com propriedades de papel.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Fatôres que Influenciam a Qualidade da Madeira

A madeira é um material estrutural, e uma inigualável fonte de fibras e constituintes químicos (DUFFIELD)<sup>(12)</sup>

DUFFIELD<sup>(12)</sup> afirma existirem grandes diferenças nas propriedades da madeira e que o conhecimento da variação dentro das espécies não é muito clara. Isto é devido ao fato da multiplicidade e interação das causas de variação dentro das espécies. Estas causas podem ser classificadas como controlada geneticamente, controlada ambientalmente e controlada posicionalmente (posição do tronco). O autor deste trabalho classifica estas variações em dois grupos: fatôres inerentes à árvore (fatôres internos), e fatôres inerentes ao ambiente e tratos silviculturais. Leva-se em consideração nesta revisão bibliográfica somente a madeira de coníferas.

#### 2.1.1. Fatôres Inerentes à Árvore

##### 2.1.1.1. Influência Genética

O estudo da Influência genética nas propriedades da madeira tem sido uma preocupação recente. DADSWELL et al (1961)\* citado por RANATUNGA<sup>(35)</sup> afirmam que algu -

---

\*DADSWELL et al (1961) Tree to tree variation and gross heritability of wood characteristics of *Pinus radiata*. Tech. Ass. Pulp Paper Ind., 44(3): 174 - 179.

mas características anatômicas, como por exemplo o comprimento da fibra, é altamente influenciado pelas características genéticas das árvores mães.

A maioria dos estudos nesta área foram conduzidos com o gênero *Pinus*. ZOBEL et al<sup>(50)</sup> pesquisaram a influência genética no peso específico da madeira juvenil de *Pinus taeda* através da seleção de árvores mães. Os autores deste estudo definiram madeira juvenil como o material localizado próximo a medula, formado dentro da copa viva da árvore e que possui características físico-anatômicas diferenciadas.

O estudo de ZOBEL et al<sup>(50)</sup> foi conduzido utilizando árvores dominantes e codominantes de povoamentos nativos com diferentes idades e em diferentes sítios. observou-se boa correlação entre o peso específico da progênie com o de seus progenitores, embora à medida que as árvores mães eram mais velhas, esta correlação era mais baixa. Concluiu-se que geralmente uma alta densidade de árvores mães produzem uma progênie também com alto peso específico.

NICHOLLS & BROWN<sup>(32)</sup> conduziram um estudo da relação entre anéis de crescimento e características da madeira de *Pinus radiata*, utilizando-se de árvores bifurcadas (denominada pelos autores de árvores de duplo-tronco), eliminando-se desta maneira a variação genética entre os troncos. Levou-se em consideração que os troncos bifurcados deveriam apresentar diâmetros diferentes. As amostras que foram coletadas ao nível do DAP, tendo sido selecionadas de três árvores, em três diferentes sítios. As amostras foram analisadas anel por anel com relação ao comprimento médio do traqueóide, grã espiral, densidade média e porcentagem de lenho outonal e

primaveril.

Nenhuma correlação foi observada entre largura do anel de crescimento e os parâmetros estudados. Isto permitiu aos autores sugerirem que para *Pinus radiata* o crescimento não afeta as propriedades da madeira, e que o fator genético deve ser considerado como o mais importante. Deve ser levado em consideração que o estudo foi conduzido com um número limitado de indivíduos e que existem outras variáveis importantes a serem consideradas como condições ambientais e tratamentos silviculturais, etc.

#### 2.1.1.2. Influência da Taxa de Crescimento

Como citado por YAO<sup>(49)</sup>, a influência da taxa de crescimento nas propriedades da madeira não é claramente definida, existindo contradições. Existem numerosos estudos nesta área e os resultados tem variado entre espécies, locais, sítios, etc.

A maioria dos estudos foram conduzidos para avaliar a influência do crescimento em propriedades tais como peso específico e porcentagem de lenho outonal e primaveril.

ERICKSON & HARRISON<sup>(14)</sup> citam que súbitas estimulações ao crescimento (aumento repentino na taxa de crescimento), normalmente resulta em um aumento na porcentagem de lenho primaveril e conseqüentemente uma redução no peso específico. Estes pesquisadores também observaram um decréscimo no comprimento dos traqueóides com o aumento da taxa de crescimento. Estas diminuições, no entanto, são consideradas

transitórias pois mesmo antes de ser observada uma diminuição significativa na taxa de crescimento, em uma fase posterior, o comprimento do traqueóide tende a voltar à dimensão original.

Segundo McMILLIN<sup>(27)</sup>, para *Pinus* spp. da região sul dos Estados Unidos, o peso específico da madeira aumenta da medula para a casca, e este aumento seria resultante de uma redução na taxa de crescimento. Acredita o autor do presente trabalho que este fato é associado com a formação de madeira juvenil e não uma influência da taxa de crescimento propriamente dita. Observações neste sentido foram feitas por UPRICHARD<sup>(42)</sup> estudando *Pinus radiata*.

A influência da taxa de crescimento nas propriedades da madeira de *Pinus taeda* foi também estudada por YAO<sup>(49)</sup>. Em seu estudo foram utilizadas quarenta árvores tendo sido avaliado o peso específico, porcentagem de lenho outonal e primaveril. Os resultados indicaram que a taxa de crescimento deve ter pouca influência no peso específico, e que as diferenças normalmente achadas são devido à maior porcentagem de lenho outonal observado em árvores que apresentam uma menor taxa de crescimento.

A dificuldade em estabelecer uma tendência definida e clara parece ser causada pela influência de vários outros fatores como por exemplo o sítio que parece exercer uma forte influência na qualidade da madeira. Sua interrelação com a taxa de crescimento torna a análise complexa (LARSON)<sup>(24)</sup>.

### 2.1.1.3. Posição no Tronco

A posição no tronco é talvez a variável mais estudada. Segundo DUFFIELD<sup>(12)</sup>, citando o clássico trabalho de SANIO (1872)\*, a variação posicional no comprimento do traqueóide de um *Pinus silvestris* é válida para outras espécies de coníferas. O comprimento do traqueóide aumenta para um máximo na direção medula casca e quando próximo ao nível do solo. O mesmo, em geral, é verdadeiro para a porcentagem de lenho outonal, peso específico e para o conteúdo de celulose.

DADSWELL<sup>(10)</sup> relata que as mudanças externas através das quais a planta passa durante o seu período juvenil, são acompanhadas de mudanças internas, particularmente na dimensão da célula e estrutura da parede celular. Para materiais complexos, como a madeira, não apenas o comprimento médio da célula varia de um anel de crescimento para o próximo, mas ele varia dentro de cada anel de crescimento. Tem sido demonstrado que em madeira normal, as células mais curtas e mais largas são formadas na parte inicial da estação de crescimento, e as mais estreitas e mais longas na parte final desta estação. Para madeiras de regiões tropicais o comprimento médio da célula perdura praticamente constante através de vários anos, indicando crescimento constante e uniforme. Afirma ainda DADSWELL<sup>(10)</sup> que a espessura da parede celular é outro fator importante a ser considerado devido à sua estreita correlação com o peso específico. Há por

\*SANIO, K. (1872) Ueber die Grösse der Holzzellen bei der gemeinen Kiefer (*Pinus silvestris*). Jahrb. Wiss. Bot, 8: 401-420.

certo, uma marcante variação por todo o anel de crescimento, desde a parede fina da célula do lenho primaveril, até as paredes espessas das células do lenho outonal.

DINWOODIE<sup>(11)</sup>, revisando a literatura sobre comprimento de traqueóides na madeira, cita que, com respeito à variação do comprimento do traqueóide dentro do anel de crescimento, consideráveis evidências tem sido acumuladas para mostrar que o comprimento aumenta da base em direção ao topo da árvore. Baseando-se em literatura, afirma ainda DINWOODIE<sup>(11)</sup>, que em alguns aspectos da variação do comprimento do traqueóide, apenas um pequeno e prévio trabalho tem sido registrado, enquanto que para outros, um considerável número de investigações tem sido conduzidas, sendo que os resultados são frequentemente contraditórios. Conclusões conflitantes é particularmente comum nos estudos da variação do comprimento dos traqueóides, da medula para a casca nas várias alturas de uma árvore. Menos contradições existem sobre a variação do comprimento da fibra dentro do anel de crescimento.

JACKSON & MORSE<sup>(22)</sup> estudaram a variação do comprimento de traqueóide em um simples anel de *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* e *Pinus echinata*, iniciando-se na margem inicial do lenho primaveril e continuando para o fim do lenho outonal. O comprimento do traqueóide do *Pinus taeda* aumentou através do lenho primaveril para um máximo, o que ocorreu para distâncias entre 50 a 60 por cento da largura do anel, decrescendo em direção ao fim do lenho outonal. O comprimento de traqueóides de *Pinus elliottii* aumentou através do lenho primaveril, atingindo um máximo na distância entre 53 e 72 por cento da largura do anel. No caso de *Pinus echinata* o comprimento dos

traqueóides aumentou através do lenho primaveril atingindo um máximo na distância compreendida entre 17 e 64%. Deve-se no entanto salientar que segundo os autores, na média global, nenhuma diferença significativa pode ser observada entre o lenho primaveril e outonal, para as três espécies estudadas.

BURLEY<sup>(7)</sup> estudando a variação do comprimento do traqueóide de uma simples árvore de *Pinus khesiya* confirmou os preceitos básicos estabelecidos na Lei de SANIO (1872)\*:

- " O comprimento do traqueóide aumenta com a altura do tronco para um máximo, e pode decrescer depois".

- " O comprimento do traqueóide aumenta com o número de anéis a partir da medula para um máximo".

Estas afirmações são compatíveis com os resultados obtidos por AHMAD<sup>(1)</sup>. Segundo este autor o comprimento e o diâmetro do traqueóide dentro de uma simples árvore de Fir (*Abies pindrow*) de 230 anos de idade, para qualquer nível de altura, são menores perto da medula. Observou-se ainda que após o traqueóide alcançar um comprimento máximo, raramente permanece constante mostrando uma tendência em decrescer, e que o diâmetro do traqueóide, após alcançar um valor máximo, permanece mais ou menos constante. As dimensões do traqueóide de Fir mostram também variações significantes na altura do tronco. As dimensões médias são menores na base das árvores, aumentando progressivamente da base para o to-

---

\* SANIO, K. (1872). Ueber die Grösse der holzzellen bei der Gemeinen Kiefer (*Pinus silvestris*), Jahrb. Wiss. Bot., 8:401-420.

po da árvore. O estudo das dimensões dos traqueóides dentro de um anel de crescimento, mostraram que o comprimento do traqueóide no lenho outonal é maior quando comparado com aquele do lenho primaveril, o que contraria as afirmações de JACKSON & MORSE<sup>(22)</sup>, que não encontraram diferenças significativas entre os comprimentos de traqueóides de lenho outonal e lenho primaveril. Afirma ainda AHMAD, que há uma considerável divergência de opinião quanto a influência do anel de crescimento e da idade no comprimento do traqueóide. Alguns pesquisadores são de opinião que há uma correlação negativa entre comprimento do traqueóide e a largura do anel, enquanto outros observaram uma correlação positiva. O estudo de AHMAD mostra que existe uma correlação significativa entre a largura do anel e a dimensão do traqueóide: um decréscimo na largura do anel resultou em um aumento na dimensão do traqueóide.

NICHOLLS<sup>(31)</sup>, cita que a parte central de uma árvore é caracterizada por um progressivo aumento nas dimensões da célula, e mudanças associadas na estrutura a partir da medula. Na madeira adulta, as dimensões dos traqueóides são mais ou menos constantes e variações na característica da madeira são principalmente causadas pelas influências ambientais.

Este autor observou ainda que a largura dos anéis de crescimento primeiro aumenta da medula para a parte externa e, depois disso, decresce lentamente com o aumento da idade.

Segundo LENHART et al<sup>(26)</sup> o peso específico da madeira de *Pinus taeda*, amostrada no Texas, Arkansas, Louisia

na e Oklahoma, em vários pontos ao longo do tronco da árvore, varia com fatores tais como a relação entre o lenho outonal e primaveril e a distância radial a partir da medula. Os resultados demonstraram que para uma dada porcentagem de altura da árvore, o peso específico aumenta com o aumento em idade.

Estudos conduzidos por SPURR & HSING<sup>(40)</sup> mostraram que o peso específico varia dentro de árvores com a altura, posição radial a partir da medula, idade do anel anual, e outros fatores. Afirmam os autores, que no caso do *Pinus banksiana*, o decréscimo no peso específico com a altura é pronunciada. Em certas coníferas, notavelmente a *Picea sitchensis*, o peso específico não decresce marcadamente com a altura, ou melhor, não varia significativamente, podendo mesmo aumentar com a altura.

#### 2.1.1.4. Idade da Árvore

A idade parece ser um fator de grande importância.

O comprimento de traqueóides é altamente correlacionado com a idade segundo ERICKSON & HARRISON<sup>(14)</sup>. A porcentagem de lenho outonal aumenta com a idade. Um anel jovem normalmente contém menor quantidade de lenho outonal do que um anel de crescimento mais velho e estreito, LARSON<sup>(24)</sup>.

Um efeito marcante da idade foi também encontrado por UPRICHARD<sup>(42)</sup>, estudando *Pinus radiata* de 35 anos de idade. Boa correlação foi encontrada entre idade e comprimento de traqueóides, e entre idade e densidade da madeira.

O trabalho de VOORHIES & JAMESON<sup>(43)</sup> com *Pinus ponderosa*, para verificar a variação no comprimento de traqueóides e suas implicações na produção de polpa, indicou

que o melhor preditor do comprimento de traqueóides foi a idade. A distância a partir da medula em alguns casos mostrou uma razoável correlação.

WELWOOD & JURAZS<sup>(47)</sup>, observaram para *Thuya plicata*, que a maioria das árvores amostradas mostraram um decréscimo na porcentagem de lenho outonal com a idade, o que contraria as afirmações de LARSON<sup>(27)</sup>.

## 2.1.2. Fatores Inerentes ao Ambiente e Tratos Silviculturais

### 2.1.2.1. Influência do Desbaste, Espaçamento e Poda

DADSWELL<sup>(10)</sup>, cita que alterações das condições externas podem trazer mudanças, tanto para a madeira formada no período juvenil, como para madeira adulta. Deste modo, tem sido mostrado que quando uma árvore suprimida é liberada por tratamento silvicultural, ou estimulada pela fertilização, o "estouro" em crescimento resultante é acompanhado por um decréscimo na média do comprimento da célula. A árvore, por um pequeno período, aparentemente reverte para um estágio juvenil antes de retornar à configuração adulta. Estas observações são, evidentemente, relacionadas ao efeito da taxa de crescimento já discutida no item 2.1.1.2.

SMITH<sup>(39)</sup> estudando a influência do desbaste e poda em *Pinus taeda* após quatro anos de tratamento, chegou às seguintes conclusões:

- inicialmente, desbastes e podas intensas em povoamentos com idade de 9 anos produziram anéis largos na madeira, com pe

so específico mais alto do que grupos de árvores não desbastadas para a mesma idade.

- desbastes suaves, atrasados até o décimo segundo ano, produziram madeira de peso específico significativamente mais alto do que aquele grupo de árvores primeiramente desbastadas.
- tomando-se por base anéis de crescimento individuais, o desbaste causou em um aumento acentuado na porcentagem de lenho outonal no ano subsequente à aplicação do tratamento.
- os desbastes induziram à formação de traqueóides mais estreitos no lenho primaveril, e traqueóides de lenho outonal mais largos, quando comparando-se com grupos de árvores não desbastadas.
- em geral, observou-se que, a relação entre o peso específico e a porcentagem de lenho outonal nos anéis anuais, é também influenciada pelo desbaste e pela poda.

Os resultados obtidos por COWN<sup>(9)</sup>, contrariam estas afirmativas. Este autor conduziu seu estudo com *Pinus radiata* de vinte e cinco anos, tendo avaliado o efeito de desbastes moderados e vigorosos na taxa de crescimento e em várias propriedades da madeira. A densidade da madeira e o comprimento dos traqueóides reduziram com o aumento da intensidade do desbaste.

SUTTON & HARRIS<sup>(41)</sup>, mencionam, baseando-se em estudos anteriores (HARRIS, 1958\*), que a densidade de *Pinus radiata* cresce em povoamentos não desbastados, e decresce quando a taxa de crescimento radial aumenta. Se esta premissa for verdadeira -

\*HARRIS, J.M. (1958) A survey of wood density, tracheid length and latewood characteristics of *Radiata pine* grown in New Zealand. N.Z. Forest Service, Forest Research Institute Technical Paper 47, 31 p.

deira, é esperado que a densidade da madeira decresce com qualquer aumento na taxa de crescimento após um desbaste severo. Este conceito, no entanto, não é verdadeiro como demonstraram SUTTON & HARRIS pesquisando povoamentos de *Pinus radiata* submetidos a desbastes severos. Apesar do rápido aumento no crescimento radial, não observou-se qualquer mudança na densidade média da madeira.

O estudo conduzido por BURLEY<sup>(8)</sup> com *Pinus khesya*, mostrou que desbastes intensos aumentam a largura do anel de crescimento, induzindo um decréscimo na porcentagem de lenho outonal. O autor menciona a possibilidade de uma redução na densidade da madeira e o comprimento dos traqueóides, mas nenhuma evidência é fornecida.

BAKER & SHOTTAFER<sup>(3)</sup>, conduziram um estudo com diversas árvores de *Pinus resinosa* tomadas ao acaso em dez blocos com diferentes espaçamentos. Os resultados indicaram que existe uma tendência de aumento no peso específico com o aumento do espaçamento. Observou-se ainda que para todos os espaçamentos estudados, as árvores apresentaram um decréscimo na porcentagem de lenho outonal com a altura, e um aumento desta porcentagem na direção medula-casca.

#### 2.1.2.2. Influência da Fertilização

Segundo RUDMAN & MCKINNEL<sup>(36)</sup>, o interesse na fertilização tem aumentado rapidamente nos recentes anos. Os autores afirmam que as mudanças no crescimento, devido ao tratamento com fertilizantes, são frequentemente associadas com

mudanças na qualidade da madeira. O estudo conduzido por RUDMAN & MCKINNEL mostrou que a aplicação de fertilizantes em plantios de *Pinus radiata* causou uma redução significativa na densidade da madeira.

GAGNON & HUNT<sup>(16)</sup> estudaram o efeito da fertilização na madeira de *Abies balsamea*. Observou-se que a aplicação deste tratamento causou um aumento na taxa de crescimento e uma redução no peso específico. Apesar desta redução no peso específico, o rendimento da população para a produção de polpa aumentou. Este fato é evidentemente relacionado ao "aumento" observado no crescimento.

Como anteriormente mencionado (item 2.1.1.2.) aumentos repentinos na taxa de crescimento, que pode ser induzido inclusive pela fertilização, em geral causa uma redução no peso específico, e no comprimento dos traqueóides (ERICKSON & HARRISON<sup>14</sup>).

É aceito, no entanto, que esta alteração transitória, podendo ser observada que após determinado período geralmente curto, as características da madeira voltam a ser as mesmas que antes da fertilização.

### 2.1.2.3. Influência da Fertilização e sua Interação com o Desbaste

NICHOLLS<sup>(30)</sup> investigou o efeito do desbaste na madeira e a interação do desbaste com tratamento de fertilizantes, amostras de madeira de sessenta árvores de *Pinus pinaster*. O crescimento em diâmetro foi acentuado pelo des-

baste. Este efeito foi ainda mais marcante com a aplicação de fertilizantes. Os desbastes geralmente reduziram o comprimento do traqueóide, e o subsequente tratamento com fertilizante produziu uma marcante redução nesta dimensão. O efeito dos dois tratamentos sobre a largura dos anéis de crescimento, formados na parte inicial e tardia das estações de crescimento, foram similares. A densidade média foi levemente reduzida como um resultado do tratamento.

ERICKSON & HARRISON<sup>(14)</sup>, estudaram as características da madeira de árvores de, *Pseudotsuga menziesii*, numa área de teste, desbastada e fertilizada nove anos antes do corte das árvores. Nos três anos antes da fertilização e desbaste, o peso específico médio foi de  $0,517 \text{ g/cm}^3$ , e três anos após este tratamento foi de  $0,425 \text{ g/cm}^3$ . Seis anos após ao tratamento o peso específico médio foi de  $0,498 \text{ g/cm}^3$ . Os autores concluíram que o tratamento de desbaste e fertilização afetou o peso específico, e a porcentagem de lenho outonal, que por sua vez apresentou boa correlação ao peso específico. Foi ainda observado que o comprimento dos traqueóides aumentou rapidamente quando a taxa de crescimento diminuiu, o que aconteceu decorrido um curto período após a aplicação do tratamento.

#### 2.1.2.4. Influência da Irrigação

Segundo NICHOLLS & WARING<sup>(33)</sup>, existe na atualidade pouca informação sobre a influência da água no solo, nas propriedades de madeira. Estes pesquisadores conduziram um

estudo para verificar o efeito da irrigação na madeira de *Pinus radiata*, submetido ao tratamento por um período de 11 anos.

Observou-se que a aplicação da irrigação aumentou a largura dos anéis de crescimento. Este efeito foi causado por um aumento do número de células/anel e não devido à um aumento no tamanho das células. Nenhuma diferença foi observada na espiralidade da madeira de árvores submetidas à irrigação.

#### 2.1.2.5. Localização Geográfica

Na variação ambiental, o ambiente permanece como uma variável confundida, que pode obscurecer a variação básica geneticamente condicionada. Estes efeitos são também múltiplos e complexos, não podendo ser preditos com a mesma certeza como para a variação posicional. A partir do ponto de vista prático, a mais importante variável ambiental que age sobre as árvores é a densidade do povoamento. Certamente o efeito desta variável opera por meios como a condição climática, fatores do solo, intensidade de luz, velocidade do vento, umidade do solo, fornecimento de sais minerais, etc.

DADSWELL<sup>(10)</sup>, cita que as condições externas e a variação climática em diferentes anos podem influenciar na porcentagem de lenho outonal presente. Nos primeiros períodos de vida de qualquer árvore, o peso específico cresce através de sucessivos crescimentos anelares, na mesma proporção que a porcentagem de lenho outonal que aumenta em cada anel

de crescimento. Nos últimos anos de vida de uma árvore, certas transformações provavelmente ocorrem na estrutura da parede celular como consequência de tensões de crescimento.

LEDIG et al<sup>(25)</sup>, estudaram a influência dos padrões geoclimáticos no comprimento do traqueóide na madeira de *Pinus rigida*, localizados em vinte e nove áreas. De uma maneira geral observou-se que o peso específico e comprimento do traqueóide aumenta do nordeste para o sudeste. Contudo, ambas variáveis foram correlacionadas com a idade. A idade média do povoamento também aumentou ao longo do mesmo gradiente nordeste-sudeste, o que de certa maneira invalida a conclusão tirada.

Existem outras evidências que as variações ambientais podem influenciar as propriedades da madeira. Segundo LEDIG et al<sup>(25)</sup>, citando DENNE & SMITH (1971)\*, os traqueóides de *Pinus sylvestris* crescidos sob fotoperíodos longos tem paredes mais espessas do que aqueles crescidos sob fotoperíodos curtos e por esta razão, o peso específico deve aumentar com a latitude. Os autores citam que o *Pinus sylvestris* sofre maiores variações na densidade, comprimento e espessura do traqueóide devido à latitude, do que outras espécies.

GILMORE<sup>(17)</sup>, cita o estudo concernente à variação geográfica e seu efeito no peso específico de *Pinus strobus*, e *Pinus resinosa*, considerando plantios com diferentes con

---

\*DENNE, M.P. & SMITH, C.J. (1971) Daylength effects on growth, tracheid development, and photosynthesis in seedlings of *Picea sitchensis* and *Pinus sylvestris*, J. Exp. Bot., 22: 347 -

dições, topografia e espaçamento. O peso específico das duas espécies amostradas foi mais alto nas localizações ao sul que nas partes do norte.

## 2.2. Influência da Qualidade da Madeira nas Propriedades do Papel.

### 2.2.1. Influência das Características Anatômicas

Após extensiva revisão bibliográfica, WARDROP<sup>(46)</sup>, chegou a conclusão que os fatores morfológicos das fibras, que contribuem na determinação das propriedades do papel, não são os mesmos para todos os processos e condições de polpação empregados. Uns poucos parâmetros básicos estão claros, contudo é reconhecido que a relação entre a morfologia da fibra e as propriedades do papel devem também levar em consideração a origem da polpa (folhosa ou conífera) e a natureza da polpação (ácida ou alcalina).

Segundo WANGAARD & WOODSON<sup>(45)</sup>, o papel do comprimento e da resistência da fibra nas propriedades de polpas, testadas em folhas de papel feitas à mão, tem sido discutido por muitos autores. Estes autores afirmam ainda, que a densidade da fibra é estreitamente correlacionada ao grau de ligação fibra-a-fibra em uma folha. O comprimento de fibra, entre outras coisas, é associado com o número de posições de uma fibra individual pode tomar em uma folha de papel. A resistência da fibra, por sua vez assume papel importante quando as ligações entre fibras torna-se tão intensa, de maneira a transferir tensões suficientes para causar rupturas nas fi-

bras.

McMILLIN<sup>(27)</sup> utilizando madeira de *Pinus taeda*, estudou o efeito da morfologia das fibras nas propriedades de papel feito à mão. As principais conclusões foram as seguintes:

(i) a densidade da folha aumentou com o aumento do comprimento do traqueóide,

(ii) o fator estouro foi uma função complexa do comprimento do traqueóide, espessamento da parede celular, diâmetro do traqueóide, e diâmetro do lúmen. A resistência ao estouro aumenta com o aumento do comprimento do traqueóide para todos os níveis de espessamento da parede celular e de diâmetro do traqueóide.

(iii) o fator rasgo foi uma função complexa do diâmetro do traqueóide e do espessamento da parede celular. O fator rasgo aumenta com o aumento do espessamento da parede celular para traqueóides de diâmetros grandes, enquanto ele decresce com o aumento do espessamento da parede para traqueóides de diâmetros pequenos. Para um dado espessamento da parede, o fator rasgo aumenta com a diminuição do diâmetro do traqueóide.

(iv) o comprimento de auto-ruptura foi relacionado com o comprimento do traqueóide, diâmetro do lúmen, diâmetro do traqueóide, e espessamento da parede celular. O comprimento de auto-ruptura aumenta com o aumento do comprimento do traqueóide.

A influência nas propriedades do papel das características morfológicas das fibras de polpas de 12 espécies de coníferas dos Estados Unidos foram estudadas por HORN<sup>(21)</sup>. Os resultados deste trabalho mostraram que a morfologia da fi -

bra influencia significativamente nas propriedades de resistência das folhas, mas não é possível prever as propriedades do papel por um simples fator morfológico. Ângulo fibrilar foi o fator que teve maior influência nas propriedades de estendimento de uma folha de fibras não refinadas. Análises de regressão múltipla mostraram que após o refino, variações nas propriedades de estendimento do papel poderiam ser calculadas pelo ângulo fibrilar e pelo número de fibras por centímetro cúbico de folha. As resistências à tração e ao estouro foram influenciadas principalmente pelo espessamento da parede celular, sendo inversamente correlacionada. O comprimento da fibra foi considerado como importante para as resistências à tração e ao estouro, isto porque um comprimento mínimo é requerido para ocorrer uma distribuição das ligações e tensões. Devido à este efeito combinado, o espessamento da parede celular e comprimento de fibra, um novo indicador da flexibilidade da fibra foi introduzido. Este indicador é dado pela razão entre o comprimento de fibra (L) e espessamento da parede celular (T) :  $(L/T)$ . Os estudos de HORN mostraram ainda que a resistência ao rasgo foram influenciadas pela área da seção transversal da fibra e principalmente espessamento da parede. Um aumento na área transversal e na espessura da parede resultou em um aumento na resistência ao rasgo. Nenhuma evidência experimental foi obtida para mostrar que comprimento da fibra tem qualquer efeito sobre a resistência ao rasgo. Os resultados também mostraram que a densidade da madeira, embora não seja uma propriedade da fibra da polpa, pode ser considerada como um indicador geral para determinar o potencial das espécies de madeira para uso como fibra na

fabricação de papel.

ZOBEL et al<sup>(50)</sup> analisou de maneira genérica o rendimento e qualidade de polpa e papel de madeira juvenil e da madeira adulta de *Pinus* spp. Madeira juvenil é superior para produtos que requeiram um alto fator estouro e boas condições de impressão. O rendimento por unidade de volume ou unidade de peso seco e o fator rasgo, são positivamente correlacionados com o aumento da densidade da madeira. Aumentando a densidade de madeira juvenil pela seleção de progenitores de alto peso específico, aumentará o rendimento de polpas, o que também afetará as propriedades de resistência do papel. Considerando-se os diferentes números KAPPA\*, madeiras de baixo peso específico produzem polpas com alta resistência ao estouro e à tração, enquanto que madeiras de alto peso específico produziram polpas com alta resistência ao rasgo.

O estudo conduzido por ORSLER et al<sup>(34)</sup>, teve como objetivo estudar polpas fabricadas em madeira adulta e madeira juvenil de *Pinus sylvestris*. Os resultados mostraram que a madeira juvenil comparada com madeira adulta apresentam maior resistência ao estouro e à tração, mas uma resistência menor ao rasgo. Os autores citam que os fatores responsáveis por estes resultados são do menor conteúdo de lenho outonal e a menor densidade básica da madeira juvenil.

A Figura 01 sintetiza e demonstra esquematicamente a relação entre o comprimento e espessura da parede do traqueóide e as propriedades do papel segundo MORESCHI<sup>(29)</sup>. Uma

---

\*Nº KAPPA - grau de delignificação da celulose.

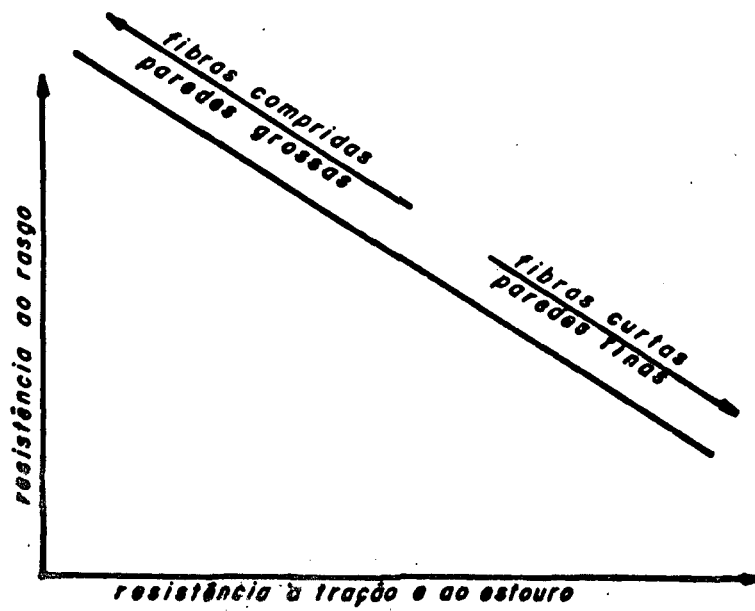


Figura 1. Influência da morfologia dos traqueóides em algumas propriedades do papel (MORESCHI, 1976).

fibra de maior comprimento e com paredes mais espessas, normalmente resulta em um papel de maior resistência ao rasgo e menor resistência à tração e estouro. Por outro lado uma fibra curta, e de paredes finas, produz um papel de baixa resistência ao rasgo, mas alta resistência à tração e ao estouro. Saliencia-se que a relação apresentada por MORESCHI para o estouro contraria as afirmações de McMILLIN<sup>(27)</sup>.

### 2.2.2. Influência da Composição Química

Apesar de que este aspecto não é diretamente relacionado à este estudo, pela importância que a composição química representa na fabricação do papel, incluem-se algumas informações básicas.

GLADSTONE et al<sup>(18)</sup>, citam que o comportamento das reações químicas e a uniformidade de seus produtos dependem da homogeneidade dos reagentes, e como é sabido a madeira é química e fisicamente heterogênea para vários níveis organizacionais. Portanto o comportamento das reações em um processo para produção de polpa é bastante variável. GLADSTONE et al conduziram um estudo para avaliar o efeito da composição química na preparação da polpa Kraft de madeira de *Pinus taeda*. Os resultados mostraram uma correlação positiva entre o rendimento de polpa kraft e conteúdo de holocelulose da madeira, e que o lenho outonal isolado produz um rendimento mais alto do que quando associado com lenho primaveril.

BYRD et al<sup>(8)</sup>, comentaram sobre as interrelações en

tre propriedades físicas de polpa, com a composição química e morfológica de fibras da madeira. Segundo os autores, a relação entre propriedades químicas da madeira e qualidade do papel não é bem definida. O estudo conduzido por BYRD et al objetivou esclarecer a maneira pela qual as propriedades do papel são afetadas pelos constituintes químicos da madeira. Neste estudo foram utilizadas 4 árvores de *Pinus taeda* com 37 anos de idade, tendo sido considerado separadamente a madeira juvenil e adulta. Os resultados mostraram uma correlação entre as propriedades do papel Kraft e os constituintes químicos da madeira. Aparentemente, a holocelulose, a alfa celulose e a hemicelulose são altamente correlacionadas com propriedades do papel. Do ponto de vista puramente químico, é na realidade esperado que as fibras contendo um alto conteúdo de hemicelulose e baixo conteúdo de lignina, deveriam alcançar um determinado nível de dissociação mais rápido.

Os resultados obtidos indicaram ainda que a densidade apresenta correlação positiva com o teor de hemicelulose e lignina, e que o estouro e resistência à tração são altamente correlacionadas com holocelulose (inversamente proporcional), alfa celulose (inversamente proporcional) e hemicelulose (diretamente proporcional).

Segundo BYRD et al, menciona ainda o estudo conduzido por JAYME & LOCKMULLER (1950)\*. Estes autores encontraram uma alta correlação entre a resistência ao rasgo e o teor de holocelulose da madeira (diretamente proporcional),

---

\*JAYME, G.; LOCKMULLER, E. (1950) The correlation between hemicelulose content and strength properties in beechwood pulps Holzroh-U-Werkstoff, 5 (11): 377 - 381.

alfa celulose (diretamente proporcional), hemicelulose (inversamente proporcional) e celulose (diretamente proporcional).

### 2.2.3. Outros Fatôres

EINSPAHR et al<sup>(13)</sup> estudando a polpa de madeira de *Pinus taeda* de alto peso específico observaram que um alto peso específico é associado com alto rendimento de polpa por unidade de volume, alta produção de celulose por unidade de área para taxas de crescimento idênticas, e mais eficiente uso do equipamento de polpação. Ao mesmo tempo, há uma perda de qualidade com respeito à algumas propriedades de resistência e de impressão do papel.

Um estudo conduzido por BUIJTENEN et al<sup>(5)</sup> procurou analisar as propriedades de polpa e papel de seis classes de *Pinus taeda*, sendo três de peso específico alto e três de peso específico baixo. Observou que aumentos no peso específico foram acompanhados por aumentos na resistência ao rasgo e reduções nas resistências ao estouro e tração. Folhas de laboratório de madeira de alto peso específico tem mais baixa densidade aparente, indicando que os traqueóides de parede espessa não sofreram tanto colapso quanto aqueles de parede mais fina. Análises de regressão múltipla revelaram que a resistência à tração foi significativamente correlacionada com a porcentagem de lenho outonal, e com o espessamento dos traqueóides da parede dos lenhos primaveril e outonal.

KLEPPE<sup>(23)</sup>, após intensa revisão bibliográfica, conclui que as propriedades de fabricação do papel de polpas de

pinus, em diferentes fábricas do sul dos Estados Unidos da América, são principalmente dependentes da idade da árvore, do clima onde a árvore cresceu, da hereditariedade, e do conteúdo de lignina das polpas. A espécie da madeira teve menor influência.

Segundo MELO<sup>(28)</sup>, normalmente os nós semi-digeridos nos processos de cozimento permanecem na polpa na forma de rejeitos. O autor cita também que o teor de umidade da madeira, na maioria dos casos, reduz a capacidade do digestor e diminui o rendimento da produção. Um alto teor de umidade, implica também em uma redução no teor de sólidos na lixívia preta ocasionando uma sobrecarga dos evaporadores e um aumento no consumo de vapor no processo industrial.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Amostragem

Sendo a madeira um produto orgânico de crescimento natural, mostra ampla variação de propriedades entre indivíduos da mesma espécie (diferentes procedências, diferentes regiões e condições de crescimento), assim como variações dentro da própria árvore (diferentes posições no tronco).

Um valor médio exato destas propriedades só poderia ser obtido avaliando-se todas as árvores de uma mesma espécie. Logicamente, como isto não é possível, foram criados e adotados métodos de amostragem estatisticamente elaborados que utilizam somente amostras relativamente pequenas, diminuindo os custos das pesquisas sem prejuízo para a precisão e o valor dos resultados. Para se obter este efeito é preciso que todas as árvores de uma população bem como cada pedaço de madeira dentro das árvores, tenham a mesma chance de ser escolhidos, retirados e testados.

A COPANT (Comissão Pan Americana de Normas Técnicas), em sua recomendação 30:1 - 001, define uma metodologia para a obtenção de amostras para a determinação de propriedades físicas e mecânicas. Esta metodologia foi adaptada e utilizada neste estudo.

##### 3.1.1. Definição da População

Para este estudo utilizou-se de madeira de *Pinus*

*elliottii*, proveniente da região sudeste do Estado de São Paulo, Município de Itararé e Itapeva, com idades de 10, 13 e 17 anos. Estas idades foram escolhidas por se tratarem de material em idade de desbaste.

### 3.1.2. Seleção do Material

Dos povoamentos de *Pinus elliottii* de 10, 13 e 17 anos, foram escolhidos os talhões mais representativos no tocante ao desenvolvimento médio da espécie.

O material coletado para a idade de 10 anos foi obtido de plantações de Itararé, espaçamento inicial de 2,0 x 3,0 m. O material de 13 anos de idade foi coletado na Estação Experimental de Itapeva, espaçamento original de 2,0 x 2,0 m, sendo que já havia sido aplicado dois desbastes. O material de 17 anos foi também coletado na Estação Experimental de Itapeva, espaçamento inicial de 1,5 x 1,5 m, sendo que na época da coleta já haviam sido aplicados quatro desbastes.

Dentro destes talhões foram escolhidas cinco (5) árvores ao acaso para cada idade as quais foram devidamente codificadas. Estas árvores selecionadas, além de serem representativas do talhão, se encontravam livres de defeitos visíveis, sem arqueamento ou bifurcações. Tomou-se o cuidado de que as árvores coletadas estivessem pelo menos a 100 metros da bordadura, e que a distância entre elas fosse de aproximadamente 100 metros.

De cada uma das árvores selecionadas, tomou-se 3 toretes de aproximadamente um metro de comprimento, sendo um a

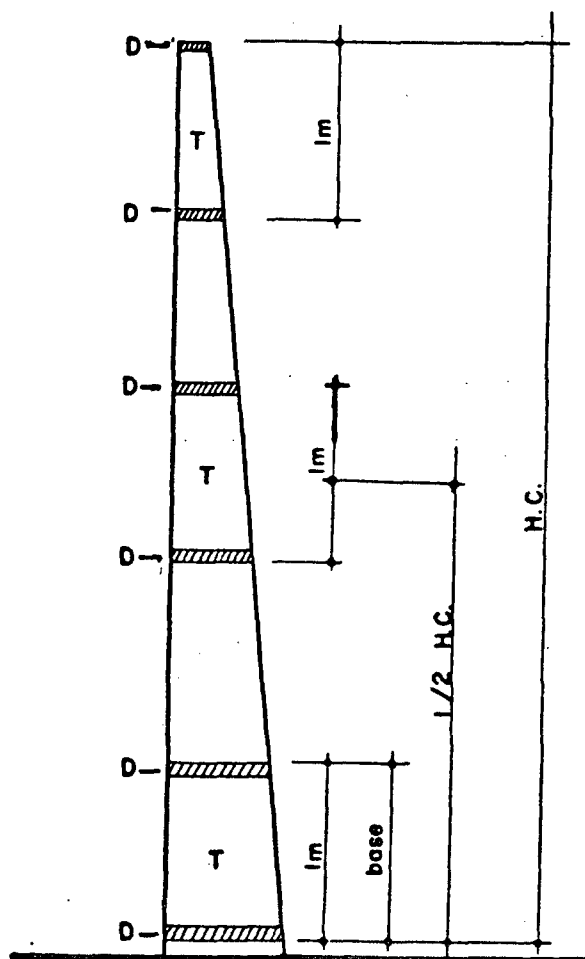
partir de 20 centímetros do solo, um no meio da altura comercial e o último até a altura comercial da árvore (Veja Figura 2). Considerou-se como altura comercial a altura do diâmetro de 6 centímetros. Em cada uma das extremidades dos toretes foi cortado um disco com uma espessura de aproximadamente 2 centímetros. Todo material devidamente codificado e acondicionado, foi transportado para o laboratório afim de obter a realização dos estudos.

### 3.2. Estudo das Propriedades da Madeira

Utilizando-se dos discos coletados nas posições anteriormente mencionadas, determinou-se a densidade básica, a porcentagem de lenho outonal e as dimensões de traqueóides em diferentes anéis de crescimento.

#### 3.2.1. Determinação da Densidade Básica para as Amostras

Todo o material destinado à determinação da densidade básica foi saturado em água, tendo sido utilizado o método de "pesagem" do volume do líquido deslocado" para a determinação do volume da madeira verde. A secagem dos discos foi feita em estufa ( $103^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$ ) até atingir peso constante. Considerou-se como peso constante quando não pode ser observado diferença significativa entre duas pesagens consecutivas feitas em um intervalo de 8 horas. O cálculo da densidade básica foi feito pela utilização da equação 1.



H.C. - altura comercial

Figura 2. Sistemática para obtenção de Toretes (T) e Discos (D) utilizadas neste estudo.

$$D_b = \frac{P.S.}{V_u} \left( \frac{g}{cm^3} \right)$$

(Equação 1)

onde:

$D_b$  = Densidade básica ( $g/cm^3$ )

P.S. = Peso da Madeira seca em estufa a  $103^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$  (g)

$V_u$  = Volume da Madeira Saturada de Umidade ( $cm^3$ )

### 3.2.2. Determinação da Porcentagem de Lenho Outonal

Para a determinação da porcentagem do lenho outonal, os discos superiores e inferiores de cada torete das árvores amostradas foram levados à uma câmara de aclimação ( $20^{\circ}C$  e 65% UR) para atingirem uma umidade de equilíbrio de aproximadamente 12%.

Atendida a umidade de equilíbrio, com auxílio de uma lupa, foram demarcados o lenho outonal de cada anel de crescimento. Em seguida tiraram-se fotocópias dos discos as quais foram levadas à câmara de aclimação para que pudesse ser obtido um teor de umidade de equilíbrio uniforme em todas as folhas. Esta metodologia foi adotada por outros pesquisadores WHITE & SAUCIER<sup>(55)</sup>, que mencionam ter algumas vantagens por ser um método prático, rápido, de boa precisão e baixo custo. As fotocópias, após terem sido aclimatizadas, foram recortadas, separando-se o lenho outonal do primavera. A porcentagem dos dois lenhos foi calculada baseada nos pesos obtidos.

### 3.2.3. Estudo das Características Morfológicas dos Traqueóides

Para que se pudesse estudar a morfologia dos traqueóides em diferentes anéis de crescimento de cada disco inferior dos toretes, foram retiradas faixas desde a medula até a casca, e em seguida os anéis de crescimento foram numerados, conforme apresentado pela Figura 3.

Nem todos os anéis foram amostrados para o estudo das características morfológicas dos traqueóides. O seguinte critério foi estabelecido:

- para árvores com idade de 10 anos, foram tomadas amostras nos anéis 2,5 e 8.
- para árvores com idade de 13 anos, foram tomadas amostras nos anéis 2,5,8 e 11.
- para árvores com idade de 17 anos, foram tomadas amostras nos anéis 2,5,8,11 e 14.

Para cada amostra tomada em cada um dos anéis incluiu-se madeira de lenho outonal e primaveril. Apesar de não ter sido observada uma quantidade relevante de madeira de compressão, sempre que houve evidência de seu aparecimento a posição de coleta da amostra era deslocada. Esta atitude foi tomada para que a coleta fosse representativa de material normal, uma vez que é plenamente conhecido que a madeira de compressão apresenta traqueóides de menor comprimento (SETH & JAIN<sup>38</sup>).

As amostras retiradas dos diversos discos foram transformadas em pequenos cavacos. O material de cada anel de crescimento amostrado e transformado em cavacos, foi macerado pelo emprego do método de JEFFREY: partes iguais (1:1) de solu-

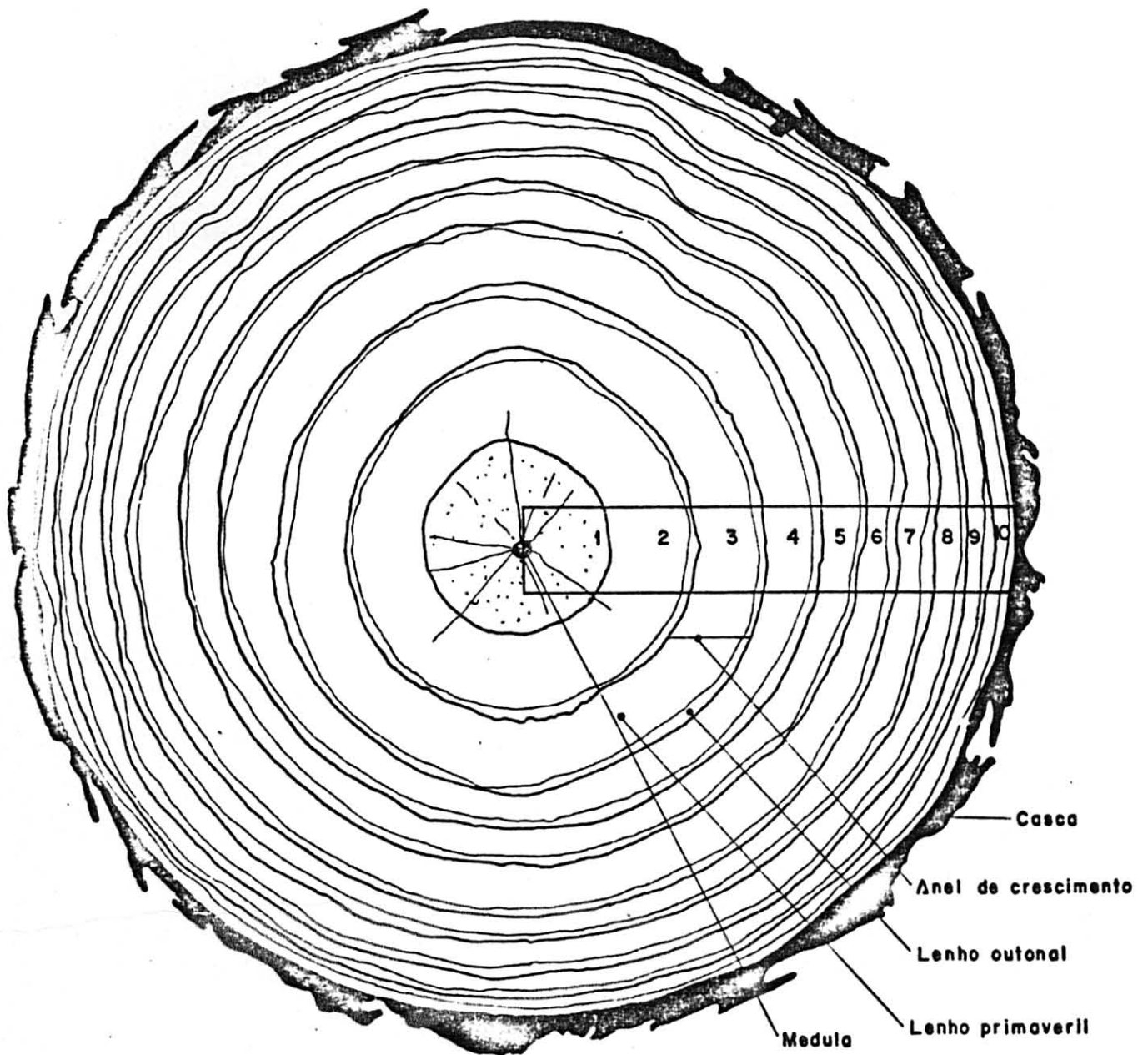


Figura 3. Delineamento para a coleta do material para estudo da morfologia dos traqueóides.

ção aquosa de ácido nítrico a 10% e solução aquosa de ácido crômico à 10%. Para ser acelerado o processo de maceração, o material foi levado à uma estufa regulada para uma temperatura de 75°C, por um período de 24 horas. Após este período retirou-se a solução ácida, o material foi lavado e tratado por uma solução nova. O material contendo a nova solução foi mais uma vez levado à estufa, onde permaneceu durante tempo suficiente para que se obtivesse a separação adequada do material. Em média, o tempo total de maceração foi de aproximadamente 48 horas.

Após o tratamento lavou-se o material com água a fim de que todo o líquido macerante pudesse ser removido. Em uma fase posterior, a mistura com o tecido macerado foi lavada com solução saturada de bicarbonato de sódio, para neutralizar qualquer resíduo ácido sendo novamente lavado com água destilada e armazenado em recipiente com solução aquosa de safranina a 1% para coloração. Com inspeções regulares verificou-se o estado da coloração sendo após, o material novamente lavado em água para que todo excesso de corante fosse retirado, seguindo-se uma desidratação pela utilização de uma série de álcool à 50%, 70%, 96% e álcool absoluto. Do álcool absoluto, o material foi passado para o xylol e montado em lâminas utilizando-se como meio de montagem esmalte comercial.

Para a montagem das lâminas, as fibras foram retiradas ao acaso da placa de Petri, promovendo-se agitação do líquido para manter as fibras em suspensão. Isto evitou que fossem cometidos erros de amostragem nesta fase, uma vez que há possibilidades de formação de extratos dentro da placa

de Petri. As medições dos traqueóides foram feitas em 3 regiões diferentes da lâmina, conforme Figura 4, e de cada região foram observados cinco (5) traqueóides ao acaso.

Para a medição dos traqueóides, utilizou-se um microscópio comum com ocular possuindo uma escala micrométrica. Os valores lidos diretamente no microscópio foram multiplicados por um fator de conversão, para serem obtidas as dimensões do traqueóide em Micras ( $\mu$ ). A espessura da parede foi obtida pela diferença entre o diâmetro do traqueóide (D) e o diâmetro do lúmen (d), dividindo-se o resultado por dois.

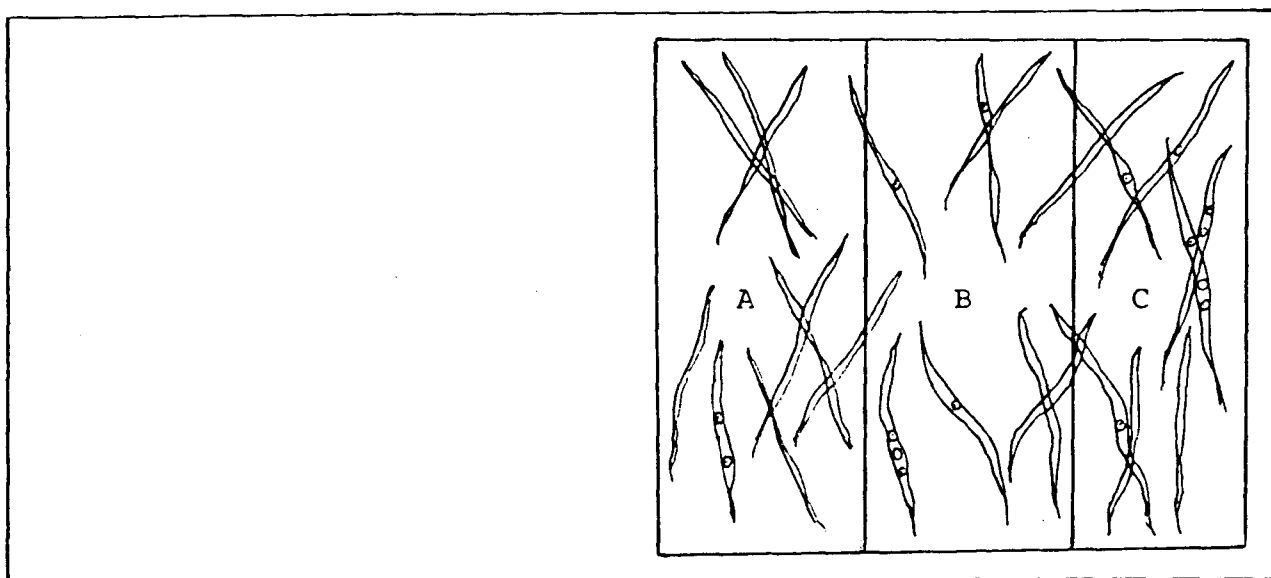
### 3.3. Produção de Cavacos

#### 3.3.1. Preparo dos Cavacos

Na obtenção dos cavacos para os cozimentos, os toretes de cada idade foram seccionados em discos de aproximadamente 2 cm de espessura. Em seguida, os discos foram reduzidos a cavacos em uma serra fita, com dimensão média de 2,0 x 2,0 x 0,4 cm e posteriormente colocados em sacos plásticos devidamente identificados.

#### 3.3.2. Amostragem dos Cavacos

Para os cozimentos, houve-se a necessidade de fazer uma amostragem representativa dos cavacos, devido a grande disponibilidade do material e as quantidades relativamente pequenas a serem utilizadas. O material foi homogeneizado e as



Lâmina com macerado

onde:

A,B,C (regiões de medições)

Figura 4. Amostragem e medição dos traqueóides no meio de montagem.

amostras coletadas ao acaso. Após o material ser amostrado, o mesmo foi acondicionado em uma câmara de aclimatização a 65% de umidade relativa e 20°C, até atingir a umidade de equilíbrio do ambiente.

### 3.3.3. Cozimento e Condições dos Cozimentos

Os cozimentos, em número de dois para cada idade, foram realizados em digestor fixo com circulação de licor, com capacidade de 20 litros e aquecido eletricamente a temperatura foi controlada por um termostato.

O equivalente a 1000 gramas de madeira absolutamente seca foi delignificado em cada cozimento pelo processo sulfato. Apenas uma concentração de alcali foi utilizada. As condições utilizadas nos cozimentos são apresentadas no Quadro 1.

### 3.3.4. Lavagem e Depuração da Polpa

No final de cada cozimento, o digestor era descarregado, sendo os cavacos delignificados recebidos em uma peneira com uma tela metálica 120 "Mesh". Os cavacos amolecidos foram lavados com água fria até se perceber que os mesmos não contivessem mais lixívia residual.

Após a lavagem da polpa, esta foi desfibrada para melhor individualização das fibras e depurada em um depurador com uma placa ranhurada, com uma abertura de 0,2 mm, para a posterior determinação dos rejeitos.

## QUADRO 1. Condições de Cozimento Utilizadas

Alcali ativo*	18% de Na <sub>2</sub> O
Sulfidez	25%
Temperatura máxima	175°C
Tempo de elevação até temperatura máxima	120 min
Tempo na temperatura máxima	45 min
Relação licor/madeira*	4,5 : 1

\* Baseado no peso seco da madeira.

### 3.3.5. Determinação dos Rendimentos em Celulose e Teores de Rejeitos

A determinação do rendimento bruto foi calculado retirando-se uma amostra representativa da polpa úmida, que foi levada a uma estufa com  $103^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , obtendo desta maneira o peso seco e posteriormente a consistência da polpa. De posse destes dados o peso seco da polpa produzida foi determinado. Obteve-se o rendimento bruto em porcentagem, considerando-se o peso da polpa sobre o peso do cavaco, ambos no estado seco.

Para a determinação do rendimento depurado e do teor de rejeitos, a celulose bruta foi levada a um batedor para melhor separação das fibras. Depois da separação das fibras, a polpa foi passada numa placa ranhurada com uma abertura de 0,2 mm. O rejeito foi seco em uma estufa com uma temperatura de  $103^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , até atingir um peso constante, o qual foi utilizado para o cálculo da porcentagem em relação ao peso do cavaco seco. O rendimento depurado foi obtido pela subtração entre o rendimento bruto expresso em porcentagem e o teor do rejeito, também expresso em porcentagem.

### 3.3.6. Determinação do Número KAPPA

Objetivou-se com esta determinação, verificar o grau de delignificação da celulose, segundo o método TAPPI T 236 m - 60, uma vez que este grau afeta as características do papel.

### 3.3.7. Refinação da Polpa

A moagem da polpa dos dois cozimentos para cada idade, foi realizada em um moinho de laboratório tipo VALLEY. A consistência da polpa foi ajustada em aproximadamente 1,56%, segundo a norma TAPPI T 200ts - 61. Durante esta operação, foram coletadas amostras em diferentes tempos para a determinação do grau SHOPPER-RIEGLER ( $^{\circ}$ SR). Foram utilizados quatro graus  $^{\circ}$ SR - 20, 25, 30 e 40, seguindo-se as especificações normalmente adotados na indústria.

### 3.3.8. Formação das Folhas

Seis folhas para os testes físico-mecânicos foram formadas para cada grau de moagem. Após a formação as folhas foram prensadas para retirar o excesso de umidade, e em seguida secadas. Esta operação foi efetuada conforme a norma TAPPI T 205 m - 58, com pequenas modificações no que se refere a área da folha do papel feito no laboratório, isto porque as dimensões do aparelho formador de folhas utilizado possui uma área maior do que aquela especificada pela norma. A gramatura das folhas foi de aproximadamente  $80 \text{ g/m}^2$ .

### 3.3.9. Acondicionamento das Folhas

A fim de evitar variações nos resultados dos ensaios

físico-mecânicos decorrente do ambiente, as folhas foram acondicionadas em uma sala de umidade relativa de  $65 \pm 2\%$  e temperatura de  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  até atingirem uma umidade de equilíbrio entre 8 e 9%, segundo a norma TAPPI T 402 m-49.

### 3.3.10. Ensaio Físico-Mecânico do Papel

As propriedades físico-mecânicas do papel dos dois cozimentos, foram obtidas em aparelhos de testes universais. As seguintes determinações foram realizadas:

- densidade da folha-expressa em gramas por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) segundo a norma TAPPI T 411.
- resistência ao rasgo expressa pelo índice rasgo  $\text{g}/100\text{g}/\text{m}^2$  segundo a norma TAPPI T 414 ts-65.
- resistência a tração expressa pelo comprimento de auto-ruptura em Km, segundo a norma TAPPI T 404 ts-66.
- resistência ao arrebentamento (estouro) expressa pelo índice de arrebentamento em  $\text{psi}/100\text{g}/\text{m}^2$ , segundo a norma TAPPI T 403 ts-63.
- gramatura expressa em g por  $\text{m}^2$ , segundo a norma TAPPI T 410 os-61.

### 3.4. Análise Estatística

Para análise estatística dos resultados da qualidade de madeira, foi aplicado uma ANOVA com um fatorial  $3 \times 3$ , a fim de se verificar a variação das características físicas e anatômicas entre idades, nas diversas posições de amostragem dentro das árvores, e a interação posição - idade.

Na variação das características anatômicas no senti -

do medula - casca, foi aplicada uma ANOVA simples, tendo sido aplicado teste de TUKEY, *à posteriori*.

No caso das propriedades de resistência da polpa, foi aplicada uma ANOVA com fatorial 3 x 4, para se verificar a variação existente entre idades, graus de moagem e a interação idade - grau de moagem.

Em todos os casos a homogeneidade foi testada aplicando-se o teste de Bartlett.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Características Físicas da Madeira

#### 4.1.1. Densidade Básica

A densidade básica obtida nas diferentes posições das árvores e em diferentes idades, ou seja, 10, 13 e 17 anos, é apresentada no Quadro 2. Além da média e desvio padrão para cada posição estudada nas diferentes idades, é também apresentada a densidade básica média da árvore, calculada através da média ponderada. Como fator de ponderação utilizou-se o volume de cada um dos discos.

Observa-se no Quadro 2, que a tendência de variação entre as diversas posições (Base, 1/2 H.C. e H.C.) e entre as idades, é a mesma que a citada por alguns autores WELLWOOD & JURAZS<sup>(47)</sup>, YAO<sup>(49)</sup>. Uma melhor visualização dos resultados é apresentada na Figura 5.

Observa-se na Figura 5, que a madeira do topo das árvores é juvenil, e sua densidade básica relativamente baixa. Neste estudo, a densidade básica do topo das árvores para a idade de 17 anos foi de  $0,424 \text{ g/cm}^3$ , considerada alta em relação à densidade básica de árvores com idades de 10 anos ( $0,383 \text{ g/cm}^3$ ), e de 13 anos ( $0,396 \text{ g/cm}^3$ ).

Quanto a variação média das árvores em suas respectivas idades, a mesma tendência geral é observada, ou seja, a densidade básica aumenta com a idade da árvore. Os resultados deste estudo confirmam as observações de outros autores entre eles UPRICHARD<sup>(42)</sup>, SPURR & HSING<sup>(40)</sup>.

QUADRO 2. Densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* com diferentes idades, coletada em três alturas do fuste (5 árvores para cada idade).

IDADE	POSIÇÃO NA ÁRVORE	$\bar{X}$ (g/cm <sup>3</sup> )	s
10	Base	0,422	0,01
	1/2 HC	0,392	0,02
	HC	0,383	0,02
	Média da idade (*)	0,410	0,02
13	Base	0,466	0,02
	1/2 H.C.	0,429	0,01
	H.C.	0,396	0,03
	Média da idade (*)	0,449	0,01
17	Base	0,473	0,02
	1/2 H.C.	0,444	0,01
	H.C.	0,424	0,00
	Média da idade (*)	0,463	0,01

$\bar{X}$  - estimativa da média

s - estimativa do desvio padrão

HC - altura comercial

\* - média ponderada

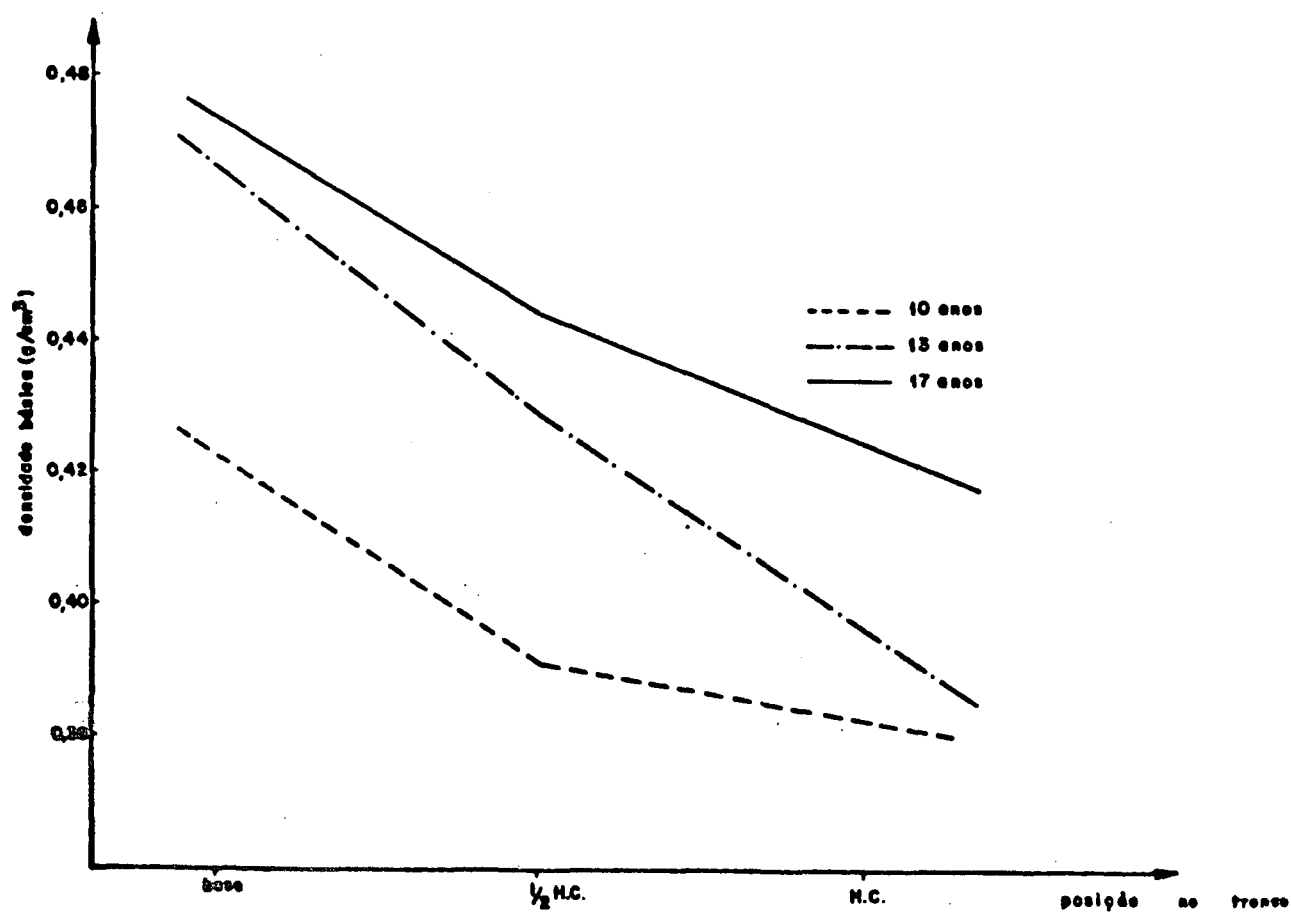


Figura 5. Densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ ) em diversas posições do tronco para madeira de *Pinus elliottii* nas três idades estudadas.

H.C. = Altura comercial.

Para a densidade básica conclui-se que existem diferenças significativas a 99% de probabilidade, entre as idades e entre as posições na altura como pode ser observado no (Quadro 21 do Apêndice). Não verificou-se a significância na interação posição/idade.

#### 4.1.2. Porcentagem de Lenho Outonal

A porcentagem de lenho outonal para as diversas posições nas diferentes idades está representada no Quadro 3.

No Quadro 3 observa-se que a tendência da variação na porcentagem de lenho outonal é de uma maneira similar a da densidade básica da madeira, como já detectado por outros autores (LENHARDT et al<sup>26</sup>).

A porcentagem de lenho outonal varia da base para o topo da árvore, ou seja, diminui à medida que aumentamos a altura na árvore a partir da base. Esta variação é demonstrada graficamente na Figura 6, tendo sido utilizada a média para as respectivas idades. A única diferença aparente entre idades é observada no torete da base onde a medida que aumentamos a idade aumenta de maneira significativa a porcentagem de lenho outonal.

As análises estatísticas confirmam ao nível de 99% de probabilidade que estatisticamente existem diferenças significativas entre as posições nas árvores e idades conforme o Quadro 22 do Apêndice. A interação posição e idade também foi significativa ao nível de 95% de probabilidade. É interessante observar que o aumento na % de lenho outonal é acentuado

QUADRO 3. Porcentagem de lenho outonal de *Pinus elliottii* com diferentes idades, coletada em três alturas do fuste (5 árvores para cada idade).

IDADE	POSIÇÃO NA ÁRVORE	$\bar{X}$ (%)	s
10	Base	34,81	2,86
	1/2 H.C.	26,33	2,32
	H.C.	12,13	2,91
	Média da idade (*)	28,45	2,32
13	Base	40,07	2,30
	1/2 H.C.	24,07	2,74
	H.C.	13,79	1,86
	Média da idade (*)	30,10	1,68
17	Base	44,26	2,32
	1/2 H.C.	28,13	2,92
	H.C.	14,86	4,60
	Média da idade (*)	35,04	1,03

$\bar{X}$  - estimativa da média

s - estimativa do desvio padrão

H.C.- altura comercial

\* - média ponderada

na base da árvore (Veja Figura 6). Devido esta parte representar a maior porcentagem em termos de volume dentro da árvore, faz com que na média geral a diferença entre idades também seja significativa.

## 4.2. Características Morfológicas

### 4.2.1. Comprimento do Traqueóide

#### 4.2.1.1. Variação do Comprimento do Traqueóide nos Anéis de Crescimento em diversas posições no fuste.

A variação do comprimento do traqueóide nos anéis de crescimento nas posições das árvores é dada no Quadro 4.

Observa-se que a tendência na variação do comprimento do traqueóide é aumentar no sentido medula-casca, sendo possível um suave decréscimo depois, para árvores com mais idade, ou seja, 13 e 17 anos, como é demonstrado graficamente na Figura 7 utilizando-se o disco da base.

A análise de variância conduzida para avaliar as diferenças no comprimento dos traqueóides nos diversos anéis, foi significativa ao nível de 99% de probabilidade (Quadros 1, 2 e 3 do Apêndice).

O teste de TUKEY conduzido a posteriori mostrou que a diferença existente é principalmente concentrada nos anéis mais próximos à medula e que à partir de um determinado ponto, localizado próximo ao 11º anel, existe uma tendência a estabilização no comprimento.

Um sumário dos Quadros (13, 14 e 15 do Apêndice) é

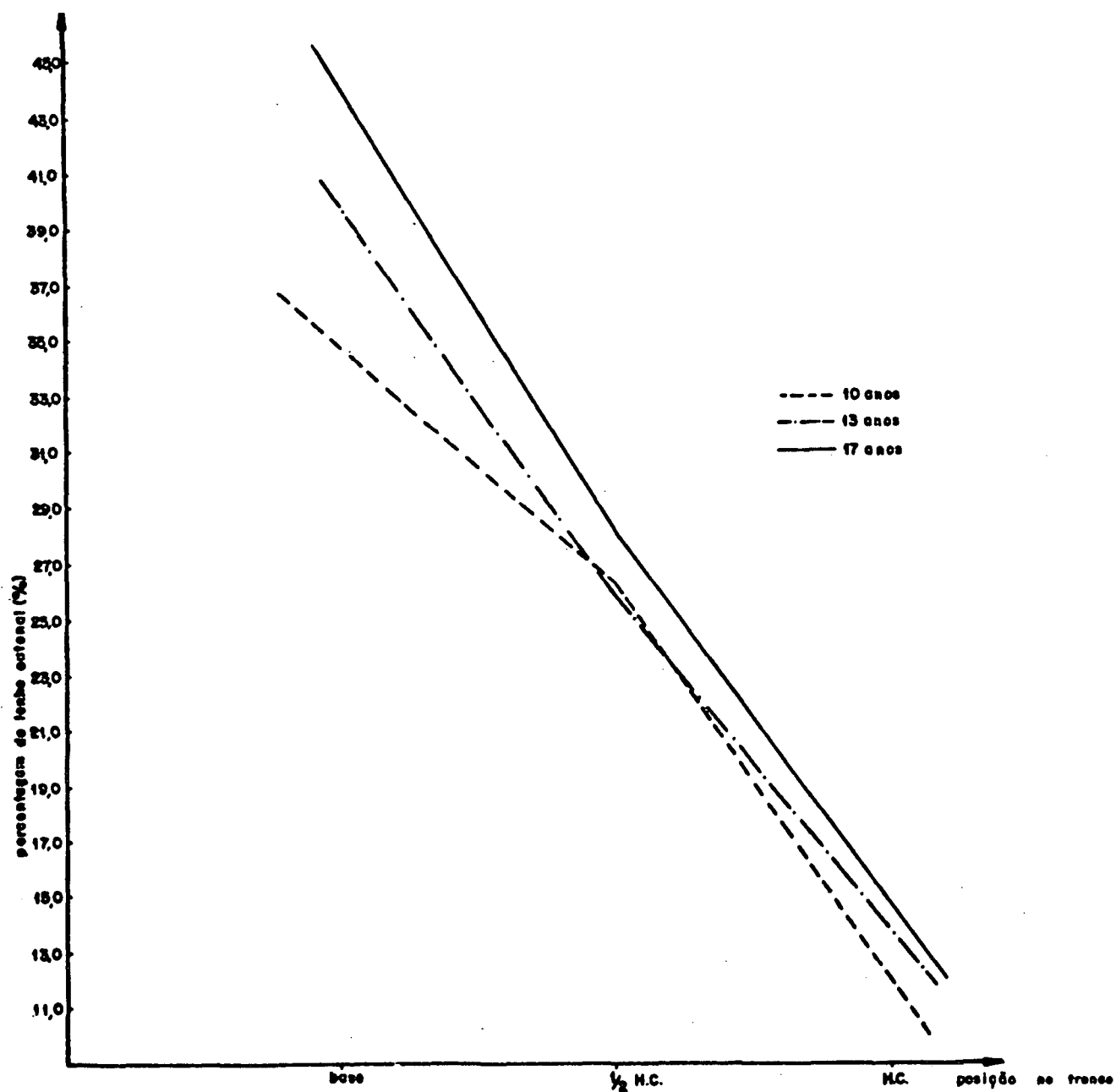


Figura 6. Porcentagem de lenho outonal (%) nas diversas posições do tronco da madeira de *Pinus elliottii* considerando-se três idades.

QUADRO 4. Comprimento de traqueóide de *Pinus elliottii* de diferentes idades, coletado em diversos anéis de crescimento e três posições do fuste. (5 árvores para cada idade).

IDADE	POSIÇÃO	ANEL	MÉDIA(%)	s
10	Base	2	1452	48,52
		5	2135	249,95
		8	2656	155,10
	1/2 H.C.	2	2569	435,42
		5	3056	425,91
	H.C.	2	2501	555,56
13	Base	2	1726	262,77
		5	2451	183,05
		8	2803	213,51
		11	2685	212,91
	1/2 H.C.	2	2769	244,97
		5	3134	199,04
H.C.	2	2447	408,10	
17	Base	2	1655	194,03
		5	2442	269,56
		8	2972	333,25
		11	2468	326,94
		14	2656	424,08
	1/2 H.C.	2	2333	425,31
		5	2780	212,46
		8	3303	275,67
H.C.	11	3025	154,45	
H.C.	2	2638	348,43	

$\bar{X}$  - estimativa da média

s - estimativa do desvio padrão

H.C.- altura comercial

mostrado abaixo:

Para idade de 10 anos (\*)

Anéis de crescimento:	$a_8$	$a_5$	$a_2$
Média	: 2656	2135	1452

Para idade de 13 anos (\*)

Anéis de crescimento:	$a_8$	$a_{11}$	$a_5$	$a_2$
Média	: <u>2803</u>	<u>2685</u>	<u>2451</u>	1726

Para idade de 17 anos (\*)

Anéis de crescimento:	$a_8$	$a_{14}$	$a_{11}$	$a_5$	$a_2$
Média	: <u>2972</u>	<u>2656</u>	<u>2468</u>	<u>2442</u>	1655

A tendência do comprimento do traqueóide aumenta a medida que se distancia da medula em direção à casca (mostrada na Figura 7), bem como a sua estabilização à partir de um determinado ponto já era esperado, tendo sido observado por diversos autores em estudos anteriores BURLEY<sup>(7)</sup>, NICHOLLS<sup>(31)</sup>. Nenhuma conclusão pode ser tirada com relação à aparente diminuição do comprimento dos traqueóides a partir do 8º anel, observada para a idade de 17 anos. A causa poderia estar as

---

(\*) Médias unidas pela barra não apresentam diferenças significantes entre si ao nível de 95% de probabilidade.

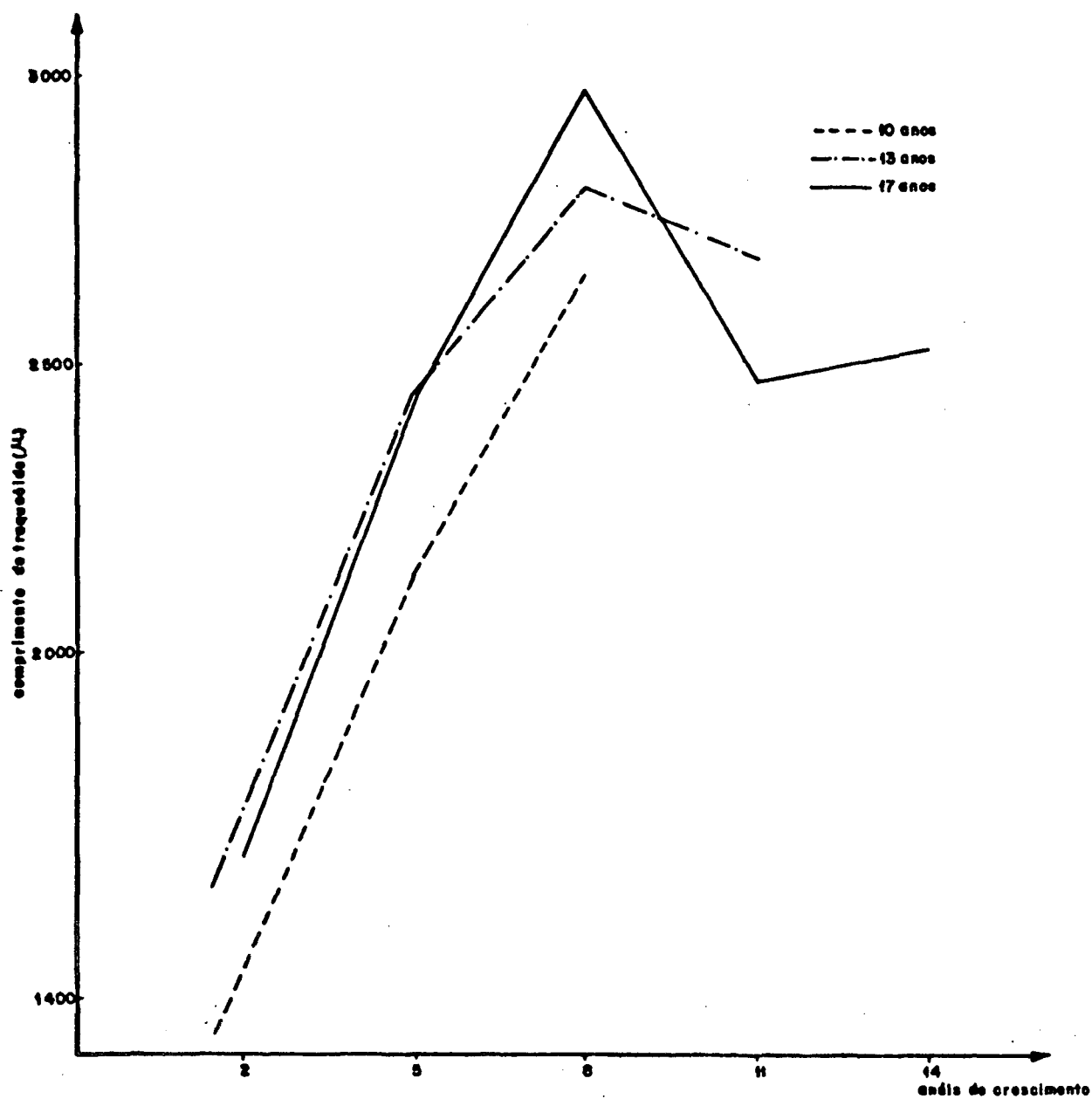


Figura 7. Variação do comprimento do traqueóide no sentido medula-casca para madeira de *Pinus elliottii* nas três idades estudadas (disco tomado na base).

sociada com a aplicação de tratamentos silviculturais, tais como desbaste, no entanto não existem informações concretas sobre o histórico do povoamento.

#### 4.2.1.2. Variação do Comprimento dos Traqueóides nas diversas posições do fuste e idades.

O comprimento médio dos traqueóides nas diversas posições do tronco para as três idades estudadas é apresentado no Quadro 5.

Para uma melhor visualização os dados são apresentados graficamente na Figura 8. Pode ser observado que a tendência geral considerando-se as médias nas diversas secções é um aumento no comprimento dos traqueóides à partir da base até o meio da altura comercial. A partir deste ponto ocorre uma diminuição no comprimento médio. Observações semelhantes foram feitas por DINWOODIE<sup>(11)</sup>.

A análise de variância conduzida para comparar o comprimento médio do traqueóide nas três diferentes posições mostrou haver uma diferença significativa ao nível de 99% de probabilidade. Nem o fator idade nem a interação idade-posição no tronco mostraram ser significantes como pode ser observado no (Quadro 23 do Apêndice).

O fato de que a idade não apresentou significância na análise de variância, contraria afirmações de UPRICHARD<sup>(42)</sup>, VOORHIES & JAMESON<sup>(43)</sup> que mencionam existir boa correlação entre a idade e o comprimento dos traqueóides. No entanto, deve-se considerar que as diferenças de idades do material

QUADRO 5. Comprimento do traqueóide de *Pinus elliottii* de diferentes idades, coletado em três alturas no fuste (5 árvores para cada idade).

IDADE	POSIÇÃO	MÉDIA ( $\bar{X}$ )	s
10	Base	2249	118,10
	1/2 H.C.	2877	417,44
	H.C.	2648	228,25
	Média da idade (*)	2505	232,83
13	Base	2560	175,73
	1/2 H.C.	3017	197,96
	H.C.	2449	408,11
	Média de idade (*)	2709	194,45
17	Base	2519	326,23
	1/2 H.C.	3003	176,08
	H.C.	2638	348,42
	Média da idade (*)	2711	250,61

$\bar{X}$  - estimativa da média

s - estimativa do desvio padrão

H.C.- altura comercial

\* - média ponderada

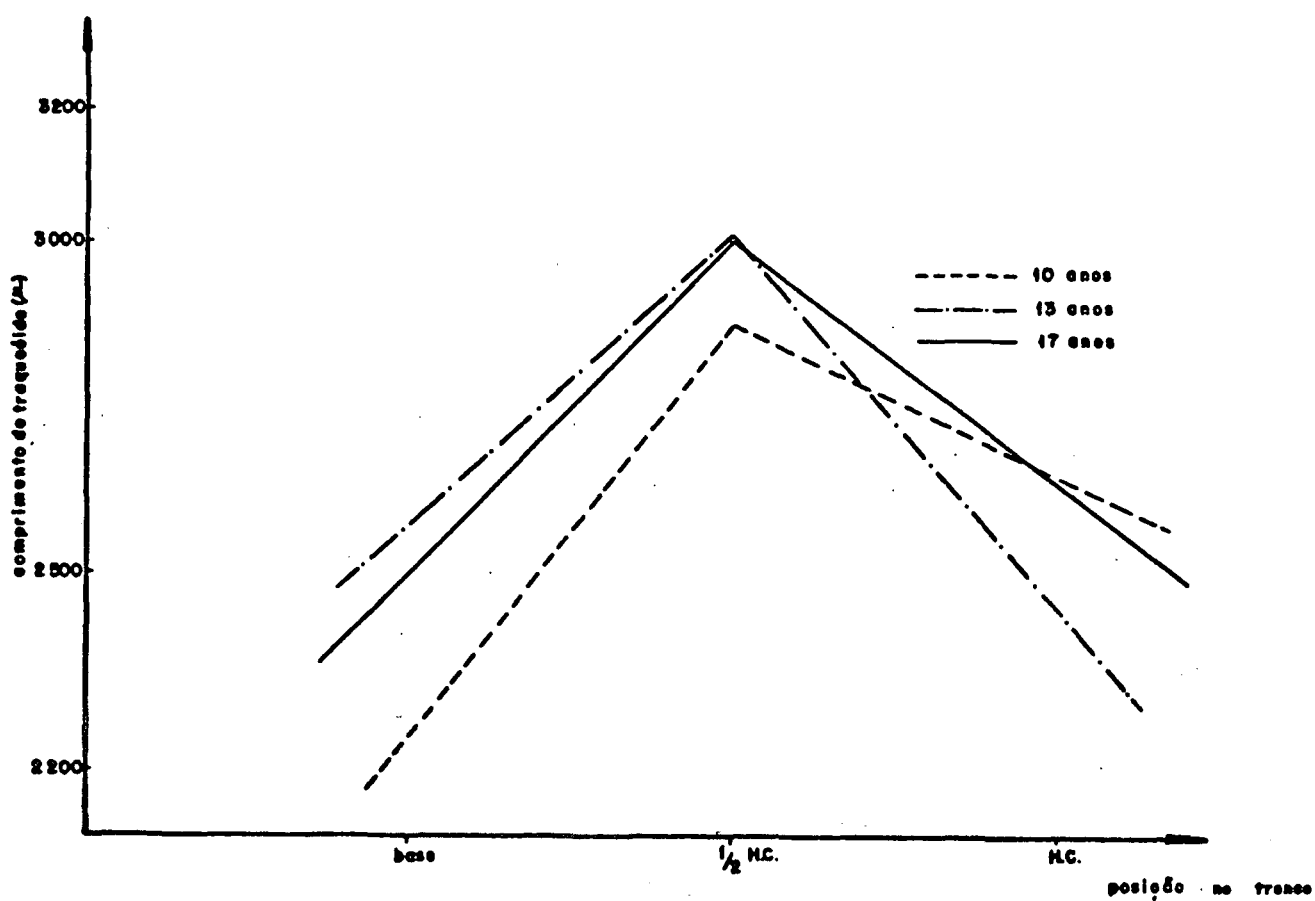


Figura 8. Variação do comprimento do traqueóide para madeira de *Pinus elliottii* nas diversas posições do tronco e idades estudadas.

H.C. = Altura comercial.

utilizado neste estudo é relativamente pequena, e é provável que quando considerando-se maiores intervalos de idade, poderá ser detectada significância. Além disto devido a amostragem adotada, apesar da árvore possuir uma determinada idade, a madeira considerada possui idades diversificadas, representada pelos anéis de crescimento de diferentes idades.

#### 4.2.2. Diâmetro do Traqueóide

##### 4.2.2.1. Variação do Diâmetro do Traqueóide nos Anéis de Crescimento em diversas Posições no fuste.

A variação do diâmetro do traqueóide nos diversos anéis de crescimento e posições no tronco, dentro das idades estudadas é mostrado no Quadro 6.

Nenhuma diferença significativa foi encontrada entre o diâmetro dos traqueóides coletados nos diversos anéis de crescimento, considerando-se o disco da base e as idades de 10 e 13 anos. Para a idade de 17 anos existem diferenças significativas ao nível de 95% de probabilidade.

O teste TUKEY foi aplicado para a idade de 17 anos considerando-se os diversos tratamentos neste caso correspondente aos anéis de crescimento. Como pode ser observado abaixo, onde são apresentadas as médias e respectivos anéis (2,5, 8,11 e 14) o diâmetro do traqueóide ora cresce e ora decresce sem haver uma tendência bem definida.

Para idade de 17 anos (\*)

Anéis de crescimento:	$a_8$	$a_5$	$a_{14}$	$a_{11}$	$a_2$
Média	: 48,50	47,07	46,10	44,33	43,80

QUADRO 6. Diâmetro do traqueóide de *Pinus elliottii* de diferentes idades, coletado em diversos anéis de crescimento e três posições do fuste (5 árvores para cada idade).

IDADE	POSIÇÃO	ANEL	MÉDIA ( $\bar{X}$ )	$s$
10	Base	2	40,93	4,22
		5	44,29	4,25
		8	44,17	4,75
	1/2 H.C.	2	49,17	3,38
		5	46,93	3,26
	H.C.	2	45,07	4,96
13	Base	2	43,80	4,03
		5	46,60	3,34
		8	45,76	2,39
		11	45,20	1,96
	1/2 H.C.	2	48,03	7,60
		5	54,00	5,77
H.C.	2	51,69	7,87	
17	Base	2	43,80	1,11
		5	47,07	2,26
		8	48,50	3,85
		11	44,33	1,81
		14	46,10	1,69
	1/2 H.C.	2	47,00	1,97
		5	53,13	5,17
		8	51,23	2,44
		11	53,43	6,86
H.C.	2	47,75	4,47	

$\bar{X}$  - estimativa da média

$s$  - estimativa do desvio padrão

H.C. - altura comercial

Para uma melhor visualização, apresenta-se graficamente na Figura 9 a variação no diâmetro dos traqueóides nos diversos anéis, para as três idades estudadas. Como conclusão adicional, advinda de observações desta figura, aparentemente a única tendência clara é um pequeno aumento no diâmetro do traqueóide considerando-se os dois primeiros anéis estudados (2 e 8). A partir deste ponto, como já mencionado nenhuma tendência definida está presente.

O fato de que o diâmetro dos traqueóides cresce à partir da medula em direção a casca até um determinado ponto, onde alcança o valor máximo permanecendo constante após este ponto foi também observado por AHMAD<sup>(1)</sup> trabalhando com *Abies pindrow*.

#### 4.2.2.2. Variação no Diâmetro dos Traqueóides nas diversas Posições do fuste e idades.

O diâmetro dos traqueóides nas diferentes posições do tronco e suas respectivas idades é apresentado no Quadro 7.

Pode-se observar que o diâmetro do traqueóide varia da base para o topo da árvore, e aparentemente cresce com a idade das árvores.

Para o diâmetro do traqueóide houve a necessidade de logaritimização dos dados antes da realização da ANOVA pois o foi significativa.

O diâmetro do traqueóide, apresentou diferença signi

---

(\*) As médias unidas com uma barra são consideradas estatisticamente iguais.

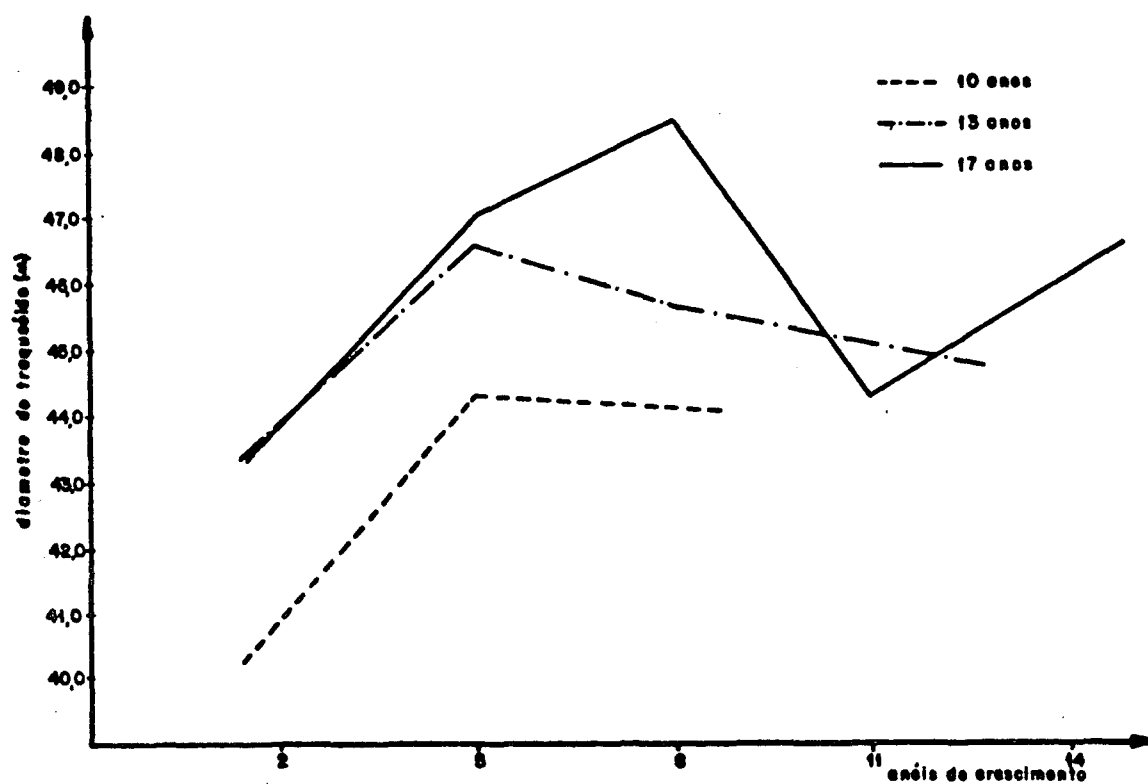


Figura 9. Variação do diâmetro do traqueóide no sentido medula-casca para madeira de *Pinus elliottii* nas três diferentes idades estudadas (disco tomado na base).

QUADRO 7. Diâmetro do traqueóide de *Pinus elliottii* de diferentes idades e coletado em três alturas do fuste (5 árvores para cada idade).

IDADE	POSIÇÃO	MÉDIA ( $\bar{X}$ )	$s$
10	Base	43,52	3,53
	1/2 H.C.	47,77	3,20
	H.C.	45,07	4,96
	Média da idade (*)	45,28	2,64
13	Base	45,57	1,82
	1/2 H.C.	52,06	6,40
	H.C.	51,70	7,87
	Média da idade (*)	48,95	3,98
17	Base	46,07	1,29
	1/2 H.C.	52,14	3,84
	H.C.	47,75	4,47
	Média da idade (*)	48,44	1,96

$\bar{X}$  - estimativa da média

$s$  - estimativa do desvio padrão

H.C.- altura comercial

\* - média ponderada

ficante ao nível de 99% de probabilidade entre as diversas posições no tronco. A diferença entre idades foi significativa ao nível de 95% de probabilidade e a interação posição-idade não difere significativamente (Vide Quadro 26 do Apêndice). A variação entre idades e diversas posições é melhor observada na Figura 10. Traqueóides de maior diâmetro são encontrados no meio da altura comercial, e de maneira genérica o diâmetro do traqueóide cresce com a idade. Idênticas observações foram feitas por AHMAD<sup>(1)</sup> em *Abies pindrow*, sendo que outros autores, SAUCIER & HAMILTON<sup>(37)</sup> trabalhando com folhosas, também observaram variações semelhantes no diâmetro do traqueóide.

#### 4.2.3. Diâmetro do Lúmen do Traqueóide

##### 4.2.3.1. Variação do Diâmetro do Lúmen do Traqueóide nos Anéis de Crescimento nas diversas Posições do fuste.

A variação do diâmetro do lúmen do traqueóide nos diferentes anéis de crescimento e nas diversas posições no fuste considerando-se as idades estudadas é mostrada no Quadro 8.

Nenhuma diferença estatística foi observada entre o diâmetro do lúmen de traqueóides coletada nos diversos anéis de crescimento para as idades de 10 e 13 anos. Ao contrário, para a idade de 17 anos, existem diferenças significativas ao nível de 95% de probabilidade (Vide Quadros 7, 8 e 9 do Apêndice). No estudo de variação desta característica utilizou-se apenas o disco da base.

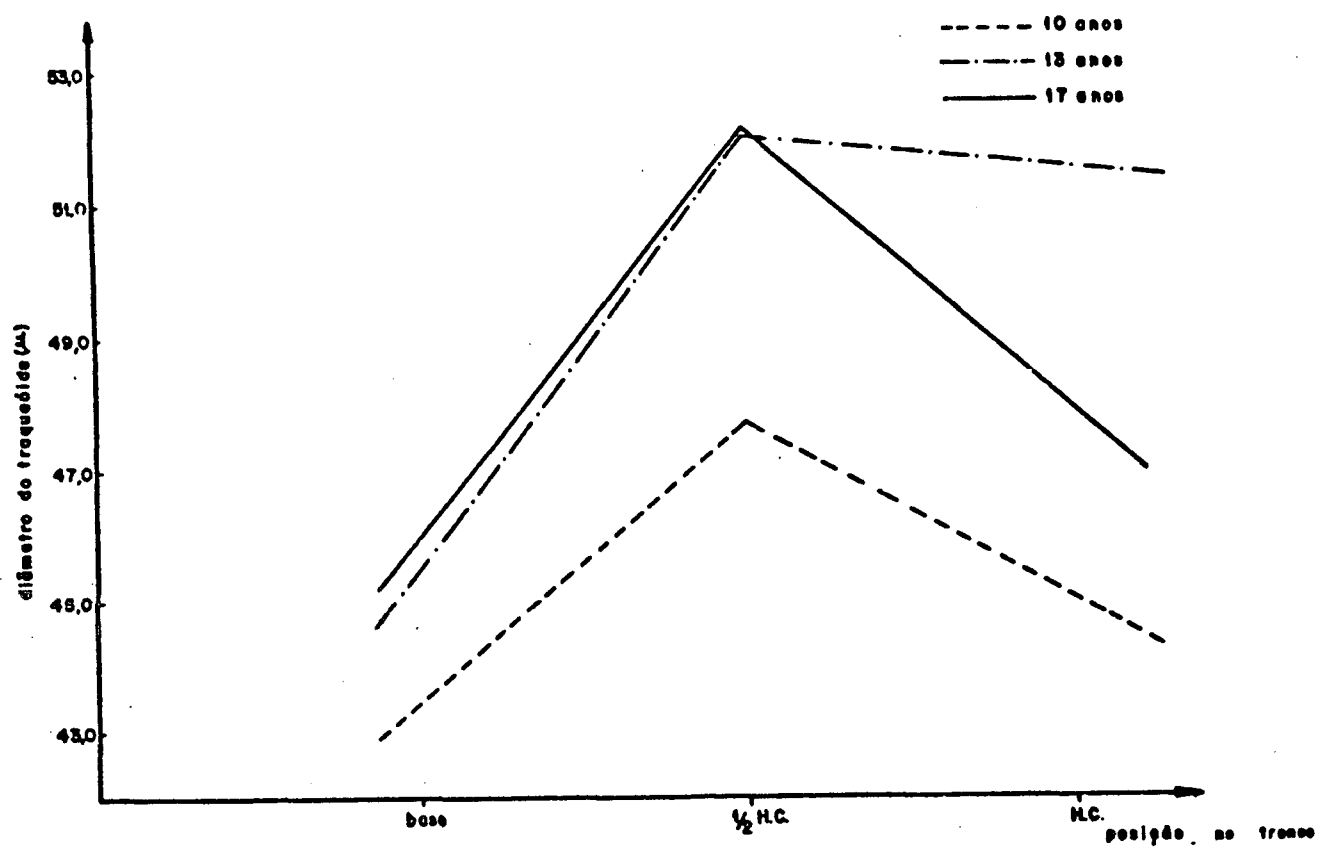


Figura 10. Variação do diâmetro do traqueóide para madeira de *Pinus elliottii* nas diversas posições do tronco e idades estudadas.

H.C. = Altura comercial.

QUADRO 8. Diâmetro do Lúmen do Traqueóide de *Pinus elliottii* de diferentes idades, coletado em diversos anéis de crescimento e três posições do fuste (5 árvores para cada idade).

IDADE	POSIÇÃO	ANEL	MÉDIA ( $\bar{X}$ )	s
10	Base	2	30,03	3,37
		5	32,41	4,40
		8	31,14	5,56
	1/2 H.C.	2	40,87	7,67
		5	39,76	7,49
		H.C.	2	38,93
13	Base	2	34,40	3,68
		5	33,37	4,84
		8	30,93	4,22
		11	30,10	4,02
	1/2 H.C.	2	33,76	3,77
		5	39,60	4,20
H.C.	2	38,87	3,31	
17	Base	2	32,53	2,82
		5	32,73	1,57
		8	36,07	4,10
		11	30,43	1,77
		14	30,60	3,40
	1/2 H.C.	2	35,80	6,34
		5	36,93	5,72
		8	33,93	1,32
		11	33,61	8,11
		H.C.	2	29,33

$\bar{X}$  - estimativa da média

s - estimativa do desvio padrão

H.C.- altura comercial

Aplicou-se um teste de TUKEY para verificar-se a diferença do diâmetro do lúmen entre os diversos anéis de crescimento (Vide Quadro 17 do Apêndice). Um sumário destes resultados, para a idade de 17 anos é mostrado abaixo. As médias ligadas por barra não apresentam diferença significativa.

Para idade de 17 anos.

Anéis de crescimento:	$a_8$	$a_5$	$a_2$	$a_{11}$	$a_{14}$
Média	: <u>36,07</u> <u>32,73</u> <u>32,53</u> <u>30,60</u> <u>30,43</u>				

Para uma melhor visualização da variação do diâmetro do lúmen do traqueóide nos diferentes anéis é representada na Figura 11.

É interessante observar o que acontece no 8º anel de crescimento para árvores com idade de 17 anos. O diâmetro do lúmen é maior do que o de outras posições, bem como difere significativamente das outras idades. Analisando-se os dados apresentados anteriormente, observa-se efeito similar para o diâmetro do traqueóide (Figura 9) e em mesma escala para o comprimento do traqueóide (Figura 7). Este fato deve ter sido provavelmente de uma mudança no manejo do povoamento, seja através de desbaste, fertilização, etc. ou por influências climáticas. No entanto a falta de dados sobre o histórico do povoamento não permite que seja tirada nenhuma conclusão sobre o assunto.

#### 4.2.3.2. Variação no Diâmetro do Lúmen nas diversas posições do fuste e idades.

O diâmetro do lúmen do traqueóide nas diversas posi-

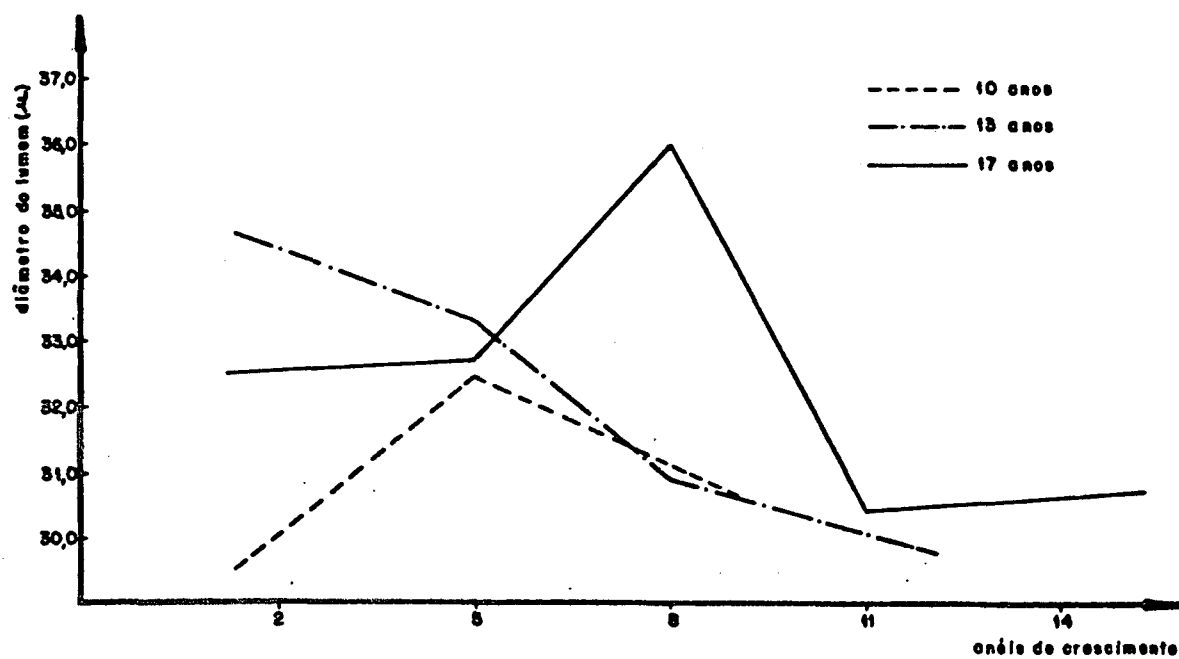


Figura 11. Variação do diâmetro do lúmen no sentido medula-casca para madeira de *Pinus elliottii* nas três idades estudadas (disco tomado na base).

ções do tronco e suas respectivas idades é representado no Quadro 9.

Também no caso do diâmetro do lúmen houve a necessidade de transformação dos dados uma vez que o teste de Bartlett foi significativo.

A análise de variância mostrou que existe diferença significativa ao nível de 99% de probabilidade entre as diversas posições e idades. A interação posição-idade também é significativa ao nível de 99% como pode ser observado no Quadro 25 do Apêndice.

Baseando-se nos dados do Quadro 9, pode-se afirmar que o diâmetro do lúmen dos traqueóides de uma maneira geral aumenta a medida que se desloca o ponto de coleta da base para o topo. Observa-se ainda que o diâmetro do lúmen do traqueóide diminui com a idade, ou seja, árvores com maior idade possuem diâmetro de lúmen menor do que para aquelas com menor idade. Uma melhor visualização destas tendências pode ser observada na Figura 12.

Quanto a variação desta característica da base para o topo, nenhuma citação foi encontrada na literatura para a madeira de conífera, embora SAUCIER & HAMILTON<sup>(37)</sup> tenham observado no caso de folhosas.

Neste caso pode-se novamente observar a diferença que ocorre principalmente considerando-se a idade de 17 anos. Para uma melhor avaliação é apresentado e discutido no ítem a seguir, com uma superposição dos seus efeitos.

QUADRO 9. Diâmetro do lúmen de *Pinus elliottii* de diferentes idades e coletado em três alturas do fuste (5 árvores para cada idade)

IDADE	POSIÇÃO	MÉDIA ( $\bar{X}$ )	$s$
10	Base	31,34	3,96
	1/2 H.C.	40,14	6,65
	H.C.	38,93	1,50
	Média da idade (*)	35,92	2,57
13	Base	31,60	2,67
	1/2 H.C.	37,70	3,83
	H.C.	38,87	3,31
	Média da idade	34,96	1,05
17	Base	31,83	0,75
	1/2 H.C.	34,44	4,29
	H.C.	29,33	2,95
	Média da idade (*)	32,60	1,55

$\bar{X}$  - estimativa da média

$s$  - estimativa do desvio padrão

H.C.- altura comercial

(\*) - média ponderada

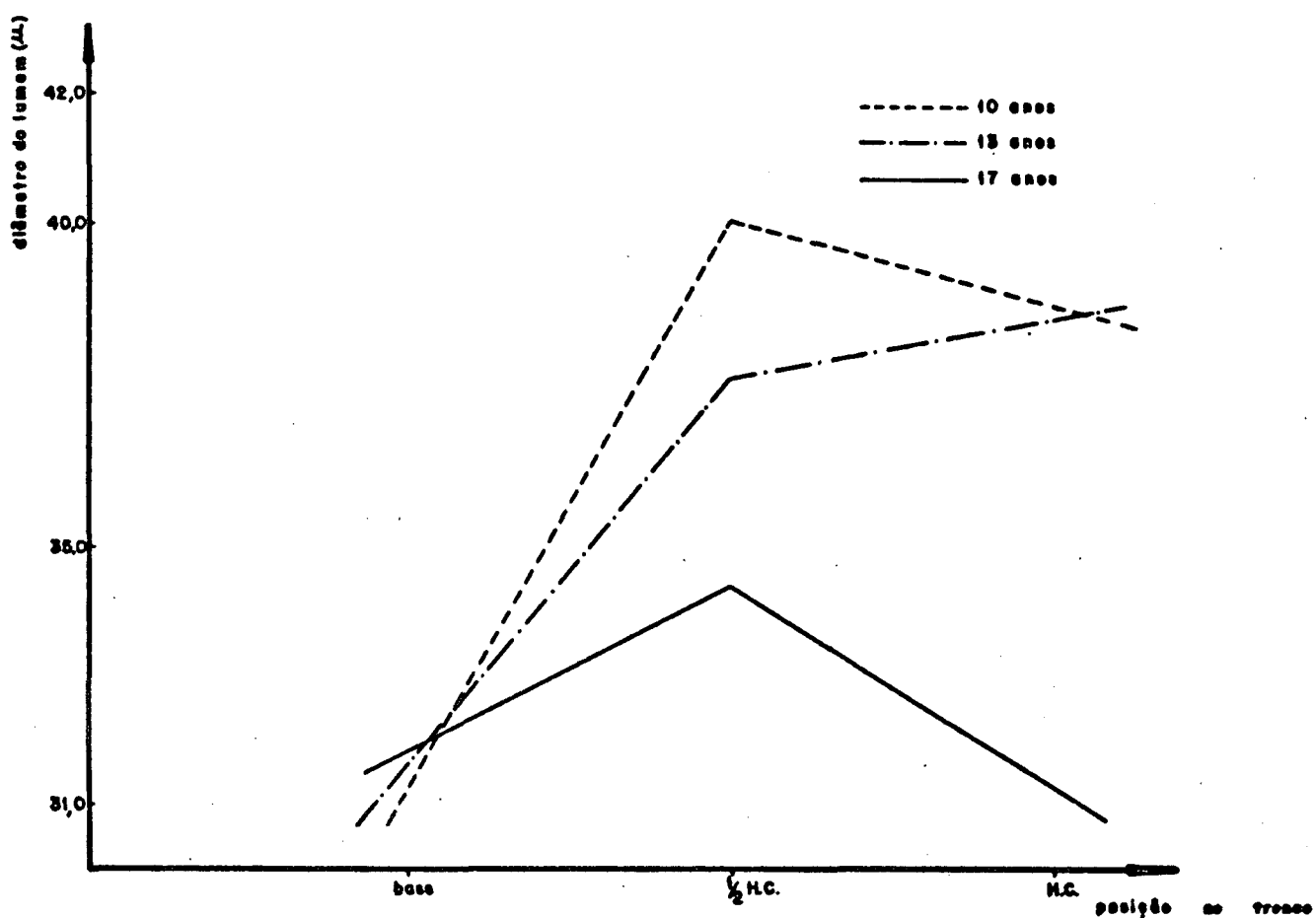


Figura 12. Variação do diâmetro do lúmen dos traqueóides da madeira de *Pinus elliottii* nas diversas posições e idades.

#### 4.2.4. Espessura da Parede do Traqueóide

##### 4.2.4.1. Variação da Espessura da Parede do Traqueóide nos Anéis de Crescimento nas diversas posições do fuste.

A variação da espessura da parede do traqueóide nos diferentes anéis de crescimento nas diversas posições do fuste, considerando-se as idades estudadas é representada no Quadro 10.

Como pode ser observado neste quadro a espessura da parede tende a aumentar a medida que se afasta da medula em direção à casca.

A análise de variância confirmou existir diferenças significativas ao nível de 99% de probabilidade para as três idades estudadas quando considerando-se apenas o disco da base (Vide quadros 10,11 e 12 do Apêndice).

O teste de TUKEY aplicado "a posteriori", mostra a tendência bem clara de que as menores espessuras são concentradas nos primeiros anéis, e a medida que considera-se os anéis mais próximos à casca ocorre uma estabilização nesta dimensão. Um sumário do teste de TUKEY é apresentado nos (Quadros 18,19 e 20 do Apêndice) e mostrado abaixo. Os anéis de crescimento unidos pela barra não apresentaram diferença significante. Salienta-se no entanto que o teste estatístico aqui considerado é bastante severo, e pequenas diferenças que possam ocorrer, embora não significantes, podem influir nas propriedades do papel

QUADRO 10. Espessura da parede do traqueóide de *Pinus elliottii* de diferentes idades, coletada em diversos anéis de crescimento e três posições do fuste (5 árvores para cada idade).

IDADE	POSIÇÃO	ANEL	MÉDIA ( $\bar{X}$ )	$s$	
10	Base	2	5,45	0,70	
		5	5,97	0,40	
		8	6,52	0,62	
	1/2 H.C.	2	6,02	1,51	
		5	6,85	1,02	
	H.C.	2	6,25	0,80	
	13	Base	2	5,00	0,83
			5	6,54	1,64
			8	7,42	1,27
11			7,55	1,20	
1/2 H.C.		2	5,90	0,75	
		5	6,28	0,75	
H.C.			6,11	1,03	
17		Base	2	5,04	0,99
			5	6,60	1,35
	8		6,22	1,40	
	11		6,92	0,97	
	14		7,75	1,20	
	1/2 H.C.	2	5,60	0,76	
		5	5,99	1,00	
		8	7,20	1,38	
		11	7,74	1,99	
H.C.	2	6,84	2,82		

$\bar{X}$  - estimativa da média

$s$  - estimativa do desvio padrão

H.C.- altura comercial

Para idade de 10 anos

Anéis de crescimento:	$a_8$	$a_5$	$a_2$
Média	: <u>6,52</u>	<u>5,97</u>	5,45

Para idade de 13 anos

Anéis de crescimento:	$a_{11}$	$a_8$	$a_5$	$a_2$
Média	: <u>7,55</u>	<u>7,42</u>	<u>6,54</u>	5,00

Para idade de 17 anos

Anéis de crescimento:	$a_{14}$	$a_{11}$	$a_5$	$a_8$	$a_2$
Média	: <u>7,75</u>	<u>6,92</u>	<u>6,60</u>	<u>6,22</u>	5,04

Para melhor avaliar os resultados, a variação da espessura do traqueóide, é representada graficamente na Figura 13. A tendência presente, ou seja aumento na espessura da parede com a idade, já era esperada, e reflete no aumento da densidade, com a idade o que foi detectado neste estudo (Figura 5).

Informações sobre o aumento da espessura do traqueóide com a idade não foram encontradas na literatura consultada pelo autor.

#### 4.2.4.2. Variação da Espessura da Parede do Traqueóide nas diversas posições do fuste e idades.

A variação da espessura da parede do traqueóide con-

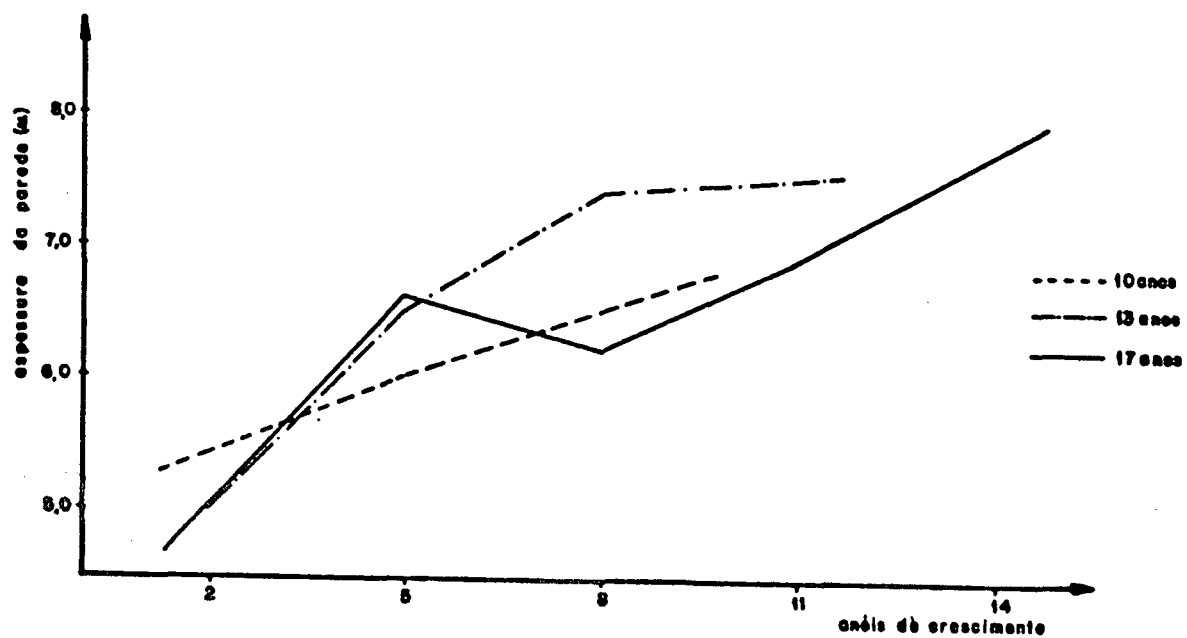


Figura 13. Variação na espessura da parede do traqueóide da madeira de *Pinus elliottii* no sentido medula-casca nas três idades estudadas (disco tomado na base).

siderando-se as diversas posições no fuste e suas respectivas idades é apresentada no Quadro 11.

A análise de variância indicou que para a espessura da parede do traqueóide não existe diferenças significativas entre idades, posições e a interação posição-idade (Ver de Quadro 26 do Apêndice).

Os dados apresentados no Quadro 11 são apresentados graficamente na Figura 14. Como pode ser observado, e confirmando os resultados obtidos pela ANOVA, a espessura da parede celular permanece constante nas diferentes alturas do fuste consideradas neste estudo. Observa-se que apesar de não ter sido observado diferenças entre as idades, existe uma leve tendência que árvores de maior idade apresentam maiores espessuras. Como mencionado anteriormente este fato é esperado uma vez que a densidade básica do material deste estudo cresceu com a idade, e portanto a espessura da parede celular também deveria crescer. O fato de não ter sido observado significância estatística deve-se provavelmente ao reduzido número de repetições consideradas neste estudo.

#### 4.2.5. Fator FUNKEL, Coeficiente de Flexibilidade, Índice de Enfeltramento e Coeficiente de Rigidez.

Os diversos fatores e coeficientes de grande importância quando considera-se o uso final papel são mostrados no Quadro 12,

$$\text{- Fator RUNKEL} = \frac{2 \times \text{espessura da parede celular}}{\text{diâmetro do lúmen}}$$

QUADRO 11. Espessura da parede do traqueóide de *Pinus elliottii* de diferentes idades, coletado em três alturas no fuste (5 árvores para cada idade).

IDADE	POSIÇÃO	MÉDIA ( $\bar{X}$ )	$s$
10	Base	6,29	0,37
	1/2 H.C.	6,48	1,03
	H.C.	6,25	0,80
	Média da idade (*)	6,34	0,45
13	Base	6,99	0,92
	1/2 H.C.	6,17	0,54
	H.C.	6,11	1,03
	Média da idade (*)	6,56	0,34
17	Base	6,88	0,62
	1/2 H.C.	7,02	0,93
	H.C.	6,84	2,82
	Média da idade (*)	6,94	0,55

$\bar{X}$  - estimativa média

$s$  - estimativa do desvio padrão

H.C. - altura comercial

\* - média ponderada

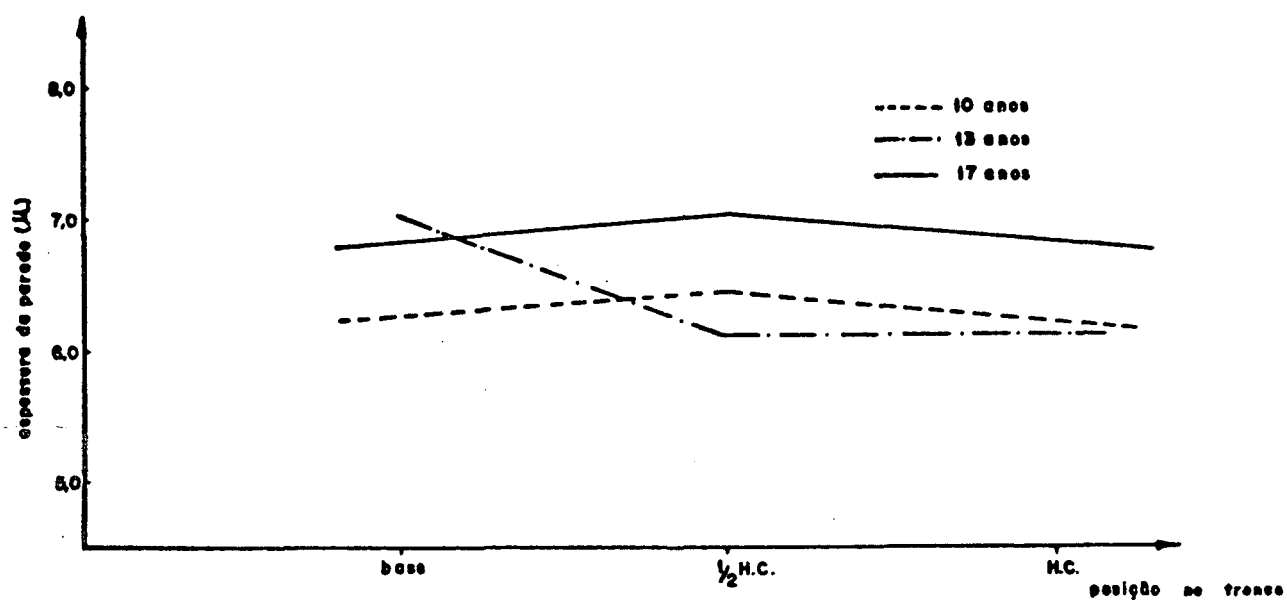


Figura 14. Variação na espessura da parede do traqueóide para madeira de *Pinus elliottii* nas diversas posições do tronco e idades estudadas.

$$\text{- Índice de Efeltramento} = \frac{\text{Comprimento da fibra}}{\text{diâmetro da fibra}}$$

$$\text{- Coeficiente de rigidez} = \frac{2 \times \text{espessura da parede celular}}{\text{Diâmetro da fibra}}$$

$$\text{- Coeficiente de flexibilidade} = \frac{\text{Diâmetro do lúmen}}{\text{comprimento da fibra}} \times 100$$

O fator RUNKEL, aparentemente aumenta com o aumento da idade. Como é sabido, este fator é decorrente de uma relação entre espessura da parede e diâmetro do lúmen e pelos dados anteriormente apresentados pode-se observar que a madeira de árvores mais velhas em geral tiveram uma maior espessura da parede e diâmetro de lúmen menor.

Segundo ELLIOT (1970)\*, citado por MORESCHI<sup>(29)</sup> os fatores RUNKEL obtidos neste estudo para a madeira de *Pinus elliottii*, com as três diferentes idades, são pertencentes a grupos tidos como madeiras aptas para a produção de polpa e papel de boa qualidade.

O coeficiente de flexibilidade é um indicador da propensão ao colapso das fibras na fabricação do papel. Observa-se no quadro que ele decresce com o aumento da idade, o que era esperado uma vez que este coeficiente é obtido pela relação diâmetro do lúmen/comprimento da fibra. Baseando-se nestes resultados é esperado que o material mais jovem

---

\* ELLIOT, G.K. (1970). Wood density in conifers. Oxford Commonwealth Forestry Bureau, 1970 (Technical Communication, 8).

venha a produzir papel com uma maior resistência a tração e ao estouro do que o material proveniente de árvores de maior idade.

Como pode ser observado no Quadro 12, o índice de enfeitramento não apresentou nenhuma tendência definida para as três idades consideradas. Estes dados não deverão afetar as conclusões deste trabalho uma vez que já foi mencionado por outros autores que este índice, em muitos casos, não apresenta boas correlações com as propriedades do papel, principalmente porque em geral as fibras mais longas são as que apresentam o maior diâmetro (BARRICHELO & BRITO<sup>(4)</sup>).

Os coeficientes de rigidez encontrados neste estudo, e apresentados no Quadro 12, mostram uma variação bastante pequena, e sem nenhuma tendência definida. A exemplo de GONIN & TAYLOR<sup>(19)</sup>, considera-se este valor somente como um complemento do índice de flexibilidade.

#### 4.3. Rendimentos em Celulose

O rendimento em celulose e o teor de rejeitos para os dois cozimentos por idade, são mostrados no Quadro 13.

Como esperado neste estudo considerando-se as três idades de *Pinus elliottii* os resultados obtidos não apresentaram grandes diferenças quanto ao rendimento.

Quanto ao teor de rejeitos observa-se que os cozimentos da madeira de maior idade, no caso 17 anos, é que apresenta maior teor de rejeito. A razão pode estar associada a um maior teor de extrativos na idade de 17 anos. Outro fator que poderá estar contribuindo é o tamanho dos nós. As

QUADRO 12. Fator RUNKEL, coeficiente de flexibilidade índice de enfeltramento e coeficiente de rigidez para polpa da madeira de *Pinus elliottii* com três diferentes idades.\*

IDADE	FATOR RUNKEL	COEFICIENTE FLEXIBILIDADE	ÍNDICE ENFELTRAMENTO	COEFICIENTE RIGIDEZ (%)
10	0,35	79,35	58,12	0,279
13	0,37	71,44	56,85	0,268
17	0,43	67,30	60,01	0,286

\* Valores médios considerando-se cinco árvores estudadas.

QUADRO 13. Rendimentos em celulose e teor de rejeito para *Pinus elliottii* de diferentes idades em porcentagem (média para os dois cozimentos).

IDADE	RENDIMENTO BRUTO	RENDIMENTO DEPURADO	TEOR DE REJEITOS
10	48,9	43,2	5,7
13	50,6	44,2	6,4
17	49,6	42,6	7,0

árvores de maior idade apresentavam nós de maior dimensão. Deve-se considerar no entanto que no processo industrial os teores de rejeitos encontrados neste estudo serão de pouca importância, principalmente no caso deste material ser reciclado.

Os rendimentos de polpa foram baixos e os teores de rejeito altos, quando comparados com trabalhos desenvolvidos por outros autores (FOEKEL<sup>(15)</sup>).

#### 4.4. Número de Permanganato das Polpas

Os números de permanganato das celulosas para as diferentes idades estão relacionadas no Quadro 14, para os dois cozimentos realizados.

De um modo geral, o que se pode observar é que para os números de permanganato para as celulosas Kraft provenientes dos cozimentos sob as mesmas condições não existe diferença entre as idades consideradas neste estudo. Isto se deve ao fato que as mesmas condições de cozimento foram utilizadas para as três idades. Portanto o número KAPPA encontrado nos dois cozimentos é válido para polpas comerciais.

#### 4.5. Valores obtidos para Densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) das Folhas

Os valores da densidade das folhas para as idades consideradas (média de seis folhas) são mostradas no Quadro 15.

QUADRO 14. Números de permanganato (nº k) para polpas de *Pinus elliottii* com diferentes idades (média de 2 cozimentos).

IDADE	NÚMERO DE PERMANGANATO		
Anos	1º Coz.	2º Coz.	Δ
10	37.50	37.20	37.35
13	37.50	37.50	37.50
17	36.80	37.10	36.95

No Quadro 15 observa-se que a diferença entre as idades não é significativa. O esperado seria uma maior densidade de folha com o decréscimo da idade, pois a madeira de árvore mais jovem, apresenta um menor peso específico, bem como outras características anatômicas que aumentam a probabilidade de colapso das fibras e conseqüentemente uma maior compactação da folha de papel.

#### 4.6. Propriedades Físico-Mecânicas das Folhas

As propriedades físico-mecânicas das folhas para as idades são apresentadas nos Quadros (16,17 e 18). Foram testadas 6 folhas de papel para cada propriedade e grau de refinação.

##### 4.6.1. Comprimento de Auto-Ruptura

Para a comparação estatística do comprimento de auto-ruptura houve a necessidade da transformação dos dados em virtude do material ser oriundo de diferentes populações como identificado pelo teste de Bartlett. Para tanto utilizou-se uma transformação logarítmica, ou seja,  $\log_{10} X$ .

Para esta propriedade a análise de variância confirmou não existir diferenças significativas entre as idades. Por outro lado os graus de moagem e a interação idade e moagem são significantes ao nível de 1% de probabilidade (Vide Quadro 27 do Apêndice). O comprimento de auto-ruptura aumenta com o grau de moagem.

QUADRO 15. Densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) das folhas de papel para madeira de *Pinus elliottii* de diferentes idades (Valores médios para 24 folhas e 4 níveis de  $^{\circ}\text{SR}$ ).

IDADE	DENSIDADE ( $\text{g/cm}^3$ )	$\delta$
10	0.712	0.03
13	0.646	0.02
17	0.682	0.02

QUADRO 16. Propriedades das celuloses Kraft de *Pinus elliotii* com 10 anos, a diferentes graus de refinação.

Refinação (°SR)	Propriedades					
	Comprimento de auto-ruptura		Estouro (2)		Rasgo (3)	
	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$
20	6.5	0.00	89.95	2.90	168.05	1.06
25	6.95	0.07	94.90	0.42	158.65	1.20
30	7.20	0.57	97.25	1.34	150.25	0.92
40	7.90	0.00	98.95	0.78	145.40	9.05

(1) expressa em km

(2) expressa em psi/100g/m<sup>2</sup>

(3) expressa em g/100g/m<sup>2</sup>

QUADRO 17. Propriedades das celulosas Kraft de *Pinus elliottii* de 13 anos, com diferentes graus de refinação.

REFINAÇÃO (°SR)	Propriedades					
	Comprimento de auto-ruptura		Estouro (2)		Rasgo (3)	
	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$
20	6.35	0.07	87.85	0.49	178.80	6.22
25	7.00	0.00	97.35	4.88	161.45	18.31
30	7.20	0.00	98.30	0.28	151.60	6.36
40	7.40	0.14	103.60	5.66	151.95	0.64

(1) expressa em km

(2) expressa em psi/100g/m<sup>2</sup>

(3) expressa em g/100g/m<sup>2</sup>

QUADRO 18. Propriedades da celulose Kraft de *Pinus elliottii* com 17 anos com diferentes graus de refinação.

REFINAÇÃO (°SR)	Propriedades					
	Comprimento de auto-ruptura		Estouro (2)		Rasgo (3)	
	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$	$\bar{X}$	$\delta$
20	6.85	0.07	93.60	2.69	181.20	12.59
25	6.75	0.21	100.20	2.12	177.80	3.96
30	7.25	0.07	102.60	0.14	161.35	8.56
40	7.35	0.07	105.35	0.35	153.00	5.37

(1) expressa em km

(2) expressa em psi/100g/m<sup>2</sup>

(3) expressa em g/100g/m<sup>2</sup>

FOEKEL<sup>(15)</sup>, revisando a literatura sobre o comprimento da auto-ruptura e as características de madeira, cita que a auto-ruptura é correlacionada com a espessura da parede celular (-)\*\* , com o coeficiente de flexibilidade (+)\* , com a porcentagem de lenho tardio (-), com a densidade básica (-), com o diâmetro do lúmen (+) e com o fator RUNKEL(-).

Confirmando as proposições de FOEKEL<sup>(15)</sup> o grau de moagem parecem influenciar o comprimento de auto-ruptura. A medida que aumentamos o grau de moagem aumenta-se o comprimento de auto-ruptura para todas as idades como pode ser observado nos Quadros (14,15 e 16). Isto se deve ao fato de que o grau de refinação induz a fibrilação e uma maior hidratação das fibras, aumentando sua plasticidade e possibilitando um maior contacto inter-fibras e aumento do número de ligações por grupos OH. Observações neste sentido foram feitas por BYRD et al<sup>(8)</sup>.

#### 4.6.2. Estouro

As análises estatísticas mostraram para esta propriedade, existir diferenças altamente significativas, entre idades e entre graus de moagem ao nível de 99% de probabilidade. A interação idade e moagem não diferem significativamente (Vide Quadro 28 do Apêndice).

---

\* Correlacionado positivamente

\*\* Correlacionado negativamente

FOEKEL<sup>(15)</sup> revisando a literatura, cita também que as seguintes propriedades da madeira afetam a resistência ao estouro: espessura da parede celular (-)\*\*\*, comprimento da fibra (+)\*, densidade básica (-) teor de lenho outonal (-), diâmetro do lúmen (+), fator RUNKEL (-) e coeficiente de flexibilidade (+).

Observe-se que os dados obtidos neste experimento não confirmam as proposições de FOEKEL por exemplo, o coeficiente de flexibilidade diminui com a idade (Vide Quadro 12) enquanto que o estouro, observado neste estudo aumenta com a idade, e a correlação proposta por FOEKEL, é positiva. Por outro lado os resultados encontrados confirmam as proposições de Mc MILLIN<sup>(27)</sup> que cita aumentos à resistência ao estouro com o aumento do comprimento do traqueóide, que por sua vez cresce com a idade como mostrado neste estudo.

Observe-se no entanto que o grau de moagem também influencia nesta propriedade: a medida que aumentamos o grau de moagem aumenta-se o estouro, para diversas idades (Veja Quadro 16). Este resultado contraria os aspectos acima discutidos e está de acordo com as proposições de FOEKEL<sup>(15)</sup> com relação à correlação existente entre o coeficiente de flexibilidade (que aumenta com o  $O_{SR}$ ) e a resistência ao estouro. Este fato é provavelmente relacionado às modificações causadas pelo tratamento mecânico (moagem) modificando a estrutura original da fibra. Recomenda-se que novos estudos sejam conduzidos nesta área.

#### 4.6.3. Índice de Rasgo

Nesta propriedade as análises estatísticas confirmam

existir diferenças altamente significativas ao nível de 99% de probabilidade para as idades e graus de moagem. A interação idade e moagem não diferem significativamente (Vide Quadro 29 no Apêndice).

FOEKEL<sup>(15)</sup> revisando a literatura cita que as seguintes propriedades da madeira que afetam a resistência ao rasgo: densidade básica (+)\*, teor de lenho outonal (+)\*, espessura da parede celular (+)\*, fator RUNKEL (+)\*, comprimento de fibra (+), e diâmetro do lúmen (-)\*\*.

Observa-se neste experimento que os graus de moagem influem nesta propriedade, pois a medida que aumentamos o grau de moagem diminuimos a resistência ao rasgo, provavelmente devido à uma diminuição no comprimento original da fibra. Confirma-se também aqui as proposições de FOEKEL<sup>(15)</sup> anteriormente citadas.

#### 4.7. Correlações entre Características dos Traqueóides e Propriedades do Papel

Vários estudos tem sido feitos com diversas espécies visando estudar correlações entre características anatômicas de madeira e propriedades do papel (ARTUZ-SIEGEL et al<sup>(2)</sup> HATTON<sup>(20)</sup>, WANGAARD<sup>(44)</sup>). ARTUZ-SIEGEL et al<sup>(2)</sup>, em seu estudo com espécies das Filipinas acharam correlações altamente significantes, entre propriedades da polpa Kraft e a morfologia de fibras. HATTON<sup>(20)</sup> por sua vez comparou diversas equações lineares e não lineares para polpa Kraft usando madeiras leves e madeiras pesadas nos E.U.A.

Neste estudo testou-se as equações de *Pinus* sp propostas por WANGAARD, com o objetivo de predizer a densidade da

folha e o fator estouro do papel, comparando-se com os dados reais obtidos. As equações propostas por WANGAARD<sup>(51)</sup> são:

$$DF = 1.4878 - 2.2562 PE + 1.7089 (PE)^2 - 0.048L$$

(Equação 2)

onde:

DF = densidade da folha (g/cm<sup>3</sup>)

PE = peso específico da madeira (g/cm<sup>3</sup>)

L = comprimento do traqueóide (mm)

$$EST.: - 206,8 + 651,58 (DF) - 492,75 (DF)^2 + 28,04$$

(L x DF)

(Equação 3)

onde:

EST. = resistência ao estouro

DF = densidade da folha (g/cm<sup>3</sup>)

L = comprimento do traqueóide (mm)

Os dados estimados e os valores obtidos para densidade da folha e resistência ao estouro estão no Quadro 19.

Para as duas propriedades foram elaborados coeficientes por uma relação com dados estimados pela equação e dados obtidos na prática. Considera-se que para os coeficientes próximos ao valor 1,0, os valores estimados pela equação e os valores obtidos na prática são equivalentes.

De maneira geral, como pode ser observado, a densidade das folhas obtidas na prática é bastante próxima daquela obtida utilizando-se a equação proposta por WANGAARD. É interessante notar que para as três idades estudadas, a melhor aproximação é quase sempre obtida com graus °SR entre 25 e 30.

QUADRO 19. Dados estimados e valores reais obtidos para densidade da folha e resistência ao estouro para as diferentes idades.

IDADE	°SR	Densidade da Folha (g/cm <sup>3</sup> )			Estouro psi/100 g/m <sup>2</sup>		
		Teórico(*)	Prático(**)	T/P	Teórico(*)	Prático(**)	T/P
10	20		0.676	1.08		89.95	0.62
	25	0.728	0.700	1.04		94.90	0.59
	30		0.721	1.01	56.43	97.25	0.58
	40		0.750	0.97		98.95	0.57
13	20		0.625	1.10		87.85	0.65
	25	0.689	0.643	1.07		97.35	0.59
	30		0.658	1.04	57.51	98.30	0.58
	40		0.658	1.04		103.55	0.55
17	20		0.655	1.03		93.60	0.64
	25	0.679	0.674	1.00		100.20	0.60
	30		0.688	0.98	60.34	102.60	0.58
	40		0.709	0.95		105.35	0.57

(\*) Dados obtidos baseados na equação de WANGAARD

(\*\*) Dados obtidos na prática (P)

T/P Relação entre dados teóricos e práticos

É prudente, portanto, que a equação para predizer esta variável deve também incluir o grau de moagem, além da densidade da madeira e o comprimento da fibra já consideradas. Estudos futuros deverão considerar este aspecto. Para a resistência ao estouro os valores estimados para todas idades não apresentam boa correlação com aqueles valores obtidos na prática, e portanto a equação proposta não pode ser aplicada para predizer propriedades do papel da madeira de Pinus para os locais e idades de coleta do material desta pesquisa.

Devido à pequena diferença entre as idades do material utilizado neste estudo, e conseqüentemente pouca variação entre as propriedades e características analisadas, não considerou-se neste estudo o desenvolvimento de novas equações para predizer as propriedades do papel. Estudos para o desenvolvimento destas equações são altamente importantes, mas deverão considerar um delineamento que assegure uma ampla faixa de variação nas características da matéria prima, bem como um perfeito controle do processo de obtenção do papel.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo permitiu avaliar as características da madeira de *Pinus elliottii* com três diferentes idades (10,13 e 17 anos), bem como as propriedades do papel fabricado a par - tir deste material.

Quanto às propriedades da madeira pode-se concluir:

a - Como esperado, a densidade decresce da base para o ápice da árvore para as três idades estudadas, e a idade tem influência na densidade básica média das árvores.

b - A diminuição da densidade básica da base para o topo parece ser principalmente relacionado à porcentagem de lenho outonal, que diminui significativamente nesta direção. O mesmo foi observado para a idade, uma menor idade implica em uma menor porcentagem de lenho outonal e conseqüentemente uma menor densidade básica.

c - As variações no comprimento, diâmetro, diâmetro do lúmen e espessura da parede do traqueóide apresentam tendência similar a estudos conduzidos por outros autores. Em geral observou-se que o comprimento do traqueóide e espessura da parede aumenta na direção medula-casca.

d - Para o fator RUNKEL, aumentou com a idade enquanto o coeficiente de flexibilidade diminuiu com a mesma. Por outro lado o índice de enfeitramento e o coeficiente de ri- gidez não apresentam uma tendência definida.

e - A falta de dados quanto ao histórico do povoamento bem como o delineamento adotado fez com que alguns aspectos presentes de maneira consistente em várias propriedades analisadas, não pudessem ser melhor avaliadas.

Quanto ao papel fabricado e para suas propriedades concluiu-se que:

a - O rendimento não apresenta grandes diferenças para a madeira de *Pinus elliottii*, considerando-se as três idades diferentes, sendo baixo e com altos teores de rejeito. O número KAPPA observado para este estudo é o normalmente encontrado para polpas comerciais, dentro das condições de cozimento utilizadas neste estudo.

b - O comprimento de auto-ruptura foi afetado pelo grau de moagem e pela interação entre idade e grau de moagem. Um maior grau de moagem resultou em uma maior resistência ao arrebentamento. A idade como um fator isolado não apresentou diferenças. A moagem neste caso aumentou a plasticidade da fibra, com uma maior hidratação o que possibilitou um maior contato inter-fibras.

c - Para o estouro observou-se diferenças entre idades e graus de moagem. A resistência ao arrebentamento aumentou com a idade e com o grau de moagem. Isto em virtude do comprimento do traqueóide aumentar com a idade, e no grau de moagem haver uma maior compactação das fibras dando uma maior resistência nesta propriedade quando testado o papel.

d - A resistência ao rasgo aumentou com a idade da árvore mas diminuiu com o aumento do grau de moagem. A razão deste fato de haver uma diminuição no comprimento original da fibra. A interação entre idades e grau de moagem também neste caso não apresentou diferenças nesta propriedade.

e - As correlações esperadas entre as característi-

cas da madeira e do papel mencionada em estudos anteriores , não foram encontradas para algumas propriedades, como é o caso índice de arrebentamento. Vários fatores poderiam estar afetando os resultados, no entanto maiores estudos são necessários para esclarecer alguns aspectos levantados.

f - A utilização de equações correlacionando as propriedades da madeira com as do papel desenvolvidas por outros pesquisadores, não apresentou bons resultados quanto a resistência ao estouro, não sendo recomendado portanto a extrapolação de resultados obtidos em outros países. Bom ajuste foi encontrado para densidade das folhas.

Existe um considerável número de investigações sobre características da madeira, apresentando resultados contraditórios e confusos. O autor deste trabalho recomenda que em trabalhos futuros certos parâmetros tais como latitude, altitude, espaçamento, precipitação média anual, hereditariedade das árvores e especialmente o histórico do povoamento devem ser incluídos, proporcionando desta maneira maiores subsídios para a avaliação dos resultados.

Outro aspecto importante a ser considerado é que em estudos similares no futuro, o delineamento experimental seja dirigido de maneira a minimizar a variabilidade da madeira utilizada dentro de cada um dos tratamentos para que as diferenças observadas entre o papel produzido pelos diferentes tratamentos sejam mais evidentes. Neste caso, o ideal seria considerar na fabricação do papel separadamente vários tipos de madeira, posições na árvore, etc.

Recomenda-se também que novos estudos sejam dirigidos no sentido específico de desenvolver equações de regres

são aplicável às condições brasileiras, considerando as principais espécies, diferentes idades, localização e outras variáveis biológicas, bem como a inclusão de condições de cozimento mais adequadas para a matéria-prima utilizada.

## 6. RESUMO

Este estudo foi conduzido para avaliar as propriedades da madeira e características do papel produzido de *Pinus elliottii*, com três idades (10, 13 e 17 anos) provenientes de plantios localizados em Itararé e Itapeva, Estado de São Paulo.

De cada idade foram coletadas 5 árvores, tomadas ao acaso, tendo sido determinada a densidade básica, porcentagem de lenho outonal e características morfológicas dos traqueóides em diversas posições do tronco.

A densidade básica e a porcentagem de lenho outonal de cresceram na direção base-topo. O comprimento dos traqueóides cresceram na direção base-topo e medula-casca. O diâmetro médio dos traqueóides e o diâmetro médio do lúmen cresceram com a idade da árvore, sendo que este último aumentou na direção base-topo. Nenhuma diferença significativa foi observada entre idades e entre posições no tronco na espessura da parede celular.

Das polpas obtidas através do processo Kraft, fabricou-se papel que apresentou boa resistência para as propriedades de comprimento de auto-ruptura, estouro e rasgo. O comprimento de auto-ruptura aumentou com o grau de moagem, mas não foi afetado pela idade da árvore. O estouro cresceu tanto com a idade da árvore como com o grau de moagem. A resistência ao rasgo aumentou com a idade, no entanto apresentou correlação negativa com o grau de moagem.

Como fase complementar foi ainda analisada a adaptabilidade das equações de correlação entre as propriedades da

madeira e do papel, desenvolvidas por outros autores. Foi observado um bom ajuste para o cálculo da densidade da folha , mas a adaptabilidade da equação para estimar a resistência do papel a estouro, baseando-se nas propriedades da madeira, foi baixa. Recomenda-se que novos estudos sejam conduzidos visando melhor correlacionar as características da madeira e as propriedades do papel.

## SUMMARY

This study was carried out to evaluate the wood characteristics and the properties of the pulp and paper produced of *Pinus elliottii* wood from fast grown plantation located at Itararé and Itapeva, São Paulo State, with 10, 13 and 17 year of age.

From each age eas collected 5 trees and it was determined the basic density, percentage of late wood and fiber dimensions of different portions of the stem.

Basic density and percentage of late wood decreased in the direction base-top of the tree. The fiber length increased in the direction pith-bark and also with the height. The fiber diameter and lumen diameter was higher in older trees. The lumen diameter was found to increase in the direction base-top of the tree. No significant difference was found in the cell wall thicknesses between the ages studied and the position in the stem.

The paper produced (Kraft process), showed as a general tend good strength. The breaking length increased with beating time but was not affected by the age of the tree. The burst factor increased with the beating time and tree age. The tear factor increased with the age of the tree, but decreased with the beating time.

A complementary study was carried out to evaluate the adaptability of equations developed by other authors, correlating wood characteristics with paper properties. It can

observed a good adaptability when estimating the sheet density, but this did not happens when estimating the burst factor. It is recommend that new research should be conducted in this area to obtain new equations to better estimate the paper properties based on wood characteristics.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHMAD, S.S. Variation in tracheid dimension within a single stem of fir (*Abies pindrow* Spach) Pakistan J.For., 10 (1): 89 - 109, 1970.
2. ARTUZ-SIEGEL, E.A.; WANGAARD, F.F. & TAMOLANG, F.N. Relation ship between fiber characteristics and pulp-sheet properties of Phillipine hardwoods. TAPPI, 51 (6): 261-267, 1968.
3. BAKER, G. & SHOTTAFFER, J. The effect of tree spacing in a red pine plantation on tree growth and wood quality. Part II - Wood quality. Bull. The Life Sci. Agric. Exp. Sta., 685, 1970. 38 p.
4. BARRICHELO, L.E.G. & BRITO, J.O. A madeira das espécies Eucalipto como matéria prima para a indústria de celulose e papel. Brasília, PRODEPEF, 1976. 145 p. (PNUD/FAO/IBDF/BRA - 45).
5. BUIJTENEN, V.S.P.; EINSPAHR, D.W. & PECKHAM, J.R. Micro-pulping lobloly pine grafis selected for extreme wood specific gravity. Silvae Genetica, 17: 15 - 19, 1968.
6. BURLEY, J. Tracheid length variation in single tree of *Pinus khesiya* Royle ex Gordon. Wood. Sci. Technol. 3: 109 - 116, 1969.

7. BURLEY, J. Variation in wood properties of *Pinus khasiya* Royle ex Gordon (syn *P. khasiya*, *P. insularis* Endlicher), eighteen trees of Burma provenance grown in Zambia Wood.Sci. Technol. 4: 225 - 266, 1970.
8. BYRD, V.L.; ELWOOD, E.L.; HITCHINGS, R.G. & BAREFOOT, A.C. Wood characteristics and kraft properties of four selected loblolly pine - Part II. Wood chemical constituents and their relationship to fiber morphology. For. Pro. J., 15 (8): 313 - 380, 1965.
9. COWN, D.J. Effects of severe thinning and pruning treatment on the intrinsic wood properties of young Radiata pine N.Z.J. For.Sci. 3 (3): 379 - 389, 1973.
10. DADSWELL, H.E. Tree growth characteristics and their influence on wood structure and properties. Australia Division of Forest Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 1957. 42 p.
11. DINWOODIE, J.M. Tracheid and fiber length in timber. A review of literature. Forestry J.Soc.For. Great Britain. 36 (2): 125 - 144, 1961.
12. DUFFIELD, J.W. Genetic improvement of wood quality. For. Prod. J. 11 (5): 211 - 213, 1961.
13. EINSPAHR, D.W.; BUIJTENEN, V.J.P. & PECKHAM, J.R. Pulping characteristics of ten year loblolly pine selected for extreme wood specific gravity. Silvae Genetica, 18 (3): 57 - 61, 1969.

14. ERICKSON, H.D. & HARRISON, A.T. Douglas-fir wood quality studies Part I - Effects of age and stimulate growth on wood density and anatomy. Wood Sei Technol 8: 225-265, 1974.
15. FOEKEL, C.E.B. Celulose kraft de *Pinus* spp. O papel 37 (1): 49 - 67, 1976.
16. GAGNON, J.D. & HUNT, K. Kraft pulping and specific gravity in the uppermost stem of fertilizer. Balsam fir. Can. J. For. Res. 5 (3): 399 - 402, 1975.
17. GILMORE, H.R. Geographic variation in specific gravity of white pine and red pine in Illinois. For. Prod. J. 18 (11): 49 - 51, 1968.
18. GLADSTONE, W.T.; BAREFOOT, A.C. & ZOBEL, B.J. Kraft pulping of earlywood and latewood from loblolly pine. For. Prod. J. 20 (2): 17 - 24, 1970.
19. GONIN, C.R. & TAYLOR, F.W. Physical and chemical requirements of pulpwood properties of *E. grandis* influencing pulp quality. In - IUFRO, 5., Pretoria, 1973 Proceedings Capetown, S.D. v. 2.; 347 - 374 p.
20. HATTON, J.V. Kraft pulping equations: comparison of linear with nonlinear forms. TAPPI 59 (12): 132 - 134, 1976.
21. HORN, R.A. Morphology of wood pulp fiber from softwoods and influence on paper strength. Washington U.S.D.A. Forest Service, 1974. 11 p. (Research Paper, 242).
22. JACKSON, L.W.R. & MORSE, W.E. Tracheid length variation in single rings of, loblolly, slash and shortleaf pine J. For. 63: 110 - 112, 1965.

23. KLEPPE, P. The process of and products from kraft pulping of Southern pine. For.Prod. J. 20 (5): 38, 1970.
24. LARSON, P.R. Wood formation and the concept of wood quality Bull New York, Yale University. 79, 1969. 54 p.
25. LEDIG, F.T.; ZOBEL, B.J. & MATTHIAS, M.F. Geoclimatics in Specific gravity and Tracheid length in wood of Pitch pine. Can. J. For. Res. 5 (2): 318 - 329, 1975.
26. LENHARDT, J.D.; SHINN, K.H. & CUTTER, B.E. Specific gravity at various positions along stem of planted loblolly pine trees. For.Prod.J. 27 (9): 43 - 44, 1977.
27. McMILLIN, C.W. Aspects of fiber morphology affecting properties of handsheets made from loblolly pine refiner groundwood. Wood Sci.Technol. 3: 139 - 149, 1969.
28. MELO, C. Influência da Estrutura da madeira na fabricação de celulose e papel. Curitiba, U.F.Pr. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 1978 (Não publicado).
29. MORESCHI, J.C. Levantamento da qualidade da madeira em plantações artificiais de *Pinus elliottii* nos estados do sul do Brasil. Curitiba, 1971. 162 f. Tese Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curso de Engenharia Florestal.
30. NICHOLLS, J.W.P. The effect of environmental factors on wood characteristics 2- The effect of thinning and fertilizer treatment on the wood of *Pinus pinaster*. Silvae Genetica, 20 (1): 67 - 73, 1971.

31. NICHOLLS, J.W.P. Selecting Portuguese *Pinus pinaster* from tree improvement in Australia. Part II wood quality assesment J.Inst. Wood Sci. 5 (26): 33 - 41, 1970.
32. \_\_\_\_\_. & BROWN, A.G. The relationship between ring width and wood characteristics in double-stemed trees of Radiata pine New Z. J. For.Sci. 4 (1): 105 - 111, 1974.
33. \_\_\_\_\_. & WARING, H.D. The effect of environmental factors on wood characteristics IV Irrigation and partial drowghting of *Pinus radiata* Silvae Genetica 26 (2-3): 107 - 111, 1977.
34. ORSLER, R.J.; NEWMAN, P.L. & LAIDLAW, R.A. Pulping of Britishgrown softwoods. Part VIII-A study of juvenil mature and topwood in a large Scoth pine. Holzfor-  
schung 26: 173 - 180, 1972, ...
35. RANATUNGA, M.S. A study of fiber of *Eucalyptus grandis* grown in Ceylon. Ceylon For. 6 (3 - 4): 101 - 112, 1964.
36. RUDMAN, P. & MCKINELL, F.H. Effects of fertilizer on wood density of young Radiata pine. Aust. For. 34 (3): 170 - 178, 1970.
37. SAUCIER, J.R. & HAMILTON, J.R. Within-tree variation of five dimension of green ash. G.For. Res. Pap. 45 6 p. 1967.

38. SETH, M.K. & JAIN, K.K. Relationship between percentage of compression wood on tracheid length in Blue pine (*Pinus wallichiana* A.B. Jackson) Holzforschung 31 (3): 80 - 83, 1977.
39. SMITH, D.M. Wood quality of loblolly pine after thinning U.S. For.Serv.Res.Pap. FPL - 89, 1968. 12 p.
40. SPURR, S.H. & HSING, W. Growth rate and specific gravity in conifers J.For. 52 (3): 191 - 200, 1954.
41. SUTTON, W.R.J. & HARRIS, J.M. Effect of heavy thinning on wood density in Radiata pine N.Z.J.For.Sci. 4 (1): 112 - 115, 1974.
42. UPRICHARD, J.M. Cellulose and lignin content in *Pinus radiata* D. Don within tree variation in chemical composition density and tracheid length. Holzforschung, 25 (4): 28 - 31, 1975.
43. VOORHIES, G. & JAMESON, D.A. Fiber length in Southern young - growth Ponderosa pine. For. Prod. J. 19 (6): 45 - 46, 1969.
44. WANGAARD, F.F. Fibre characteristics in relation to paper properties In- IUFRO, 5., Pretoria, 1973 Proceedings Capetown, S.D. v. 2., 347 - 374 p.
45. \_\_\_\_\_. & WOODSON, G. Fiber length - Fiber strength interrelationship for slash pine and its effect on pulps - sheet properties. Wood Sci. 5 (3) 235 - 240, 1973.

46. WARDROP, A.B. Fiber morphology and paper making. TAPPI,  
53 (3): 396 - 408, 1969.
47. WELWOOD, R.W. & JURAZS, P.E. Variation in sapwood  
thickness specific gravity and tracheid length in  
Western Red. Cedar. For.Prod.J. 18 (12): 37 - 46,  
1968.
48. WHITE, J.F. & SAUCIER, J.R. Direct print copying of wood  
samples For.Prod. J. 16 (6): 24, 1966.
49. YAO, J. Influence of grown rate on specific gravity and  
other selected properties fo Loblolly pine. Wood Sci.  
Technol. 4: 163 - 175, 1970.
50. ZOBEL, B.; JETT, J.B. & HUTTO, R. Improving wood density  
of short-rotation southern pine. TAPPI 61 (3): 41 - 44,  
1978.

A P Ê N D I C E

QUADRO 1. ANOVA simples da variação do comprimento do traqueóide no sentido medula-casca para idade de 10 anos.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento	2	3.6447 E + 06	1.8219 E + 06	61.49**
Erro	12	355542.4000	29628.5333	
Total	14	3.9993 E + 06		

(\*\*) significante a 99% de probabilidade

QUADRO 2. ANOVA simples da variação do comprimento do traqueóide no sentido medula-casca para idade de 13 anos.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento	3	3.4981 E + 06	1.1660 E + 06	23.76**
Erro	16	784982.4000	49061.400	
Total	19	4.2831 E + 06		

(\*\*) significante a 99% de probabilidade

QUADRO 3. ANOVA simples da variação do comprimento do traqueóide no sentido medula-casca para idade de 17 anos.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento	4	4.5204 E + 06	1.1301 E + 06	11.12**
Erro	20	2.0325 E + 06	101623.4000	
Total	24	6.5528 E + 06		

(\*\*) significante a 99% de probabilidade

QUADRO 4. ANOVA simples da variação do diâmetro do traqueóide no sentido medula-casca para idade de 10 anos.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento	2	36.2996	18.1498	0.9315 n.s.
Erro	12	233.8087	19.4841	
Total	14	270.1083		

n.s. não significante

QUADRO 5. ANOVA simples da variação do diâmetro do traqueóide no sentido medula-casca para idade de 13 anos.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento	3	20.8265	6.9422	0.7506 n.s.
Erro	16	147.9739	9.2484	
Total	19	168.8004		

n.s. não significante

QUADRO 6. ANOVA simples da variação do diâmetro do traqueóide no sentido medula-casca para idade de 17 anos.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento	4	173.8127	18.7542	3.79*
Erro	20	98.7959	4.9398	
Total	24	173.8127		

(\*) significante a 95% de probabilidade

QUADRO 7. ANOVA simples da variação do diâmetro do lúmen do traqueóide no sentido medula-casca para idade de 10 anos.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento	2	15.2601	7.6300	0.37 n.s.
Erro	12	244.8296	20.4025	
Total	14	260.0897		

n.s. não significante

QUADRO 8. ANOVA simples da variação do diâmetro do lúmen do traqueóide no sentido medula-casca para idade de 13 anos.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento	3	60.8519	20.2840	1.14 n.s.
Erro	16	282.718	17.6699	
Total	19	343.5700		

n.s. não significante

QUADRO 9. ANOVA simples da variação do diâmetro do lúmen do traqueóide no sentido medula-casca para idade de 17 anos.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento	4	103.2305	25.8076	3.07*
Erro	20	167.7172	8.3859	
Total	24	270.9477		

(\*) significante a 95% de probabilidade

QUADRO 10. ANOVA simples da variação da espessura da parede do traqueóide no sentido medula-casca para idade de 10 anos.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento	2	2.8526	1.4263	4.13*
Erro	12	4.1384	0.3449	
Total	14	6.9910		

(\*) significante a 95% de probabilidade

QUADRO 11. ANOVA simples da variação da espessura da parede do traqueóide no sentido medula-casca para idade de 13 anos.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento	3	20.6669	6.8890	4.29*
Erro	16	25.6427	1.6027	
Total	19	46.3096		

(\*) significante a 95% de probabilidade

QUADRO 12. ANOVA simples da variação da espessura da parede do traqueóide no sentido medula-casca para idade de 17 anos.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamento	4	19.8785	4.9696	3.47*
Erro	20	28.6057	1.4303	
Total	24	48.4842		

(\*) significante a 95% de probabilidade.

QUADRO 13. Teste TUKEY de comprimento de traqueóide para idade de 10 anos.

$$P = 3$$

$$n_2 = 12$$

$$sx = 31.45$$

$$W_{0.05} (3.12) = 3.77$$

$$W = 3.77 \times 31.45 = 118.56$$

Anéis de crescimento:	$a_8$	$a_5$	$a_2$
Média	: 2656	2135	1452

QUADRO 14. Teste TUKEY do comprimento do traqueóide para idade de 13 anos.

$$P = 4$$

$$n_2 = 16$$

$$sx = 110.74$$

$$W_{0.05} (4.16) = 4.05$$

$$W = 4.05 \times 110.74 = 447.40$$

Anéis de crescimento:	$a_8$	$a_{11}$	$a_5$	$a_2$
Média	: <u>2803</u>	<u>2685</u>	<u>2451</u>	1726

QUADRO 15. Teste TUKEY do comprimento do traqueóide para idade de 17 anos.

$$P = 5$$

$$n_2 = 20$$

$$sn = 142.56$$

$$W_{0.05} = (5.20) = 4.23$$

$$W = 4.23 \times 142.56 = 603.02$$

Anéis de crescimento:	$a_8$	$a_{14}$	$a_{11}$	$a_5$	$a_2$
Média	: <u>2972</u>	<u>2656</u>	<u>2468</u>	<u>2442</u>	1655

QUADRO 16. Teste TUKEY do diâmetro do traqueóide para idade de 17 anos.

$$P = 5$$

$$n_2 = 20$$

$$sx = 0.0039$$

$$W_{0.05} = (5.20) = 4.23$$

$$W = 4.23 \times 0.0039 = 4.2041$$

Anéis de crescimento:	$a_8$	$a_5$	$a_{14}$	$a_{11}$	$a_2$
Média	: <u>48,50</u>	<u>47,07</u>	<u>46,10</u>	<u>44,33</u>	43,80



QUADRO 19. Teste TUKEY da espessura do traqueóide para idade de 13 anos.

$$P = 4$$

$$n_2 = 16$$

$$sx = 0.5661$$

$$W_{0.05} = (4.16) = 4.05$$

$$W = 4.05 \times 0.5661 = 2.2930$$

Anéis de crescimento:	$a_{11}$	$a_8$	$a_5$	$a_2$
Média	: <u>7,55</u>	<u>7,42</u>	<u>6,54</u>	5,00

QUADRO 20. Teste TUKEY da espessura da parede do traqueóide para idade de 17 anos.

$$P = 5$$

$$n_2 = 20$$

$$sx = 0.5348$$

$$W_{0.05} = (5.20) = 4.23$$

$$W = 4.23 \times 0.5348 = 2.2622$$

Anéis de crescimento:	$a_{14}$	$a_{11}$	$a_5$	$a_8$	$a_2$
Média	: <u>7,75</u>	<u>6,92</u>	<u>6,60</u>	<u>6,22</u>	5,04

QUADRO 21. ANOVA da densidade básica em função das idades posição e interação posição-idade.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Posição	2	0.02224	0.01112	23.26**
Idade	2	0.01818	0.00909	19.01**
Posição-Idade	4	0.00158	0.00039	0.82 n.s.
Erro	36	0.01720	0.00048	
Total	44	0.5920		

(\*\*) significativa a 99% de probabilidade

n.s. não significativa

QUADRO 22. ANOVA da porcentagem de lenho outonal das idades, posições e interação posição-idade.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Posição	2	5122.61136	2561.30568	313.16**
Idade	2	168.75426	84.37713	10.31**
Posição-Idade	4	115.26782	28.81696	3.52*
Erro	36	294.44040	8.17890	
Total	44	5701.07384		

(\*\*) significativa a 99% de probabilidade

(\*) significativa a 95% de probabilidade

QUADRO 23. ANOVA do comprimento do traqueóide em função das idades, posições e interação posição-idade.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Posição	2	2216013.64500	1108006.82250	13.16**
Idade	2	121723.9100	60861.95500	0.72 n.s.
Posição-idade	4	359251.55700	89812.88925	1.06 n.s.
Erro	36	3028844.8000	84134.57778	
TOTAL	44	5725833.91200		

(\*\*) significante a 99% de probabilidade

n.s. não significante

QUADRO 24. ANOVA do diâmetro do traqueóide em função das idades, posições e interação posição-idade.

F.V.	G.L.	S.Q.	A.M.	F
Posição	2	0.01858	0.00929	6.12**
Idade	2	0.01264	0.00632	4.16*
Posição-idade	4	0.00293	0.00073	0.48 n.s.
Erro	36	0.05462	0.00152	
Total	44	0.08877		

(\*\*) significante a 99% de probabilidade

(\*) significante a 95% de probabilidade

n.s. não significante

QUADRO 25. ANOVA do diâmetro do lúmen do traqueóide em função das idades, posições e interação posição-idade.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Posição	2	0.03822	0.01911	6.52**
Idade	2	0.02936	0.01468	5.01**
Posição-idade	4	0.02915	0.00729	2.48**
Erro	36	0.10538	0.00293	
Total	44	0.20211		

(\*\*) significante a 99% de probabilidade

QUADRO 26. ANOVA da espessura da parede do traqueóide em função das posições, idades e interação posição-idade.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Posição	2	0.00752	0.00376	0.61 n.s.
Idade	2	0.00635	0.00317	0.52 n.s.
Posição-idade	4	0.00654	0.00164	0.26 n.s.
Erro	36	0.21971	0.00610	
Total	44	0.24013		

n.s. não significante

QUADRO 27. ANOVA da auto-ruptura do papel em função da idade graus de refinação e interação idade-graus de moagem.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Idade	2	0.00458	0.00229	2.28 n.s.
Grau moagem	3	0.14923	0.04974	49.61 **
Idade-grau moagem	6	0.02605	0.00434	4.33 **
Erro	276	0.27672	0.00100	
Total	287	0.45658		

(\*\*) significante a 99% de probabilidade

n.s. não significante

QUADRO 28. ANOVA do estouro do papel em função da idade, graus de refinação e interação idade-graus de moagem.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Idade	2	701.48818	350.74409	9.87 **
Grau de moagem	3	2857.97479	952.65826	26.81 **
Idade-grau moagem	6	145.56608	24.26101	0.68 n.s.
Erro	132	4689.23795	35.52453	
Total	143	8394.26700		

(\*\*) significante a 99% de probabilidade

n.s. não significante

QUADRO 29. ANOVA do índice rasgo do papel em função da idade, graus de refinação e da interação idade-graus de refinação.

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Idade	2	2621.49301	1310.74651	13.92 **
Graus moagem	3	9859.86356	3286.62119	34.91 **
Idade-grau moagem	6	730.04610	121.67437	1.29 n.s.
Erro	84	7906.81371	94.12873	
Total	95	21118.21647		

(\*\*) significante a 99% de probabilidade

n.s. não significante