

MARIANA HASSEGAWA

**QUALIDADE DA MADEIRA DE *Pinus taeda* L. DE
PROCEDÊNCIA DA ÁFRICA DO SUL**

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Florestal, Curso de Pós-graduação em
Engenharia Florestal, Setor de Ciências
Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Umberto Klock

CURITIBA

2003

À minha família.
Aos verdadeiros amigos.
À sociedade brasileira.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade concedida para a execução dessa dissertação.

Ao professor Dr. Umberto Klock, pela orientação, ensinamentos e estímulo.

Aos professores Dra. Graciela Inês Bolzón de Muñiz e Dr. Dimas Agostinho da Silva, meus co-orientadores, pela sugestões e contribuições.

Ao professor Dr. Henrique Koehler, pelos ensinamentos em estatística.

À empresa Klabin S.A., pelo material cedido à pesquisa.

À servidora técnico-administrativa Dionéia Calixto de Souza, do Laboratório de Polpa e Papel, pelo apoio e incentivo.

Ao acadêmico de Engenharia Florestal Ezequiel Z. Mocelin e aos acadêmicos de Engenharia Industrial Madeireira Alan Sulato de Andrade, Cristiane Crepaldi, Gisele Sayuri Arita, Márcia Regina Quaquarelli e Paulo Veronese, pela coleta do material e pelo auxílio nas práticas de laboratório.

Aos amigos e colegas de mestrado Eduardo Bittencourt, Gilson Martins, Álvaro Boson de Castro Faria e Gina Voss pelo valoroso auxílio, incentivo e amizade.

Aos bolsistas e estagiários dos Laboratórios de Polpa e Papel e Anatomia da Madeira, da Universidade Federal do Paraná.

À Sra. Tânia Baggio, bibliotecária-chefe do Centro de Ciências Florestais e da Madeira, pela assistência prestada durante a pesquisa.

A todos os professores do curso de pós-graduação em Engenharia Florestal e aos funcionários desta Universidade.

À minha família, pelo estímulo e apoio constante.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	2
3 JUSTIFICATIVA.....	3
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A ESPÉCIE.....	4
4.2 ASPECTOS ANATÔMICOS DA MADEIRA DE CONÍFERAS.....	5
4.2.1 Traqueóides axiais.....	8
4.2.2 Raios.....	14
4.3 MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA.....	16
4.3.1 Fatores que influenciam na massa específica.....	17
4.4 PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO.....	19
4.5 PRODUÇÃO DE CELULOSE.....	21
4.5.1 Matéria-prima vegetal.....	22
4.5.2 Licor de cozimento.....	23
4.5.3 Relação licor-madeira.....	24
4.5.4 Tempo e temperatura de cozimento.....	25
4.5.5 Fator H.....	25
4.6 PROPRIEDADES DO PAPEL E ENSAIOS.....	26
4.6.1 Propriedades físicas do papel.....	27
4.6.2 Propriedades mecânicas do papel.....	28
4.6.2.1 Resistência à tração.....	28
4.6.2.2 Resistência ao arrebentamento.....	29
4.6.2.3 Resistência ao rasgo.....	30
4.6.2.4 Permeância do ar.....	31
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
5.1 MATERIAL.....	33
5.2 DESCRIÇÃO ANATÔMICA.....	36

5.3	CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA.....	37
5.3.1	Relações entre as dimensões dos traqueóides axiais.....	38
5.4	DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA.....	40
5.5	DETERMINAÇÃO DA PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO.....	41
5.6	OBTENÇÃO DA CELULOSE <i>KRAFT</i> E PRODUÇÃO DO PAPEL.....	41
5.6.1	Ensaio físicos e mecânicos do papel	43
5.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	44
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
6.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ÁRVORES AMOSTRADAS.....	45
6.2	CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DA MADEIRA.....	47
6.2.1	Descrição das características microscópicas da madeira.....	47
6.2.2	Características morfológicas dos traqueóides axiais.....	48
6.2.2.1	Comprimento dos traqueóides.....	49
6.2.2.2	Diâmetro interno e externo e espessura da parede dos traqueóides	52
6.2.2.3	Relações entre as dimensões dos traqueóides.....	58
6.3	PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO.....	65
6.4	MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA.....	67
6.4.1	Correlações entre massa específica básica e características morfológicas dos traqueóides.....	68
6.4.2	Correlação entre massa específica básica e porcentagem de lenho tardio.....	70
6.5	PROPRIEDADES DA CELULOSE E DO PAPEL.....	71
6.5.1	Rendimento de celulose e número <i>kappa</i>	71
6.5.2	Propriedades físicas e mecânicas do papel.....	73
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	80
	ANEXO 1.....	84
	ANEXO 2.....	101
	REFERÊNCIAS.....	104

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – DISTRIBUIÇÃO DO COMPRIMENTO DOS TRAQUEÓIDES (EM μM) DE <i>PINUS TAEDA</i> AO LONGO DO FUSTE.....	11
FIGURA 2 – CURVAS DE TEMPERATURA E VELOCIDADE RELATIVA DE REAÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE COZIMENTO.....	26
FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA REGIÃO DE COLETA DO MATERIAL.....	33
FIGURA 4 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA FAZENDA RIO ANTINHA (084), MUNICÍPIO DE ALFREDO WAGNER, ESTADO DE SANTA CATARINA.....	34
FIGURA 5 – ESQUEMA DE COLETA DOS DISCOS AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES.....	35
FIGURA 6 – DIMENSÕES MENSURADAS DO TRAQUEÓIDE.....	38
GRÁFICO 1 – VOLUMES MÉDIOS SEM CASCA DAS ÁRVORES POR CLASSE DIAMÉTRICA.....	45
GRÁFICO 2 – DISTRIBUIÇÃO DA PORCENTAGEM MÉDIA DE CASCA EM VOLUME DAS ÁRVORES DAS TRÊS CLASSES DIAMÉTRICAS AO LONGO DO FUSTE.....	46
GRÁFICO 3 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE COMPRIMENTO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO INICIAL (EM μM) NO SENTIDO MEDULA-CASCA POR CLASSE DIAMÉTRICA.....	50
GRÁFICO 4 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE COMPRIMENTO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO (EM μM) NO SENTIDO MEDULA-CASCA POR CLASSE DIAMÉTRICA.....	50
GRÁFICO 5 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO EXTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO INICIAL NO SENTIDO MEDULA-CASCA POR CLASSE DIAMÉTRICA (EM μM).....	52
GRÁFICO 6 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO EXTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO NO SENTIDO MEDULA-CASCA POR CLASSE DIAMÉTRICA (EM μM).....	53
GRÁFICO 7 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO INTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO INICIAL NO SENTIDO MEDULA-CASCA POR CLASSE DIAMÉTRICA (EM μM).....	53
GRÁFICO 8 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO INTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO NO SENTIDO MEDULA-CASCA POR CLASSE DIAMÉTRICA (EM μM).....	54
GRÁFICO 9 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ESPESSURA DA PAREDE DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO INICIAL NO SENTIDO MEDULA-CASCA POR CLASSE DIAMÉTRICA (EM μM).....	56
GRÁFICO 10 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ESPESSURA DA PAREDE DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO NO SENTIDO MEDULA-CASCA POR CLASSE DIAMÉTRICA (EM μM).....	56

FIGURA 7 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE ENFELTRAMENTO, NO SENTIDO MEDULA-CASCA, POR CLASSE DIAMÉTRICA.....	59
FIGURA 8 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE COEFICIENTE DE FLEXIBILIDADE, NO SENTIDO MEDULA-CASCA, POR CLASSE DIAMÉTRICA.....	60
FIGURA 9 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE FRAÇÃO PAREDE, NO SENTIDO MEDULA-CASCA, POR CLASSE DIAMÉTRICA.....	61
FIGURA 10 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE RELAÇÃO C/E, NO SENTIDO MEDULA-CASCA, POR CLASSE DIAMÉTRICA.....	63
FIGURA 11 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE RUNKEL, NO SENTIDO MEDULA-CASCA, POR CLASSE DIAMÉTRICA.....	64
GRÁFICO 11 – DISTRIBUIÇÃO DA PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO NOS 10 PRIMEIROS ANÉIS AO LONGO DO FUSTE PARA AS TRÊS CLASSES DIAMÉTRICAS.....	65
GRÁFICO 12 - DISTRIBUIÇÃO DA PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO TOTAL AO LONGO DO FUSTE PARA AS TRÊS CLASSES DIAMÉTRICAS.....	66
GRÁFICO 13 - DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA AO LONGO DO FUSTE PARA CADA CLASSE DIAMÉTRICA.....	67
FIGURA 12 – TENDÊNCIA DE DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE RENDIMENTO DE CELULOSE POR CLASSE DIAMÉTRICA E POR AMOSTRA.....	72
FIGURA 13 – TENDÊNCIA DE DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DOS PAPÉIS, POR CLASSE DIAMÉTRICA E POR AMOSTRA.....	75
FIGURA 14 – TENDÊNCIA DE DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE ESTICAMENTO DOS PAPÉIS, POR CLASSE DIAMÉTRICA E POR AMOSTRA.....	76
FIGURA 15 – TENDÊNCIA DE DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE RESISTÊNCIA AO ESTOURO DOS PAPÉIS, POR CLASSE DIAMÉTRICA E POR AMOSTRA.....	77
FIGURA 16 – TENDÊNCIA DE DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE RESISTÊNCIA AO RASGO DOS PAPÉIS, POR CLASSE DIAMÉTRICA E POR AMOSTRA.....	78
FIGURA 17 – TENDÊNCIA DE DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE PERMEÂNCIA DO AR DOS PAPÉIS, POR CLASSE DIAMÉTRICA E POR AMOSTRA.....	79

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COMPOSIÇÃO VOLUMÉTRICA DA MADEIRA DE ALGUMAS ESPÉCIES DE CONÍFERAS (EM PORCENTAGEM).....	8
TABELA 2 – DIMENSÃO DE TRAQUEÓIDES LONGITUDINAIS (MADEIRA ADULTA).....	9
TABELA 3 – CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS (EM μm) POR CLASSE DIAMÉTRICA E POR ANEL DE CRESCIMENTO.....	49
TABELA 4 – RELAÇÕES ENTRE AS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES NOS LENHOS INICIAL E TARDIO.....	58
TABELA 5 – RENDIMENTO DE CELULOSE E NÚMERO <i>KAPPA</i> DE ACORDO COM AS CLASSES DIAMÉTRICAS.....	71
TABELA 6 – VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO PAPEL NAS TRÊS CLASSES DIAMÉTRICAS.....	73
TABELA 7 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS NOS ENSAIOS MECÂNICOS DO PAPEL POR CLASSE DIAMÉTRICA.....	74

RESUMO

Devido ao vigoroso crescimento e por sua importância econômica na produção de madeira serrada e fabricação de papel, a espécie *Pinus taeda* tem sido muito estudada. As árvores de procedência da África do Sul, oriundas de plantios da empresa Klabin S.A., apresentam diferenças dendrológicas com relação à procedência norte-americana. Isto motivou o estudo de suas características anatômicas já que havia a possibilidade de detecção de diferenças na composição da madeira. Este trabalho objetivou avaliar a qualidade da madeira de *Pinus taeda* dessa procedência visando o melhor desempenho no processo industrial de fabricação de papel. Foram coletadas 15 árvores, separadas em três classes diamétricas, de plantios com 25 anos de idade localizados no município de Alfredo Wagner, Estado de Santa Catarina. Foram determinadas a massa específica básica e a porcentagem de lenho tardio ao longo do fuste. A madeira foi descrita anatomicamente e foram mensuradas as dimensões dos traqueóides. Com estes dados fez-se o cálculo de índices estimativos de qualidade do papel. A partir das mesmas árvores foi obtida polpa celulósica pelo processo *kraft* e foram feitas folhas de papel para a determinação de suas características físico-mecânicas. Como resultado dessa pesquisa foi constatado o decréscimo ao longo do fuste da massa específica básica da madeira e da porcentagem de lenho tardio, não havendo diferença estatística significativa entre os valores das classes diamétricas. Algumas características morfológicas dos traqueóides, como os diâmetros interno e externo, apresentaram um comportamento bastante variável. As demais características apresentaram as tendências já esperadas para madeira de coníferas. Verificou-se uma grande variabilidade das relações entre as dimensões dos traqueóides. A polpa e o papel apresentaram rendimentos e propriedades adequados para a madeira de coníferas. O papel produzido com a madeira de costaneira mostrou-se mais resistente ao rasgo. Entretanto, a madeira de topo obteve melhores resultados com relação às demais propriedades. Apesar da pequena homogeneidade na madeira de *Pinus taeda* de procedência da África do Sul, esta madeira apresenta potencial para a produção de papel.

ABSTRACT

Due to its fast growth and economical importance as sawn wood and paper, the species *Pinus taeda* has been studied for many researchers. The South Africa procedence trees, brought from Klabin S.A., show dendrological diferences when compared to the north-american procedence trees. For this reason, this study was developed, since there was the possibility of detection of differences on wood composition. The purpose of this work was to study the wood quality of *Pinus taeda* from this procedence aiming the best performance in the industrial process of paper making. There were chosen 15 25-year-old trees, separated in three classes of diameter, from Alfredo Wagner, Santa Catarina State. Specific gravity and late wood percentage of wood were determined. The wood was anatomically described and the dimensions of the tracheids were measured. With this data relation between tracheids to predict the quality of paper were calculated. From the same trees pulp by the *kraft* process and paper were made and its physical and mechanical properties were characterized. As result of this research it was observed that the specific gravity and late wood percentage decreased with the height of the tree and there was no statistical difference among the classes of diameter. Lumen and tracheid diameter showed a variable behavior. Tracheid length and wall thickness showed tendence following the pattern of softwoods. There was a great variability of the relations between the tracheids dimensions. The yield and properties of the pulp and paper were acceptable for softwoods. Although the tear resistance of the paper produced with the outer wood was the greatest, the top wood had the best results in the majority of the properties. In spite of the variability of the *Pinus taeda* wood from the procedence of South Africa, it has potencial for the production of pulp and paper.

1 INTRODUÇÃO

A atividade florestal em grande escala no Brasil teve como marco o advento dos incentivos fiscais entre 1966 e 1974, dando início à distribuição de plantios florestais, especialmente com espécies exóticas, por grande parte do território nacional.

A definição das espécies plantadas em cada local foi feita com base na potencialidade de desenvolvimento em cada região. No sul do Brasil, o gênero *Pinus* demonstrou grande adaptabilidade e bom potencial de crescimento.

Apesar do intuito inicial de criação de uma base florestal para suprir a demanda de matéria-prima para a indústria de celulose e papel, os plantios foram usados para o abastecimento da indústria de serrados devido à produtividade mais elevada e adequada às exigências da conjuntura econômica.

O fator gerador dessa substituição foi o início da exaustão da matéria-prima mais utilizada na época, a *Araucaria angustifolia*, conhecida como pinheiro-do-Paraná.

Porém, devido às diferenças marcantes entre comportamentos tecnológicos dessas espécies, a indústria madeireira atribuiu um conceito deturpado sobre a madeira do gênero *Pinus*, pois continuava-se utilizando as mesmas técnicas e processos usados para a *Araucaria angustifolia*. Isso implicou na necessidade de adaptação tecnológica de processos industriais.

Para uma acurada correção de um procedimento operacional tem-se a necessidade de conhecimento específico sobre as propriedades intrínsecas de cada tipo de material, especialmente a madeira. Torna-se necessária, também, a definição de sistemas de manejo adequados que permitam direcionar ou produzir matérias-primas específicas para cada setor produtivo, possibilitando correlações com os possíveis usos.

Esse direcionamento é fundamental pela necessidade, cada vez mais emergente, da otimização de processos e economia de recursos, possibilitando assim contribuir com a minimização dos efeitos danosos ao ambiente.

2 OBJETIVOS

Para este estudo estabeleceu-se como objetivo geral:

- Avaliar a qualidade da madeira de *Pinus taeda* L., de procedência África do Sul, visando melhor desempenho no processo industrial de fabricação de papel.

Para cumprir o objetivo geral foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar os aspectos anatômicos da madeira de *Pinus taeda* L. de classes diamétricas distintas;
- Determinar as correlações entre massa específica da madeira e classes diamétricas;
- Correlacionar as características morfológicas dos traqueóides com as propriedades mecânicas de papel feito à mão a partir de celulose *kraft* obtida da madeira de *Pinus taeda* L. de procedência África do Sul.

3 JUSTIFICATIVA

Frente à constante otimização de processos industriais e à tendência de economia dos recursos disponíveis, estima-se a melhoria na eficiência da madeira de *Pinus taeda* L. como matéria-prima para obtenção de celulose e papel. Isso é possível através da constatação da equivalência ou superioridade nas propriedades da madeira de *Pinus taeda* de procedência África do Sul, quando comparada à madeira comercialmente utilizada.

Assim, poderá ser recomendado o plantio em escala comercial dessa procedência para a utilização pelas indústrias que utilizam *Pinus* sp. como principal fonte de matéria-prima.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A ESPÉCIE

O gênero *Pinus* é composto de aproximadamente 100 espécies nativas de regiões temperadas e tropicais. A madeira de *Pinus* sp. pode ser dividida macroscopicamente em branca, vermelha e amarela (USDA FOREST SERVICE, 2002).

A espécie é conhecida no mundo por nomes comuns como: *black pine*, *black slash pine*, *bog pine*, *buckskin pine*, *Carolina pine*, *frankincense pine*, *kienbaum*, *loblolly pine*, *longleaf pine*, *maiden pine*, *meadow pine*, *North Carolina pine*, *pin a l'encens*, *pin taeda*, *pinho-teda*, *pino de incienso*, *pino dell'incenso*, *prop pine*, *sap pine*, *shortleaf pine*, *shortstraw pine*, *soderns gul-tall*, *southern pine*, *southern yellow pine*, *swamp pine*, *sydstaternas gul-tall*, *taeda pine*, *taeda-pijn*, *torch pine*, *Virginia pine*, *yellow pine* (USDA FOREST SERVICE, 2002).

Pinus taeda é nativo dos Estados Unidos. Distribui-se naturalmente do sul de New Jersey e Delaware à região central da Florida e ao leste do Texas, e no Vale do Mississipi ao extremo sudeste do Oklahoma, Arkansas central e sul do Tennessee. Cresce em regiões ao nível do mar até 610 m, com precipitação média anual de 1000 a 1500 mm, temperaturas de -23 a 38°C e preferencialmente em solos com má drenagem superficial (KOCH, 1972, p. 12; BERNI, BOLZA, CHRISTENSEN, 1979, p. 174; USDA FOREST SERVICE, 2002).

As árvores de *Pinus taeda* no ambiente nativo chegam a atingir cerca de 46 m de altura, com diâmetros aproximados de 1,30 m. A altura média de uma árvore com 20 anos de idade, em seu habitat natural, pode variar de 10 a 20 m e seu diâmetro na base pode ser de 12 a 22 cm. A árvore mais alta que se teve notícia tinha 54 m de altura e 1,42 m de diâmetro (KOCH, 1972, p. 12; USDA FOREST SERVICE, 2002).

No Brasil, plantios com 21 anos de idade apresentam árvores com altura de aproximadamente 23 m e diâmetro da base de 43,5 cm (BERNI, BOLZA, CHRISTENSEN, 1979, p. 174).

O alburno apresenta coloração amarelo-clara, enquanto que o cerne possui cor marrom-avermelhada. O alburno é geralmente largo no crescimento secundário. O cerne começa a se formar em árvores com cerca de 20 anos. Em árvores velhas, de lento crescimento, o alburno pode ter de 2 a 5 cm de espessura. A madeira é pesada, resistente, macia a moderadamente dura e razoavelmente resistente a choques. Possui grã reta, textura média e é de difícil trabalhabilidade com ferramentas manuais. Possui boa capacidade de retenção de pregos, porém não possui boas propriedades de colagem. A maioria das espécies de *Pinus* possui taxa de retratibilidade moderadamente alta, porém possui boa estabilidade quando devidamente seco. O cerne possui resistência ao apodrecimento moderada a baixa. O alburno é mais facilmente impregnado com preservativos. Ambos são suscetíveis ao ataque de insetos (BERNI, BOLZA, CHRISTENSEN, 1979, p. 174; USDA FOREST SERVICE, 2002).

4.2 ASPECTOS ANATÔMICOS DA MADEIRA DE CONÍFERAS

Visualizando o corte transversal de um fuste é possível observar duas fases na madeira. A primeira, próxima à medula, corresponde à madeira juvenil, e a segunda, mais próxima da casca, é constituída de madeira adulta (PANSHIN, ZEEUW, 1980, p. 255). A madeira juvenil apresenta anéis de crescimento graduais e difusos, ao contrário do lenho adulto. Sua massa específica é menor e seus traqueóides são mais curtos e com paredes mais delgadas (EINSPAHR, PECKHAM, MATHES, 1964, p. 170; LARSON et al., 2001, p. 4). FUJIWARA e YANG (2000, p. 338) definem lenho juvenil como sendo a região onde o comprimento das fibras aumenta rapidamente, enquanto que na madeira adulta o comprimento aumenta gradualmente.

A madeira juvenil, devido ao rápido crescimento longitudinal celular, apresenta mudanças fundamentais na composição da parede celular, associadas ao período de maturação cambial. Esta fase dura de 10 a 20 anos, podendo ser menor que 5 e maior

que 60 anos. Contudo, existem espécies que apresentam períodos correspondentes ao lenho juvenil ainda maiores, a exemplo da *Sequoia sempervirens*, que atinge o comprimento máximo de suas fibras num período entre 200 e 300 anos. A segunda fase representa o período de estabilização funcional do câmbio adulto (PANSHIN, ZEEUW, 1980, p. 255).

O crescimento do anel inicia-se na primavera e termina no outono. No início do período de crescimento a madeira é denominada lenho inicial e ao fim do período, lenho tardio. O primeiro apresenta células com paredes delgadas e lumes grandes, conferindo à madeira coloração clara. O segundo caracteriza-se pela presença de células de paredes espessas e lumes menores, distinguindo-se do lenho anterior por apresentar coloração mais escura. Por consequência, a massa específica do lenho inicial é menor do que a do tardio (BURGER, RICHTER, 1991, p. 16).

Ao contrário dos anéis de crescimento adultos, a transição entre lenho inicial e tardio em anéis de crescimento jovens é extremamente gradual e difusa. A dificuldade em se determinar o limite entre lenho inicial e tardio nos anéis jovens é devido à natureza dos traqueóides de transição, os quais não são nem de lenho inicial, nem de tardio, e geralmente compreendem a maior parte dos largos anéis de crescimento juvenis. Os traqueóides de transição são produzidos quando as condições de crescimento são favoráveis à prolongação do crescimento dos brotos terminais e desenvolvimento foliar e também para a promoção dos altos níveis de atividade fotossintética. Nos traqueóides de transição o diâmetro radial geralmente permanece constante, ou seja, com lume amplo, e a parede celular torna-se gradativamente mais espessa (LARSON et al., 2001, p. 8).

A zona dos traqueóides de transição além de ser uma característica de distinção do lenho juvenil, é um importante fator indicativo da qualidade da madeira. Considerando-se que os traqueóides de lenho inicial possuem lumes largos, paredes finas e são estruturalmente fracos, uma redução na formação do lenho inicial contribuiria para um aumento na qualidade da madeira. A redução na largura dos anéis sempre afeta mais o lenho inicial do que o tardio. Entretanto, a quantidade de lenho

tardio não necessariamente aumenta, apesar de aumentar a porcentagem deste lenho (LARSON et al., 2001, p. 8).

A redução no lenho inicial juvenil ocorre primeiramente com a redução na largura dos traqueóides de transição, os quais geralmente são classificados como lenho inicial. Quanto mais drástico for o decréscimo na taxa de crescimento e da largura dos anéis, mais estreitos serão os traqueóides de transição nos anéis de crescimento. Em anéis relativamente estreitos, como os produzidos em árvores de plantios com espaçamentos pequenos, o lenho de transição pode estar ausente nos anéis mais externos do lenho juvenil. Esses anéis geralmente possuem aparência e características visuais dos anéis adultos, sugerindo que o lenho juvenil consiste somente dos 6 a 8 primeiros anéis (LARSON et al., 2001, p. 8).

É difícil saber como a relação entre lenho inicial e tardio será afetada por variações na largura dos anéis. Apesar de se usar tanto o diâmetro radial dos traqueóides quanto a espessura da parede para diferenciar os lenhos inicial e tardio, ambas as características variam independentemente durante a formação dos anéis de crescimento. Ou seja, o diâmetro radial dos traqueóides e a espessura da parede são controlados por processos fisiológicos completamente diferentes. Portanto, um fator ambiental ou uma prática silvicultural podem fazer com que a parede celular varie em espessura, sem que interfira no diâmetro radial do lume (LARSON et al., 2001, p. 8).

Quanto à diversidade estrutural, a madeira de coníferas apresenta uma estrutura relativamente simples, sendo composta basicamente por dois tipos de células: traqueóides axiais (95-90%) e células de raio (10-5%). Algumas espécies de coníferas possuem pequenas quantidades de outras células (BROWN, PANSHIN, FORSAITH, 1949, p. 129; KOLLMANN, CÔTÉ, 1968, p. 10; SJÖSTRÖM, 1993, p. 7).

Para uma melhor visualização da diferenciação na composição volumétrica de espécies de coníferas são apresentados dados na TABELA 1.

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO VOLUMÉTRICA DA MADEIRA DE ALGUMAS ESPÉCIES DE CONÍFERAS
(EM PORCENTAGEM)

Espécies	Traqueóides axiais	Células de raio totais	Raios fusiformes	Canais resiníferos axiais	Parênquima axial
<i>Pinus strobus</i> ¹	93,0	6,00	--	1,00	--
<i>Pinus strobus</i> ²	93,3	5,29	0,76	0,93	--
<i>Pinus cembra</i> ²	89,8	9,24	1,20	0,94	--
<i>Pinus nigra</i> ²	94,1	5,49	0,76	0,38	--
<i>Pinus pinaster</i> ²	93,3	6,22	0,60	0,93	--
<i>Pinus sylvestris</i> ²	93,0	6,41	0,93	0,58	--
<i>Picea abies</i> ²	94,1	5,95	0,77	0,14	--
<i>Larix decidua</i> ²	93,4	6,13	0,66	0,42	--
<i>Pseudotsuga menziesii</i> ²	92,4	7,22	0,84	0,35	--
<i>Abies alba</i> ²	92,6	7,45	--	--	--
<i>Cupressus sempervirens</i> ²	94,2	5,58	--	--	0,20
<i>Juniperus excelsa</i> ²	91,5	8,26	--	--	0,26

1. Árvores desenvolvidas nos Estados Unidos da América.

2. Árvores desenvolvidas na Iugoslávia.

FONTE: PANSHIN, ZEEUW (1980, p. 132)

4.2.1 Traqueóides axiais

Os traqueóides axiais são células prismáticas, alongadas com terminações fechadas mais ou menos pontiagudas e possuem de 4 a 6 lados. Possuem grande variação em tamanho e características, o que é suficiente para a classificação em gênero e ocasionalmente em espécie (BROWN, PANSHIN, FORSAITH, 1949, p. 129; PANSHIN, ZEEUW, 1980, p. 130; BURGER, RICHTER, 1991, p. 60, WHEELER, 2002).

Os traqueóides axiais de paredes delgadas provêm de zonas de lenho inicial e sua principal função é a de condução de líquidos. Os de paredes espessas são provenientes do lenho tardio e contribuem principalmente com a resistência da madeira (FINDLAY, 1978, p. 9; WHEELER, 2002).

No lenho inicial os traqueóides axiais são de seção poligonal, paredes finas e não apresentam meatos intercelulares. No lenho tardio possuem paredes mais espessas, seção retangular e diâmetro radial menor (MUÑIZ, 1993, p. 103). Os traqueóides de lenho tardio são mais compridos do que os de lenho inicial (LARSON et al., 2000, p. 10).

O comprimento dos traqueóides é influenciado por fatores ligados ao sítio como temperatura e luminosidade, e pela taxa de crescimento da árvore (COWN, 1975, p. 245; FUJIWARA, YANG, 2000, p. 340). No lenho juvenil o comprimento dos traqueóides aumenta mais rapidamente nos anéis estreitos do que nos largos. No lenho adulto os traqueóides geralmente são mais compridos em anéis estreitos. Quanto maior for o anel de crescimento, mais gradual é o aumento na transição lenho inicial-tardio, particularmente em anéis do lenho juvenil e nas faixas de traqueóides de transição (LARSON et al., 2001, p. 10).

Há redução no comprimento dos traqueóides de acordo com a idade da árvore. O câmbio nas árvores muito velhas produz sucessivamente elementos mais curtos (PANSIN, ZEEUW, 1980, p. 255).

O comprimento dos traqueóides varia conforme a espécie, de 1,18 mm no *Juniperus osteosperma* a 11 mm em *Araucaria* sp. (PANSIN, ZEEUW, 1980, p. 132; BURGER, RICHTER, 1991, p. 63). Para as coníferas em geral, o comprimento varia de 2,5 a 5,0 mm e é cerca de 100 vezes ou mais sua largura, como pode ser observado nos exemplos apresentados na TABELA 2.

TABELA 2 - DIMENSÃO DE TRAQUEÓIDES LONGITUDINAIS (MADEIRA ADULTA)

Espécie	Variação do diâmetro tangencial médio (µm)	Comprimento médio (mm)
<i>Sequoia sempervirens</i>	50 — 65	7,39 (1)*
<i>Pinus taeda</i>	35 — 45	4,33 (0,9)*
<i>Picea</i> sp.	25 — 30	3,81 (0,5)*
<i>Thuja</i> sp.	15 — 20	1,18 (0,3)*

* Desvio padrão

FONTE: WHEELER (2002)

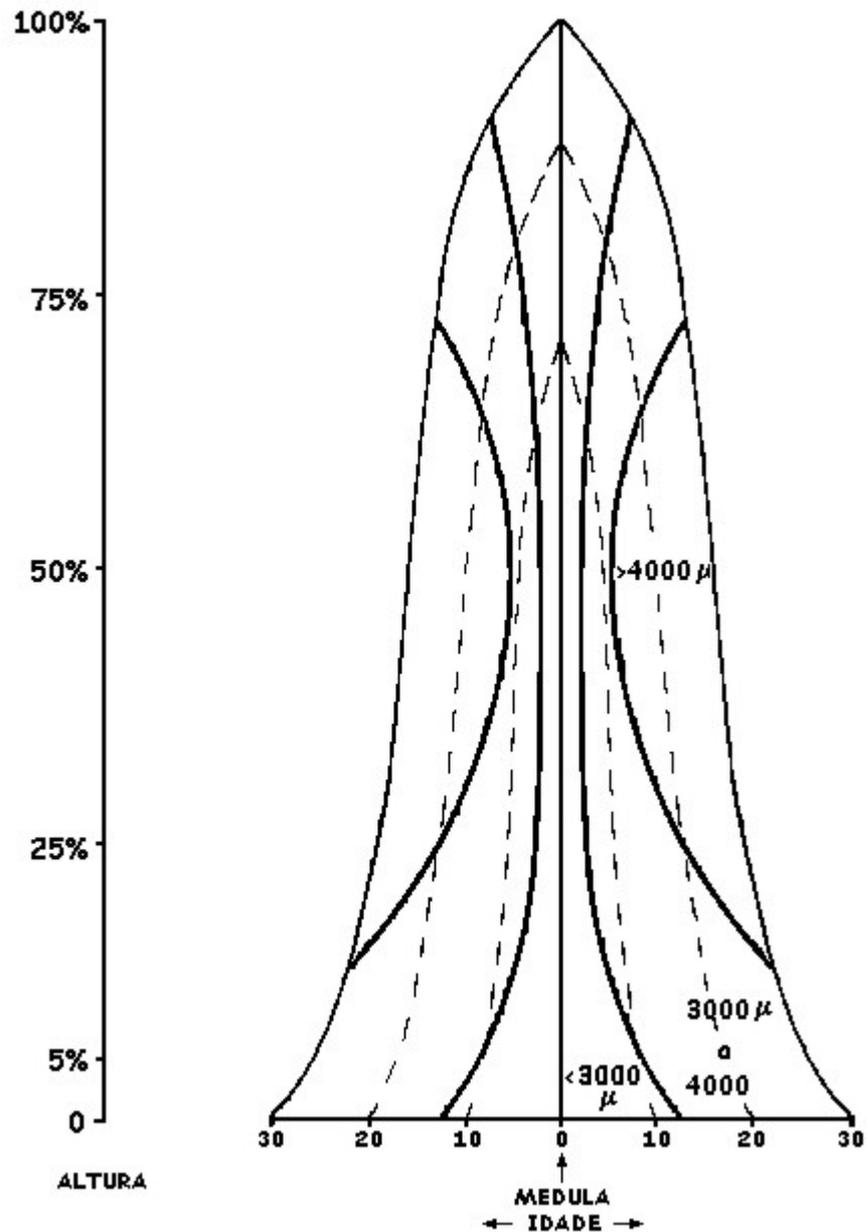
O comprimento máximo ocorre no lenho tardio ou próximo ao lenho de transição e decresce com o fim do crescimento anual. O acréscimo no comprimento

dos traqueóides do lenho inicial para o tardio é de 10 a 15% nas espécies de zona temperada e pode ser inferior a 5% nas tropicais (PANSIN, ZEEUW, 1980, p. 251). Segundo KOCH (1972, p. 72), essa dimensão aumenta no sentido medula-casca até uma certa idade, a qual pode variar de 20 a 60 anos, sofrendo variações aleatórias após esse período. Geralmente aumenta a partir da base do tronco à base da copa até que atinja a dimensão máxima para então decrescer em direção ao topo. De maneira geral pode-se dizer que o comprimento máximo dos traqueóides ocorre na parte externa do tronco numa faixa compreendida entre 20 e 75% da altura da árvore (FIGURA 1) (COWN, 1975, p. 243; PANSIN, ZEEUW, 1980, p. 263).

O comprimento dos traqueóides axiais é de grande importância para a indústria de celulose e papel, já que papéis produzidos a partir de madeira com traqueóides longos possuem maior resistência ao rasgo (BROWN, PANSIN, FORSAITH, 1949, p. 132; KOLLMANN, CÔTÉ, 1968, p. 10; LARSON et al., 2001, p. 10; WHEELER, 2002). Segundo EINSPAHR, PECKHAM e MATHES (1964, p. 170), a madeira juvenil, por possuir traqueóides menores e massa específica menor, deveria ser menos utilizada para a obtenção de polpa do que o lenho adulto.

Para produção de papel o aumento no comprimento dos traqueóides geralmente implica num grande aumento na resistência ao rasgo e num pequeno aumento na resistência ao arrebentamento e à tração. Além disso, traqueóides de paredes grossas produzem papéis mais ásperos e espessos. Analogamente, traqueóides de lenho inicial produzem papéis com boas propriedades de resistência à tração e ao arrebentamento (EINSPAHR, PECKHAM, MATHES, 1964, p. 172).

FIGURA 1 – DISTRIBUIÇÃO DO COMPRIMENTO DOS TRAQUEÓIDES (EM μm) DE *Pinus taeda* AO LONGO DO FUSTE



FONTE: MUÑIZ (1993, p. 108)

Os valores de comprimento de traqueóides dentro e entre árvores de *Pinus taeda* são extremamente variáveis. Há uma grande variação em comprimento dos traqueóides originados, devido à divisão e formação das células do câmbio. Além do comprimento dos traqueóides variar de acordo com a idade e com a posição no fuste de *Pinus taeda*, ele varia entre os indivíduos de acordo com a densidade da população,

sítio, localização geográfica e práticas silviculturais. Também varia grandemente entre indivíduos, sendo considerado um fator genético (LARSON et al., 2001, p. 10).

TOMASELLI (1979, p. 31), estudando *Pinus taeda* e *P. elliottii*, observou que o comprimento dos traqueóides aumenta em direção à casca até uma idade entre 9 e 13 anos, após a qual ocorre uma estabilização dimensional.

O diâmetro dos traqueóides varia de acordo com a posição destes na árvore e com o tipo de lenho. As fibras de maior diâmetro são originadas durante o início do crescimento na primavera e as mais estreitas são produzidas na margem externa do anel, ou seja, logo após o fim da estação de crescimento (BROWN, PANSHIN, FORSAITH, 1949, p. 129; COWN, 1975, p. 239; PANSHIN, ZEEUW, 1980, p. 132). A tendência de crescimento do diâmetro externo dos traqueóides é semelhante àquela observada para o comprimento, ou seja, aumenta no sentido medula-casca e ao longo do fuste até aproximadamente 50% da altura da árvore (MUÑIZ, 1993, p. 110).

Sequoia sempervirens e *Taxodium distichum* apresentam diâmetro máximo de 80 e 70 μm , respectivamente. Em outro extremo está *Taxus brevifolia*, que apresenta traqueóides com largura máxima de 25 μm e média de 15 - 20 μm (PANSHIN, ZEEUW, 1980, p. 132).

O diâmetro dos traqueóides em geral varia de 20 a 60 μm , sendo que para *Pinus taeda* são encontrados valores entre 35 e 45 μm (BROWN, PANSHIN, FORSAITH, 1949, p. 132; KOLLMANN, CÔTÉ, 1968, p. 10; KOCH, 1972, p. 72; FINDLAY, 1978, p. 9; WHEELER, 2002). Os mesmos são apresentados para outras espécies de *Pinus* como *P. elliottii*, *P. ponderosa* e *P. palustris*. Há correlação positiva entre largura e comprimento dos traqueóides, ou seja, as espécies que possuem fibras mais largas apresentam também as mais longas (PANSHIN, ZEEUW, 1980, p. 133).

A espessura da parede é menor no topo da árvore do que na base desta e tende a aumentar à medida que se afasta da medula. Isto é esperado uma vez que a massa específica e a porcentagem de lenho tardio diminuem da base para o topo da árvore e aumentam na direção medula-casca, sendo que estas variáveis estão diretamente relacionadas com a espessura da parede dos traqueóides (MUÑIZ, 1993, p. 190).

Porém, segundo TOMASELLI (1979, p. 31), o aumento no diâmetro externo dos traqueóides de *Pinus taeda* no sentido medula-casca é seguido por um pequeno aumento no diâmetro do lume, resultando num incremento insignificante na espessura média da parede celular.

MUÑIZ (1993, p. 104), estudando *Pinus taeda*, obteve valores de diâmetro externo de 32,5 a 72,5 μm , diâmetro interno de 15,0 a 60,0 μm e espessura de parede de 5,0 a 13,6 μm .

Segundo TOMASELLI (1978, p. 3), para a produção de papéis mais resistentes à tração e ao estouro deve ser utilizada madeira com maior quantidade de traqueóides de paredes finas, pois estes sofrem maior colapso, resultando numa maior área de contato e, conseqüentemente, em um maior número de ligações entre fibras. Entretanto, papéis produzidos com fibras de paredes espessas apresentam alta resistência ao rasgo (WATSON, DADSWELL, 1961, p. 175).

Os traqueóides axiais são caracterizados pela presença de pontoações, as quais são uma das várias características microscópicas da madeira. Elas são responsáveis pelo transporte de líquidos de um traqueóide para outro. As pontoações são aberturas na parede secundária da célula (WHEELER, 2002; SJÖSTRÖM, 1993, p. 7).

O número, forma e tamanho das pontoações variam conforme o tipo de célula, nas quais as características da membrana da pontoação também variam. Estas variações afetam a permeabilidade da madeira de coníferas, refletindo na secagem da madeira, polpação e nos tratamentos com produtos químicos (WHEELER, 2002).

A quantidade de pontoações nos traqueóides de lenho inicial é cerca de 200 por traqueóide, sendo que a maioria delas está localizada nas paredes radiais em uma ou quatro filas. Traqueóides de lenho tardio possuem apenas de 10 a 50 pontoações pequenas (SJÖSTRÖM, 1993, p. 7).

4.2.2 Raios

O transporte de líquidos no sentido radial é feito através dos raios, os quais compreendem o parênquima radial e os traqueóides radiais. São estruturas estreitas, geralmente com apenas uma célula de largura, e de 4 a 10 células alongadas em altura. Há variação na altura dos raios e no número de raios por unidade de área ou por milímetro. Ocasionalmente há raios bisseriados, ou seja, com 2 células de espessura (BURGER, RICHTER, 1991, p. 63; WHEELER, 2002).

As células parenquimáticas de raio são pequenas quando comparadas com os traqueóides axiais. Possuem formato retangular e comprimento de 0,3 a 0,8 mm. São células vivas no alburno e mortas no cerne e são responsáveis pelo armazenamento e transporte no sentido radial dos assimilados (FINDLAY, 1978, p. 12; SJÖSTRÖM, 1993, p. 9; WHEELER, 2002).

As células parenquimáticas de raio de *Pinus* sp. possuem paredes finas. São caracterizadas pela presença de pontoações simples. Algumas espécies possuem terminações nodulares e espessamento extra de parede próximo às pontoações que conectam as extremidades das células de parênquima radial (WHEELER, 2002).

Traqueóides radiais são elementos exclusivos de madeira de coníferas, estando presentes em apenas algumas espécies, geralmente nas margens superiores ou inferiores dos raios, sendo que, em alguns casos, estes podem consistir somente por traqueóides radiais. Estes são células mortas tanto no cerne quanto no alburno, as quais apresentam forma retangular e seu comprimento varia entre 0,1 e 0,2 mm, sendo geralmente menores do que as células parenquimáticas de raio. Também são responsáveis pelo transporte de líquidos no sentido radial. Os traqueóides radiais possuem pontoações areoladas menores do que os encontrados nos traqueóides axiais e são facilmente distinguidos das células de parênquima de raio, as quais possuem pontoações simples. Há dois tipos de traqueóides radiais: de paredes lisas e com indenturas. Estas encontram-se no interior das células e seu tamanho pode variar de acordo com a espécie (KOLLMANN, CÔTÉ, 1968, p. 10; SJÖSTRÖM, 1993, p. 7; WHEELER, 2002).

As pontoações de campo de cruzamento conectam o parênquima radial com os traqueóides axiais e podem ser observadas em seção radial. O formato, tamanho e número dessas pontoações variam entre as madeiras de coníferas (BURGER, RICHTER, 1991, p. 64; WHEELER, 2002). No campo de cruzamento de *Pinus taeda* podem ser encontradas até 6 pontoações pinióides (MUÑIZ, 1993, p. 103 – 106).

Uma outra estrutura que pode ser encontrada na madeira de coníferas são os canais resiníferos axiais e radiais, sendo que neste caso ocorrem sempre dentro de um raio, formando o raio fusiforme. São tubos forrados com células epiteliais (células parenquimáticas de paredes finas) e geralmente ocorrem no lenho tardio. A madeira formada imediatamente após a árvore sofrer um dano contém numerosos canais de resina. Em alguns casos, após a injúria, a madeira formada contém os canais resiníferos traumáticos, os quais não possuem o formato regular dos canais de resina normais (WHEELER, 2002). Os canais resiníferos normais ocorrem de forma difusa na madeira e os traumáticos ocorrem em faixas tangenciais regulares (BURGER, RICHTER, 1991, p. 67).

Várias espécies de coníferas como *Pinus* spp. apresentam nos raios, além de células parenquimáticas comuns e traqueóides radiais, canais resiníferos delimitados por células epiteliais que produzem resina, os quais são denominados raios fusiformes (FINDLAY, 1978, p. 11; BURGER, RICHTER, 1991, p. 63).

Os raios fusiformes são compostos por traqueóides radiais, parênquima radial e células epiteliais radiais. Os traqueóides radiais, conforme ocorre nos raios unisseriados, geralmente localizam-se no topo e fundo dos raios, enquanto que as células de parênquima radial são encontradas tanto na porção estreita quanto na porção larga do raio. O canal resinífero por sua vez, localiza-se na porção larga, circundado por células epiteliais radiais (WHEELER, 2002).

Em *Pinus taeda* os raios são predominantemente unisseriados, sendo muitas vezes localmente bisseriados e fusiformes. São heterocelulares, de células procumbentes, com uma ou mais fileiras de traqueóides radiais marginais e intercalares. Os raios unisseriados, com média de 6 raios por milímetro, possuem de 50 a 350 µm de altura e de 1 a 14 células de altura (MUÑIZ, 1993, p. 103).

Pode-se encontrar grandes quantidades de traqueóides radiais na madeira de *Pinus taeda*. Nesta espécie o espessamento da parede celular (identuras) é bem desenvolvido (WHEELER, 2000).

No gênero *Pinus* os canais resiníferos, concentrados principalmente no cerne e nas raízes, apresentam diâmetro de aproximadamente 0,08 mm (no sentido tangencial) e 0,03 mm (no sentido radial) (SJÖSTRÖM, 1993, p. 10). Em *Pinus taeda* os canais resiníferos axiais e radiais são de origem esquizógena. Pode-se encontrar de 0,2 a 4,7 canais axiais por mm², com uma ou mais camadas de células epiteliais finas. Os raios fusiformes possuem 51 μm de largura e de 120 a 300 μm de altura (MUÑIZ, 1993, p. 103).

4.3 MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA

TRENDELENBURG e MAYER-WEGELIN¹ (1956), apud KLOCK (2000, p. 68), afirmam que a massa específica é uma das propriedades físicas mais importantes da madeira, pois está relacionada diretamente com propriedades como resistência mecânica, grau de alteração dimensional e perda ou absorção de água. Dela depende a maior parte das propriedades físicas e tecnológicas, servindo como parâmetro para classificação de madeiras.

Segundo PANSHIN e ZEEUW (1980, p. 269), a massa específica é o quociente entre a quantidade de matéria lenhosa pelo seu volume. Para que possam ser feitas comparações entre espécies, as massas e os volumes devem ser determinados a um mesmo teor de umidade, já que este exerce influência na massa específica (KOLLMANN, CÔTÉ, 1968, p. 169). Também pode ser feita a determinação da massa específica básica, a qual é obtida pelo quociente entre a massa da madeira seca a 0% e o volume verde (DINWOODIE, 1965, p. 64).

¹ TRENDELENBURG, R.; MAYER-WEGELIN, H. **Das Holz als Rohstoff**. München: Carl Hansen Verlag, 1956, 541 p.

Segundo WRIGHT e SLUIS-CRÉMER (1992, p. 183), para *Pinus taeda* a massa específica é o fator mais importante para produção de pasta celulósica devido à sua boa correlação com as propriedades da polpa e à sua facilidade de obtenção. Porém, a massa específica como fator isolado não é suficientemente confiável para predizer as propriedades do papel.

As variações na massa específica influenciam tanto no rendimento quanto na qualidade da celulose, por isso seu estudo é de fundamental importância. Madeiras com alta massa específica apresentam maiores rendimentos bruto e depurado, maior teor de rejeitos e contribuem com o aumento na resistência ao rasgo. Porém, as resistências à tração e ao arrebentamento são diminuídas, assim como o peso específico do papel (EINSPAHR, PECKHAM, MATHES, 1964, p. 169; FOELKEL, [197?], p. 70).

Segundo KLOCK (2000, p. 160), a massa específica básica da madeira pode variar no sentido base-topo de 0,46 a 0,37 g.cm⁻³ nas árvores de *Pinus maximinoi* e de 0,47 a 0,36 g.cm⁻³ em *Pinus taeda*, ambas com 11 anos.

TOMASELLI (1979, p. 14), em estudo com *Pinus taeda*, *P. elliottii* e *Araucaria angustifolia*, obteve um valor de massa específica média para *Pinus taeda* com 18 anos de idade de 0,48g.cm⁻³, ou seja, superior à da madeira de *Araucaria angustifolia* de mesma idade, a qual apresentou valor médio de 0,40 g.cm⁻³.

MUÑIZ (1993, p. 142), trabalhando com *Pinus taeda* e *P. elliottii* de plantios com 30 anos de idade, obteve valores de massa específica básica compreendidos entre 0,46 e 0,57 g.cm⁻³.

4.3.1 Fatores que influenciam na massa específica

As variações na massa específica entre espécies e dentro de uma mesma árvore ocorrem devido a características da madeira como heterogeneidade, higroscopicidade e porosidade. Fatores como porcentagem de lenho tardio também exercem grande

influência na variação dessa propriedade dentro da mesma árvore. Porém, seu aumento característico com o distanciamento em relação à medula é determinado não somente pela porcentagem de lenho tardio nos anéis de crescimento, mas principalmente pela espessura da parede e pelo pequeno diâmetro radial dos traqueóides, além da proporção dos diferentes tipos de células presentes na madeira (PANSHIN, ZEEUW, 1980, p. 269; LARSON et al., 2001, p. 9).

Além disso, fatores hereditários, influências fisiológicas e mecânicas e o sítio afetam a estrutura da madeira e, portanto, sua massa específica (KOLLMANN, CÔTÉ, 1968, p. 168; COWN, KIBBLEWHITE, 1980, p. 522). Em períodos com maior disponibilidade de luz, calor e água no solo (primavera-verão) a planta apresenta intenso crescimento vegetativo, desenvolvendo células de paredes finas, lumes grandes, coloração mais clara no conjunto e, conseqüentemente, de menor massa específica. No final do período vegetativo (outono-inverno) a planta reduz sua atividade metabólica, resultando em células de paredes espessas, lumes pequenos, aspecto mais escuro e com maior massa específica (PANSHIN & ZEEUW, 1980, p. 130).

A massa específica aumenta no sentido medula-casca e apresenta maiores valores na extremidade inferior da árvore. Exerce influência na escolha da região do tronco onde será retirada a matéria-prima para produção de papel e a qualidade da polpa produzida (EINSPAHN, PECKHAM, MATHES, 1964, p. 169; KOLLMANN, CÔTÉ, 1968, p. 168).

A massa específica é, de certa forma, uma característica transmitida geneticamente, sendo importante na escolha de matrizes genéticas para reflorestamentos com enfoque na produção de papel (SMOOK, 1994, p. 15).

Estudos comprovam a existência de variação genética de uma mesma espécie devido à sua origem geográfica. Por exemplo, árvores de *Pinus taeda*, plantadas na Geórgia com sementes obtidas de diferentes regiões de sua distribuição natural, mostraram diferenças na massa específica média, sendo essa variação atribuída à procedência da semente (PANSHIN, ZEEUW, 1980, p. 245).

MUÑIZ (1993, p. 191), estudando *Pinus taeda*, observou que a massa específica básica decresceu no sentido base-topo. Esta tendência confirma o padrão de variação longitudinal para as espécies de *Pinus*. A autora observou uma variação considerável da massa específica básica no sentido horizontal do tronco, devido à idade e ao afastamento da medula, constatando assim seu decréscimo no lenho juvenil e o oposto no lenho adulto (cerca de 22-23% de diferença entre lenhos).

4.4 PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO

O diâmetro radial e a espessura da parede dos traqueóides são os primeiros pontos determinantes da porcentagem de lenho tardio (LARSON et al., 2001, p. 8).

Nos anéis de crescimento mais próximos da medula o lenho tardio é pouco desenvolvido e de difícil distinção a olho nu. Somente a partir do terceiro anel de crescimento, observa-se o padrão característico de lenho tardio. Sua porcentagem diminui à medida que aumenta a altura da árvore e tende a ser maior próximo à casca, contribuindo para o aumento na massa específica (PANSIN, ZEEUW, 1980, p. 273; MUÑIZ, 1993, p. 119). Como regra, a grande variabilidade na massa específica de coníferas depende mais da variabilidade na porcentagem de lenho tardio do que da variabilidade nas massas específicas individuais dos lenhos inicial e tardio (KOLLMANN, CÔTÉ, 1968, p. 175).

Há variação nas propriedades das coníferas devido à variação na porcentagem de lenho inicial e tardio e ao tipo de transição do lenho inicial para o tardio (gradual ou abrupto), o que afeta a aparência da madeira e sua usabilidade. Coníferas de madeiras mais densas apresentam uma transição abrupta do lenho inicial para o tardio. Coníferas de madeira menos densa, embora possuam anéis anuais de crescimento distintos, apresentam transição gradual entre os lenhos e geralmente pouco lenho tardio (BROWN, PANSIN, FORSAITH, 1949, p. 129; WHEELER, 2002).

KLOCK (2000, p. 164), em estudo de *Pinus maximinoi* e *P. taeda* ambos com 11 anos de idade, verificou uma variação no sentido base-topo da porcentagem de lenho tardio de 8,20 a 5,17% para aquela e de 40,07 a 15,65% para esta espécie.

MUÑIZ (1993, p. 103, 119, 191) observou que os anéis de *Pinus taeda* são distintos, sendo que a transição entre lenhos é brusca. Foi detectada também a presença de anéis mais estreitos em alternância com os mais largos. A porcentagem de lenho tardio média na madeira adulta (60,82%) foi bastante superior à observada na juvenil (22,75%). A alta correlação verificada entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio (0,94 - 0,96) denota a importância do lenho tardio sobre as propriedades da madeira. Segundo a autora, o lenho juvenil de *Pinus taeda* apresenta pequena porcentagem de lenho tardio e anéis de crescimento bastante largos. No lenho adulto observa-se o contrário, ou seja, grande porcentagem de lenho tardio e anéis de crescimento estreitos. Os valores médios de porcentagem de lenho tardio da madeira juvenil e adulta de *Pinus elliottii* foram de 21,31 e 59,78%, respectivamente.

SNYDER e HAMAKER (1970, p. 2), estudando *Pinus taeda* com idades variando entre 40 e 70 anos, obtiveram valores médios de massa específica e porcentagem de lenho tardio da madeira externa de 0,54 g.cm⁻³ e 55%, respectivamente.

A porcentagem de lenho tardio exerce grande influência nas propriedades do papel. A polpa obtida de lenho inicial produz folhas de papel com mais ligações entre fibras e requer um pequeno grau de refino para produzir papéis com maiores resistências ao arrebentamento e à tração, porém baixa resistência ao rasgo. Papéis produzidos com lenho tardio são mais volumosos e ásperos, apresentando maior rendimento de celulose, alta resistência ao rasgo e resistências relativamente baixas ao arrebentamento e à tração (WATSON, DADSWELL, 1962, p. 116).

A qualidade do papel produzido somente com lenho tardio pode ser melhorada através do grau de refino, porém, esse papel ainda apresentará propriedades inferiores às do papel feito com lenho inicial. As fibras de lenho tardio, devido à rigidez da sua natureza, sofrem mais danos durante o refino do que as de lenho inicial (WATSON, DADSWELL, 1962, p. 116; FOELKEL, [197?], p. 71).

A proporção ótima entre lenho inicial e tardio depende de vários fatores, mas principalmente do uso final do papel, que determinará quais devem ser as propriedades requeridas. Papéis com uma quantidade de lenho tardio de 20 a 50% apresentam aumento na resistência ao rasgo sem que haja prejuízo em propriedades como o arrebitamento (WATSON, DADSWELL, 1962, p. 121).

4.5 PRODUÇÃO DA CELULOSE

Polpação é o processo no qual a madeira (ou outra fonte de fibras) é reduzida a uma massa fibrosa, através do rompimento das ligações entre fibras (SMOOK, 1994, p. 36). O resultado desse processo é a polpa - material fibroso utilizado na produção de papel – a qual geralmente é de origem vegetal (SMOOK, 1994, p. 1).

O objetivo do processo químico de produção de celulose é degradar e dissolver a lignina, deixando a maior quantidade de celulose e hemiceluloses na forma de fibras intactas. Num cozimento *kraft* típico (de polpa branqueável) são dissolvidos aproximadamente 80% de lignina, 50% de hemiceluloses e 10% de celulose (SMOOK, 1994, p. 38 e 77).

Segundo SMOOK (1994, p. 39) e IPT (1998, p. 167), entre os vários processos de obtenção de celulose o processo sulfato ou *kraft* é o mais importante e o mais difundido devido a: simplicidade; rapidez; versatilidade quanto às matérias-primas empregadas; excelentes características da celulose obtida quanto às resistências mecânicas; possibilidade de recuperação econômica do licor residual (licor negro).

Os principais fatores que influenciam o rendimento e a qualidade final da celulose do processo *kraft* são: matéria-prima, licor de cozimento, relação licor-madeira, tempo de cozimento e temperatura de cozimento (RYDHOLM, 1965, p. 610; SMOOK, 1994, p. 79; IPT, 1998, p. 191).

4.5.1 Matéria-prima vegetal

A madeira é a matéria-prima fibrosa mais utilizada no processo *kraft*, sendo responsável por grandes diferenças na qualidade e nas propriedades da polpa. A celulose proveniente de coníferas possui características físicas e químicas diferentes da pasta proveniente de folhosas (IPT, 1998, p. 193). A celulose de coníferas mostra uma maior resistência ao rasgo e aquela proveniente de folhosas, uma alta resistência à tração e ao arrebentamento e um maior rendimento em celulose (DINWOODIE, 1965, p. 1152).

A massa específica exerce influência no rendimento volumétrico da polpa, na penetração do licor na madeira, no tempo de cozimento e na qualidade da celulose obtida. Quando a massa específica aumenta dentro de uma mesma espécie, geralmente verifica-se o aumento da espessura da parede celular, aumento na resistência ao rasgo e a diminuição nas resistências à tração e ao arrebentamento (DINWOODIE, 1965, p. 1155).

A composição química da madeira define quais devem ser as condições do cozimento para se obter a polpa adequada. As folhosas, por possuírem maiores porcentagens de celulose e hemiceluloses, apresentam maior rendimento de polpa. As coníferas requerem condições mais drásticas de cozimento devido ao maior teor de lignina (IPT, 1998, p. 194).

Pode haver diferença entre a polpa obtida de uma mesma árvore. A pasta obtida a partir do lenho juvenil possui mais lignina do que a do lenho adulto. Além disso, o papel produzido com aquela apresenta maior resistência à tração e ao arrebentamento (devido à maior flexibilidade das fibras) e maior peso específico aparente das folhas, porém, apresenta menor resistência ao rasgo e seu rendimento é baixo. Quando a madeira juvenil possui maior massa específica a resistência ao rasgo é maior, porém as resistências à tração e ao arrebentamento e o peso específico aparente são menores do que a polpa de madeira juvenil de massas específicas mais baixas. As polpas que apresentam maiores rendimentos são aquelas obtidas de madeira de maior massa específica e teor de celulose (DINWOODIE, 1965, p. 1152; FOELKEL, 1976, p. 51).

Os principais fatores restritivos para a produção de celulose a partir de madeira de lenho juvenil são o baixo rendimento de polpa e a baixa massa específica da madeira. Porém, segundo FOELKEL (1976, p. 66), a celulose *kraft* da madeira juvenil apresenta resistências aceitáveis para a produção de papel.

Segundo DUEÑAS (1997, p. 92), a madeira destinada à produção de celulose deve ser descascada, sendo que a quantidade de casca presente na polpa não deve exceder 1% do peso da madeira. A presença da casca, além de prejudicar a aparência do papel, aumenta o consumo de reagentes no processo de polpação.

Além da matéria-prima empregada deve-se levar em conta o dimensionamento dos cavacos. Seu tamanho não é tão importante como sua uniformidade. Cavacos muito grandes são mais difíceis de serem digeridos pelo licor e, como resultado, ficam sub-cozidos, o que aumenta o teor de rejeitos e a lignina residual na celulose. Cavacos muito pequenos, misturados com cavacos normais são super-cozidos, o que leva a uma diminuição do rendimento e das resistências físico-mecânicas da celulose (RYDHOLM, 1965, p. 257; SMOOK, 1994, p. 30; IPT, 1998, p. 200).

4.5.2 Licor de cozimento

O processo *kraft* consiste no cozimento de cavacos de madeira em uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S). A fragmentação das moléculas de lignina é causada pela alcalinidade dessa solução (SMOOK, 1994, p. 38).

O licor industrial contém uma série de outros sais de sódio que aparecem durante o cozimento ou na recuperação do licor, como carbonato (Na₂CO₃), sulfato (Na₂SO₄), sulfito (Na₂SO₃) e tiosulfato (Na₂S₂O₃) (RYDHOLM, 1965, p. 583; IPT, 1998, p. 172).

As principais variáveis do processo relacionadas com a composição do licor de cozimento são: álcali-ativo (AA) e sulfidez. Aquele é considerado como sendo a

quantidade total de hidróxido de sódio e sulfeto de sódio no licor de cozimento. Esta é dada pela presença do sulfeto de sódio no licor, ocasionando um aumento na velocidade de deslignificação, no rendimento e na resistência da polpa. Comercialmente a sulfidez é mantida entre 25 e 35% e é empregada uma porcentagem de álcali-ativo que varia de 10 a 20% dependendo da espécie da madeira, tipo e qualidade de celulose que se quer produzir e de outras variáveis do processo (RYDHOLM, 1965, p. 444; IPT, 1998, p. 175; SMOOK, 1994, p. 74, DUEÑAS, 1997, p. 157).

4.5.3 Relação licor-madeira

Essa relação fornece o volume de licor necessário para uma determinada quantidade absolutamente seca de madeira. Para que haja uma adequada impregnação da madeira com licor é necessário que toda superfície dos cavacos esteja coberta (IPT, 1998, p. 208; SMOOK, 1994, p. 81).

A relação licor-madeira depende da quantidade de cavacos, massa específica da madeira etc. Está intimamente ligada à concentração em termos de álcali ativo (em g.L^{-1}) e a sulfidez. É expressa em termos de $\text{m}^3 \cdot \text{ton}^{-1}$ (RYDHOLM, 1965, p. 334).

Normalmente empregam-se relações licor-madeira entre 3:1 e 6:1. Dependendo do tipo do digestor usado no cozimento, pode-se usar relações bastante baixas, constituindo numa vantagem para a recuperação do licor (RYDHOLM, 1965, p. 334; IPT, 1998, p. 208; SMOOK, 1994, p. 81).

4.5.4 Tempo e temperatura de cozimento

O tempo de cozimento é determinado em função da temperatura, da relação licor-madeira e da qualidade e concentração do álcali-ativo. O tempo e a temperatura de cozimento influenciam na quantidade de celulose produzida e no grau de deslignificação (RYDHOLM, 1965, p. 639; IPT, 1998, p. 212).

O ciclo de cozimento é expresso em função do tempo de elevação até a temperatura pré-determinada e do tempo nessa temperatura. Aquele situa-se entre 1 e 2 horas e este entre 30 minutos e 2 horas, dependendo da espécie (IPT, 1998, p. 212).

A temperatura máxima normalmente empregada situa-se entre 170 e 180°C. Acima de 180°C ocorrem perdas no volume e na resistência da celulose (SMOOK, 1994, p. 39, 81). A altas temperaturas, o rendimento tende a ser menor devido à maior remoção de holocelulose com relação à lignina (RYDHOLM, 1965, p. 639). A pressão normalmente empregada é de 7 kgf.cm⁻².

4.5.5 Fator H

O fator H é uma variável desenvolvida para que se possa expressar a temperatura e o tempo de cozimento com apenas um valor numérico. Cozimentos com combinações de tempos e temperaturas distintas, porém com o mesmo fator H, devem produzir celulose com rendimentos e teores de lignina semelhantes. Esse fator permite que sejam efetuadas mudanças na temperatura e no tempo de cozimento enquanto o grau de deslignificação é mantido constante. Permite também que o tempo de descarga do digestor seja ajustado durante o cozimento (SMOOK, 1994, p. 77; IPT, 1998, p. 213).

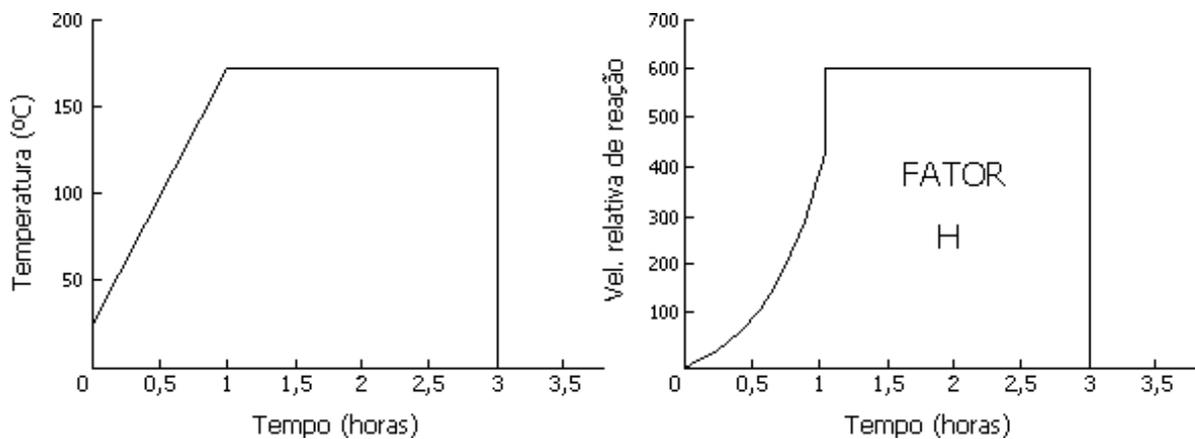
O cálculo do fator H para qualquer cozimento é feito com base na determinação da área sob a curva de velocidade relativa da reação em função do tempo. Esta pode

ser traçada com base na curva de temperatura em função do tempo de cozimento e com os valores de velocidade relativa obtidos através da seguinte fórmula:

$$H = \int_0^T e^{43,33 - \frac{16.161,62}{T}} dT$$

As curvas de temperatura e velocidade de reação em função do tempo de cozimento estão apresentadas na FIGURA 2.

FIGURA 2 – CURVAS DE TEMPERATURA E VELOCIDADE RELATIVA DE REAÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE COZIMENTO



FONTE: DUEÑAS (1997, p. 168)

4.6 PROPRIEDADES DO PAPEL E ENSAIOS

As propriedades do papel dependem das características das fibras utilizadas no processo. As mais importantes para este fim são: comprimento da fibra e espessura da parede. O primeiro está diretamente relacionado com a resistência ao rasgo do papel. Fibras com paredes grossas geralmente produzem papéis mais volumosos com baixa resistência à tração e ao arrebentamento e alta resistência ao rasgo (SMOOK, 1994, p. 17). Papéis feitos com fibras de paredes finas apresentam boas resistências mecânicas

sem que seja necessário um alto grau de refino (WATSON, DADSWELL, 1962, p. 125).

A massa específica da madeira também exerce influência sobre as propriedades do papel, já que esta combina os efeitos causados pelas dimensões das células e pela porcentagem de lenho tardio no anel de crescimento (WATSON, DADSWELL, 1961, p. 168; COWN, KIBBLEWHITE, 1980, p. 521).

4.6.1 Propriedades físicas do papel

As propriedades físicas do papel são importantes por influenciarem em algumas propriedades mecânicas e ópticas. As mais importantes são: gramatura, espessura e densidade aparente do papel.

A gramatura, determinada em balança analítica, é a massa do papel expressa em gramas por metro quadrado (g.m^{-2}). Afeta todas as propriedades mecânicas e algumas ópticas e elétricas do papel (IPT, 1992, p. 277; SMOOK, 1994, p.339; DUEÑAS, 1997, p. 249).

A espessura do papel é definida como a espessura de uma folha quando colocada entre duas superfícies planas, circulares e sujeitas a uma pressão constante. Sua medição realiza-se através de um micrômetro, o qual possui dois discos planos e paralelos, entre os quais se coloca o corpo de prova. É medida em milímetros (mm). A espessura afeta as propriedades elétricas, mecânicas e ópticas do papel, sendo relevante no desempenho deste produto para fins elétricos. É importante também para papéis de impressão, absorventes, de embalagens etc. (IPT, 1992, p. 277; SMOOK, 1994, p.339; DUEÑAS, 1997, p. 249).

A densidade aparente do papel, obtida pelo quociente entre a gramatura da folha (g.m^{-2}) e a espessura da mesma (μm), é expressa em g.cm^{-3} . É assim denominada por incluir os espaços do papel preenchidos por ar. É uma das propriedades do papel mais importantes, por influenciar as propriedades físicas e ópticas, exceto a gramatura. A

densidade aparente é afetada por muitos fatores que podem ser classificados em: grau de ligação das fibras, presença de materiais não-fibrosos que preenchem os espaços vazios e calandragem (DUEÑAS, 1997, p. 249).

4.6.2 Propriedades mecânicas do papel

Dentre os vários testes para verificar a resistência do papel os mais comuns são: resistência à tração, resistência ao arrebentamento e resistência ao rasgo. As propriedades do papel dependem do comprimento, espessura e flexibilidade das fibras; do número e da resistência de ligações entre fibras; da gramatura, densidade aparente e umidade do papel (IPT, 1992, p. 282).

4.6.2.1 Resistência à tração

O corpo de prova, de largura e comprimento conhecidos, é submetido a um esforço de tração uniformemente crescente até sua ruptura (SMOOK, 1994, p. 339).

O aparelho usado para determinar a resistência à tração é o dinamômetro, e os valores obtidos são reportados em kgf, ou seja, divide-se a carga de ruptura pela largura do corpo de prova. Também pode-se expressar a resistência à tração pelo comprimento de auto-ruptura (CAR) ou fator de tração, unidade equivalente à ruptura de uma tira de papel pelo próprio peso (IPT, 1992, p. 282). O comprimento de auto-ruptura, expresso em quilômetros (km), é calculado por:

$$CAR = \frac{R \times 1000}{L \times G}$$

- onde: R – carga de ruptura (kgf);
G – gramatura da amostra de papel (g.m^{-2});
L – largura do corpo de prova (mm).

O resultado desse teste determina a utilização do papel para embalagens ou para outros usos onde o produto estará sujeito a forças de tensão direta. Em papéis de impressão, a resistência à tração indica se a folha resistirá ao tensionamento durante o processo. Está diretamente relacionada com: resistência individual e comprimento das fibras, Índice de Enfeltramento, Coeficiente de Flexibilidade das fibras, formação e estrutura da folha. Fibras longas geralmente dão origem a papéis com alta resistência à tração. Porém, fibras excessivamente longas produzem folhas menos uniformes, gerando pontos poucos resistentes. A resistência à tração é afetada de forma negativa pela massa específica da madeira (DINWOODIE, 1965, p. 440; IPT, 1992, p. 282).

Segundo LABOSKY, IFJU e GROZDITS (1984, p. 479), para cozimentos rápidos, a resistência à tração está relacionada com o número de traqueóides por unidade de volume, devido à maior quantidade de ligações entre as fibras. Em cozimentos mais longos (180 minutos), a resistência à tração aumenta devido à maior remoção de lignina residual, aumentando o número de ligações entre traqueóides, e à diminuição na quantidade de carboidratos, aumentando a flexibilidade das fibras.

O esticamento do papel é determinado simultaneamente com a resistência à tração. Expressa o quanto a folha deforma quando sujeita ao tracionamento. O esticamento, expresso em porcentagem, está diretamente relacionado com o comprimento e Coeficiente de Flexibilidade das fibras; ângulo fibrilar; densidade, formação e condições de secagem do papel (FOELKEL, 1976, p. 64).

4.6.2.2 Resistência ao arrebentamento

A resistência ao arrebentamento, ou estouro, é determinada através da fixação do corpo de prova sobre um diafragma circular elástico, no qual aplica-se uma pressão gradativa, perpendicular ao plano do papel, até que haja a ruptura da folha (SMOOK, 1994, p. 339). Para sua determinação utiliza-se o aparelho *Müllen*. A pressão no

momento da ruptura é expressa em kgf.cm^{-2} (IPT, 1992, p. 284). O fator de estouro (Fe) é calculado por:

$$Fe = \frac{E \times 1000}{G}$$

onde: E – pressão de estouro (kgf.cm^{-2});
G – gramatura da amostra de papel (g.m^{-2}).

Esse teste é útil para determinar se o papel poderá ser utilizado como sacos, embrulhos etc. Porém, não é fácil estabelecer uma correlação simples entre o valor da resistência e o desempenho do papel na prática (IPT, 1992, p. 284).

A resistência ao arrebentamento é afetada negativamente por: espessura da parede celular, massa específica da madeira, porcentagem de lenho tardio e Índice de Runkel. É influenciada positivamente por: comprimento da fibra, diâmetro do lume, Coeficiente de Flexibilidade e Índice de Enfeltramento (WATSON, DADSWELL, 1961, p. 171; FOELKEL, 1976, p. 64). Pode ser controlada por: grau de refino; gramatura e espessura da folha; adição de colas ou aditivos ao papel (IPT, 1992, p. 284).

4.6.2.3 Resistência ao rasgo

A resistência ao rasgo é determinada com o aparelho *Elmendorf*, o qual mede a força necessária para que um rasgo, iniciado com uma faca, seja continuado com o uso de um pêndulo solto de uma determinada altura (IPT, 1992, p. 286; SMOOK, 1994, p. 339). A força necessária para rasgar uma única folha é expressa em gf. O fator de rasgo (Fr) é calculado por:

$$Fr = \frac{L \times 100}{G}$$

onde: L – resistência ao rasgo (gf);
G – gramatura da amostra de papel (g.m^{-2}).

Segundo COWN e KIBBLEWHITE (1980, p. 529), tanto o sítio quanto a localização do traqueóide na árvore exercem influência na resistência ao rasgo. Esta é também afetada de forma positiva por: massa específica, porcentagem de lenho tardio, espessura da parede celular, comprimento da fibra e Índice de Runkel. Negativamente, é influenciado pelo diâmetro do lume dos traqueóides (FOELKEL, 1976, p. 64).

O comprimento das fibras exerce maior influência sobre a resistência ao rasgo do que sobre as outras propriedades do papel, pois estas podem ser melhoradas durante o processo, através do grau de refino, por exemplo. O aumento no comprimento dos traqueóides ocasiona um aumento na resistência ao rasgo do papel (WATSON, DADSWELL, 1961, p. 169; TOMASELLI, 1978, p. 50; DUEÑAS, 1997, p. 251).

Como a resistência ao rasgo é extremamente influenciada pelas características das fibras, qualquer degradação nestas durante o processo de produção do papel fará com que os valores de resistência caiam drasticamente. Os valores de resistência ao rasgo são usados na avaliação de sacos de papel, etiquetas, papel higiênico etc. (BRITT, 1970, p. 673; IPT, 1992, p. 286).

4.6.2.4 Permeância do ar

A permeância mede a resistência do papel à passagem do ar em condições padronizadas de pressão, temperatura e umidade relativa. Os resultados são expressos em unidades arbitrárias, como o tempo requerido para a passagem de um determinado volume de ar ou como a quantidade de ar que passa durante um período determinado. Essa medida é denominada permeância do ar, porém reflete a resistência à passagem de ar (DUEÑAS, 1997, p. 250).

É determinada através do porosímetro *Gurley*. Depende do número, tamanho, forma e distribuição dos poros do papel (IPT, 1992, p. 280).

É um meio indireto para se estimar as características de papéis-filtro e serve para indicar a penetração e dispersão de tintas em papéis de impressão (BRITT, 1970,

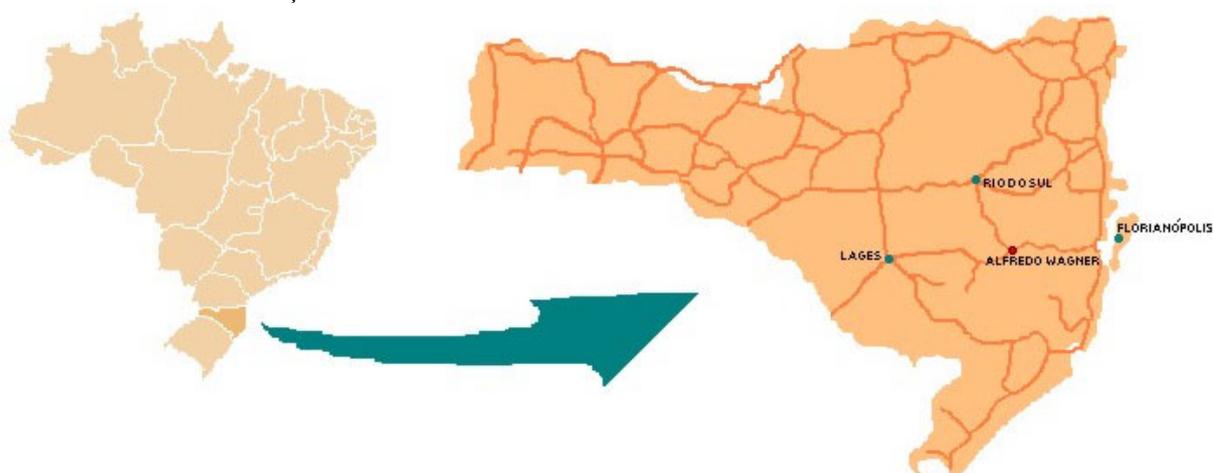
p. 680). É usado como prova de controle durante a manufatura do papel e como parâmetro de qualidade dos papéis para embalagem, sacolas, bolsas etc. (DUEÑAS, 1997, p. 250).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 MATERIAL

Para o presente estudo foram utilizadas 15 árvores de *Pinus taeda* de plantios comerciais com 25 anos de idade, obtidos através de sementes provindas da África do Sul, localizados na fazenda Rio Antinha da Empresa Klabin S. A., no município de Alfredo Wagner, Estado de Santa Catarina (FIGURAS 3 e 4).

FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO DA GEOGRÁFICA DA REGIÃO DE COLETA DO MATERIAL



As amostras coletadas foram selecionadas ao acaso dentro de três classes diamétricas por estrato, sendo coletadas 5 árvores por classe. A escolha das classes foi baseada na distribuição de frequências dos dados obtidos em um inventário florestal realizado pela empresa. Na amostragem foram medidos o diâmetro à altura do peito (DAP, a 1,30 m) com casca e, após a derrubada, as alturas total e comercial. Foram retirados de cada árvore dois discos em cada seção para análise. As seções foram feitas na base do tronco, a 1,30 m do solo (DAP), a 3,10 m do solo, e a partir daí seções a cada 3,10 m até a altura comercial (FIGURA 5). Os discos coletados em campo foram analisados no Laboratório de Polpa e Papel e Anatomia da Madeira da Universidade Federal do Paraná.

FIGURA 4 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA FAZENDA RIO ANTINHA (084), MUNICÍPIO DE ALFREDO WAGNER, ESTADO DE SANTA CATARINA

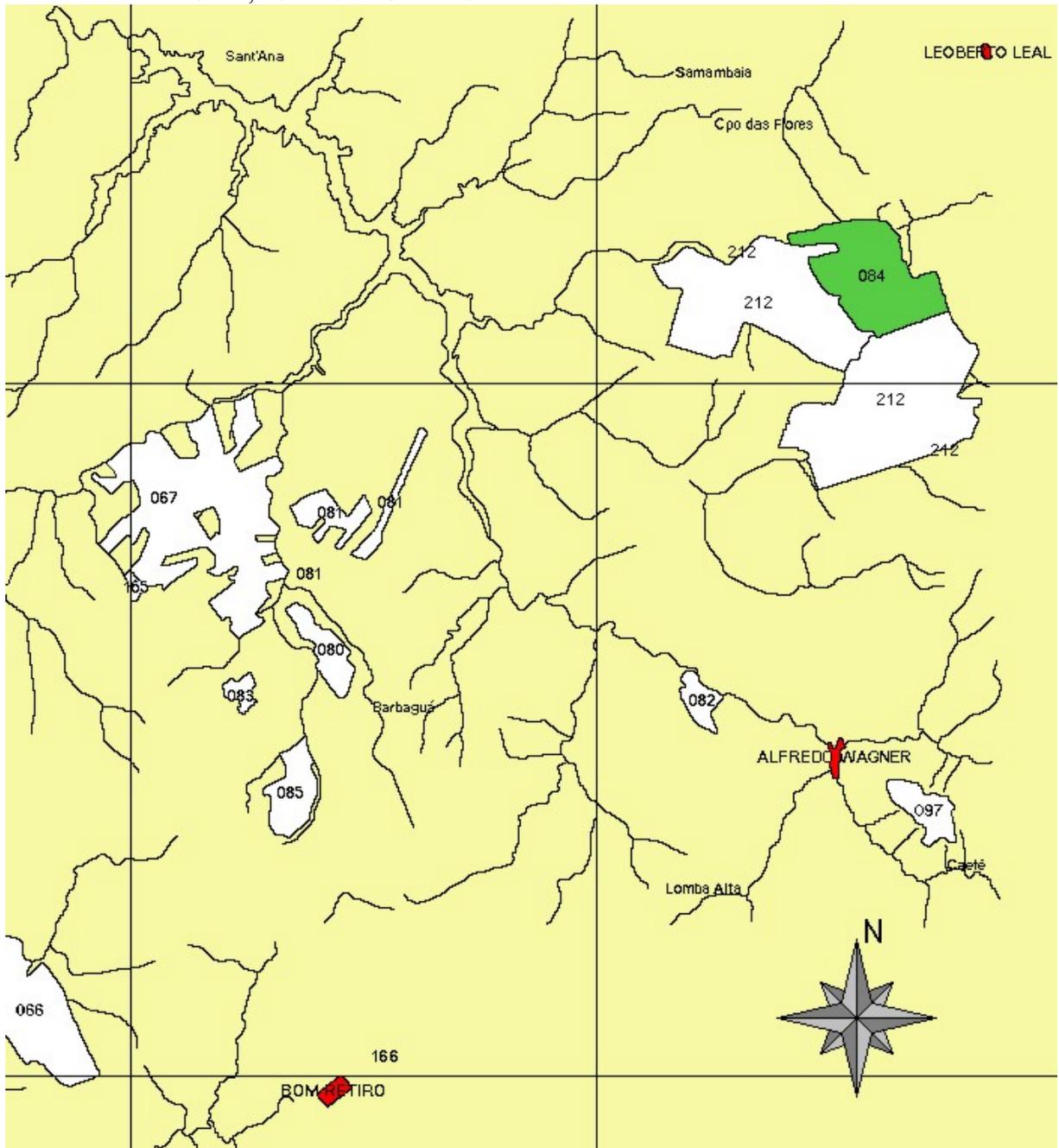
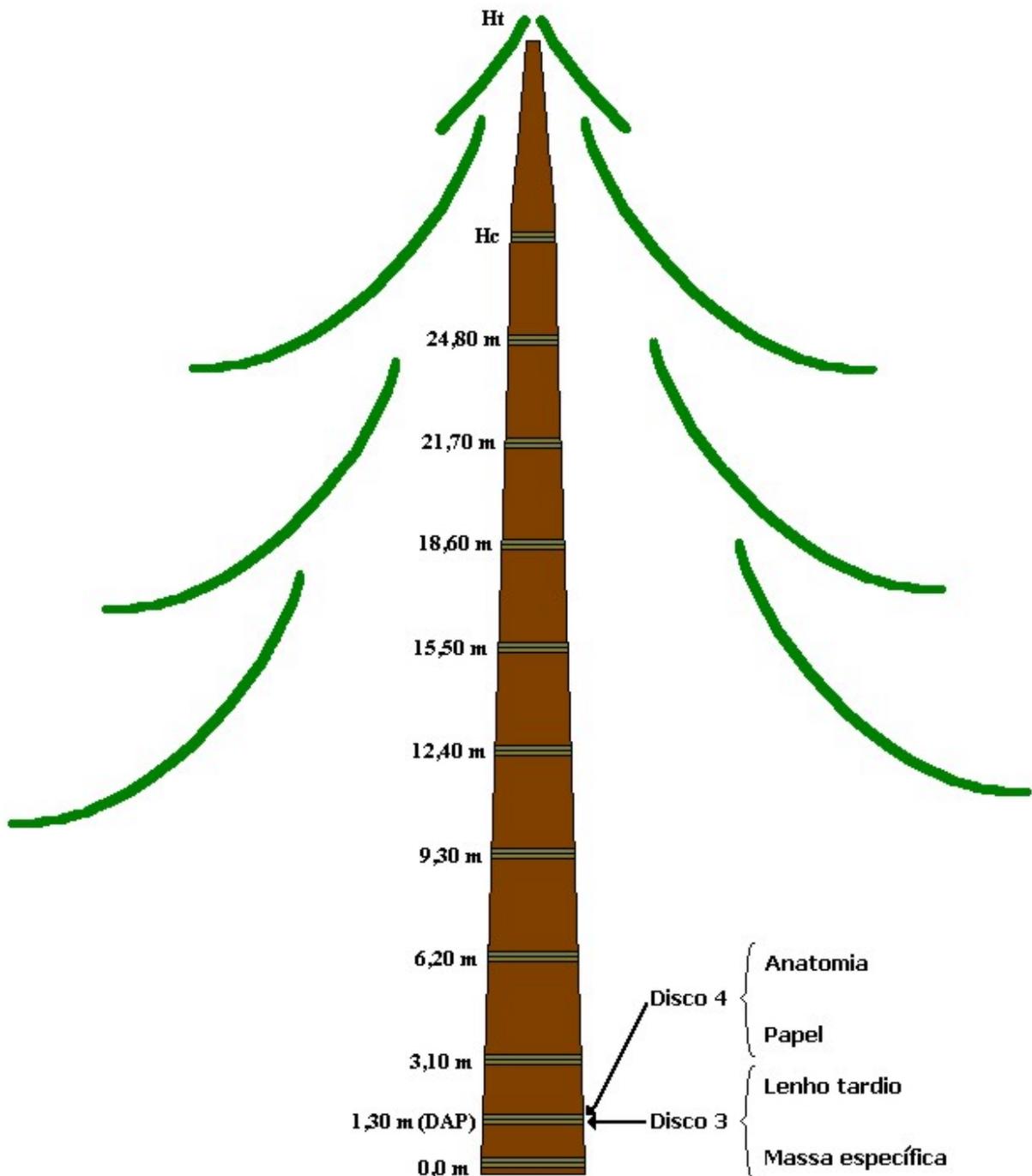


FIGURA 5 – ESQUEMA DE COLETA DOS DISCOS AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES



Um dos discos de cada posição, das quinze árvores amostradas, foi utilizado para a determinação da massa específica básica da madeira e da porcentagem de lenho tardio. Os outros discos foram destinados à confecção de lâminas para análise anatômica e à obtenção de polpa celulósica para posterior confecção de papel.

5.2 DESCRIÇÃO ANATÔMICA

Para a descrição microscópica e a mensuração dos elementos celulares, foram seguidas as recomendações de MUÑIZ (1986), e MUÑIZ e CORADIN (1991).

Para a obtenção das secções histológicas do xilema foram retiradas amostras dos discos coletados à altura do DAP (1,30 m) de uma árvore sorteada aleatoriamente entre as 5 árvores amostradas da classe diamétrica mediana. A partir do disco foram retirados dois blocos de madeira, sendo um próximo à medula e o outro próximo à casca. Estes foram devidamente orientados nos planos de corte transversal, tangencial e radial.

As secções anatômicas, em cortes de orientação transversal, tangencial e radial, foram obtidas em micrótomo de deslizamento, modelo *Spencer* AO nº 860, com espessuras variando de 18 a 25 micrômetros.

A coloração das secções anatômicas foi feita seguindo o método de dupla coloração, safranina e azul de *Astra*. Então, as secções anatômicas foram desidratadas em série alcoólica ascendente, colocadas em acetato de butila e montadas em lâminas permanentes com meio de montagem *Entellan*.

Após a montagem das lâminas seguiu-se com a descrição das características anatômicas da madeira em microscópio de marca *Zeiss*, binocular, com lentes para aumento de até 100 vezes. Foram observados os aspectos anatômicos da madeira e a frequência dos raios por milímetro, efetuando 25 medições aleatórias por amostra dos raios em altura (por número de células e em micrômetros).

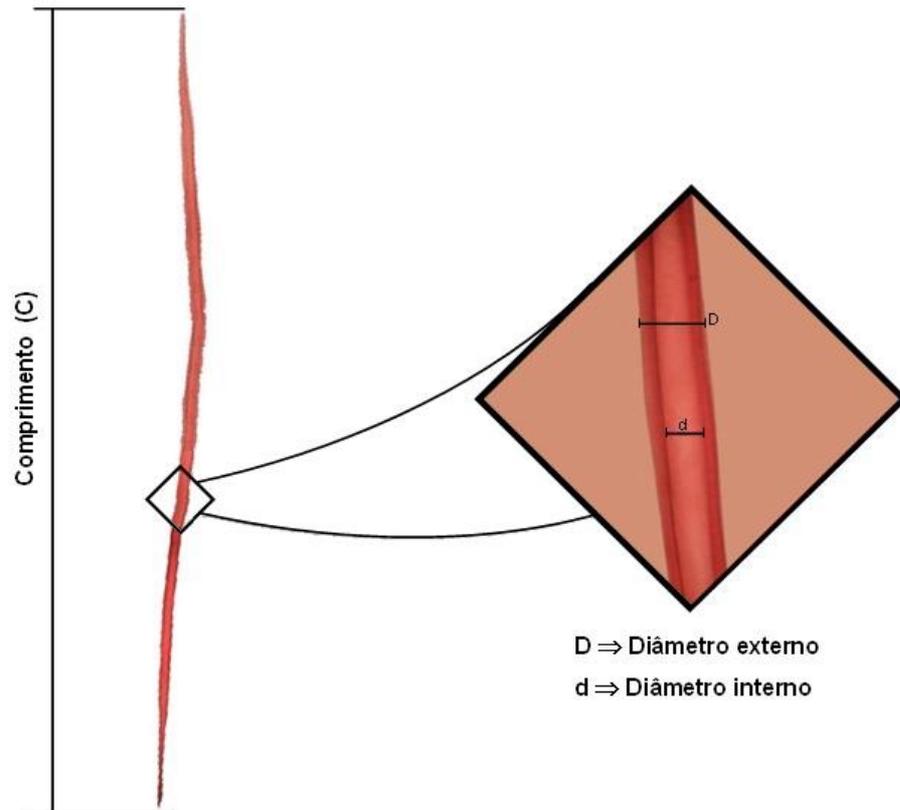
5.3 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA

A caracterização morfológica dos traqueóides foi feita com os discos coletados à altura do DAP (1,30 m) das 15 árvores amostradas. A partir destes retirou-se uma faixa central de 4 cm de largura, a qual continha ao centro a medula. De cada amostra separou-se os anéis anuais correspondentes ao 2º, 5º, 8º, 11º, 15º, 19º e 23º anos, sendo separados ainda em lenho inicial e tardio. Essas amostradas, devidamente codificadas, foram submetidas à maceração pelo método de *Jeffrey*.

O macerado foi colorido com solução aquosa de safranina a 1%, desidratado em série alcoólica e colocado em seguida em acetato de butila. Montou-se lâminas temporárias para cada árvore amostrada, por tipo de lenho e por anel anual de crescimento e duas lâminas permanentes com meio de montagem *Entellan* para cada anel selecionado de uma árvore da classe diamétrica mediana.

A partir do material macerado determinou-se as dimensões dos traqueóides axiais por análise microscópica, sendo que a cada amostra mediu-se quinze traqueóides aleatoriamente. As características mensuradas em cada traqueóide foram: comprimento do traqueóide (l), largura do traqueóide (diâmetro externo) (D), diâmetro do lume (diâmetro interno) (d) e espessura da parede celular (e) (FIGURA 6).

FIGURA 6 – DIMENSÕES MENSURADAS DO TRAQUEÓIDE



5.3.1 Relações entre as dimensões dos traqueóides axiais

Segundo DINWOODIE (1965, p. 440) e FOEKEL ([197?], p. 68), as relações entre as dimensões dos traqueóides axiais são importantes indicadores do potencial de uma espécie para a produção de celulose para papel. As propriedades da pasta celulósica dependem – além das variáveis do processo de polpação - da natureza dimensional, estrutural e química das fibras (DUEÑAS, 1997, p. 228). A partir das medições dos traqueóides foram calculados:

a) Índice de enfiamento (IE) - relação entre o comprimento (l) e a largura do traqueóide (D). Quanto maior for esse índice, maior será a flexibilidade das fibras. Os traqueóides das coníferas apresentam Índice de Enfiamento superior a 100, o qual é

muito bom para a fabricação de papel (DUEÑAS, 1997, p. 227). Madeiras que apresentam altos valores desse índice produzem papéis com boas resistências ao estouro e à tração (DINWOODIE, 1965, p. 440). O Índice de Enfeltramento é obtido por:

$$IE = \frac{l}{D}$$

b) Coeficiente de flexibilidade (CFI) - relação entre o diâmetro do lume (d) e a largura do traqueóide (D), expresso em porcentagem. Esse coeficiente indica a proporção de colapso das fibras na fabricação de papel. Quanto maior for, mais flexíveis são as fibras, mais intenso é o colapso e, conseqüentemente, maior é a resistência ao estouro e à tração (TOMASELLI, 1978, p. 44). É obtido através da fórmula:

$$CFI = \frac{d}{D} \times 100$$

c) Fração parede (FP) - relação entre a espessura da parede celular (e) e metade do diâmetro externo do traqueóide (D), expressa em porcentagem. Quando o valor obtido for maior que 40%, a celulose não terá qualidade satisfatória devido à rigidez das fibras. É calculado por:

$$FP = \frac{e}{D \times \frac{1}{2}} \times 100$$

d) Relação entre comprimento do traqueóide (l) e espessura da parede celular (e) (C/E) – é muitas vezes usada como índice de flexibilidade relativa da fibra. É obtida por:

$$C / E = \frac{l}{e}$$

e) Índice de Runkel (IR) - relação entre 2 vezes a espessura da parede celular (e) e o diâmetro do lume (d) do traqueóide. Sua função é estimar a flexibilidade ou rigidez de um elemento estrutural (DUEÑAS, 1997, p. 227). Papéis produzidos com madeira que

apresenta altos valores de Índice de Runkel apresentam boas resistências ao rasgo, porém, pouca resistência ao estouro (FOELKEL, 1976, p. 64). É calculado através da fórmula:

$$IR = 2 \times \frac{e}{d}$$

5.4 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA

Os diâmetros com e sem casca dos discos foram medidos com auxílio de uma régua. Foram feitas duas medidas perpendiculares entre si. Então, os discos foram descascados para a determinação o volume pelo método de pesagem ou deslocamento, seguindo a metodologia descrita por VITAL (1984). Com esses dados fez-se também o cálculo da porcentagem de casca ao longo do fuste.

Após a determinação do volume, os discos foram colocados em estufa com temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ para secagem até que estivessem com peso constante. Então, foram pesados em balança de precisão digital.

A determinação da massa específica básica foi realizada com os discos sem casca, nas posições pré-determinadas ao longo do fuste de cada árvore, ou seja, na base, a 1,30 m, a 3,10 m e a cada 3,10 m a partir deste ponto até a altura comercial.

A massa específica básica foi calculada utilizando-se a relação:

$$\rho_b = \frac{Ms}{Vu}$$

onde: ρ_b - massa específica básica (g.m^{-3});

Ms - massa do disco seco em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ (g);

Vu - volume do disco em estado saturado (m^3).

Para o cálculo da massa específica básica média da árvore, fez-se a ponderação da massa específica, em relação ao volume de cada seção ao longo do fuste, para uma caracterização mais fiel da árvore. Como procedimento básico, fez-se a média das áreas transversais de cada seção multiplicado pela altura da mesma. Com o volume obtido fez-se o somatório para posterior relativização de volumes. Cada volume relativo foi multiplicado pela média da massa específica das duas seções.

5.5 DETERMINAÇÃO DA PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO

Após a determinação da massa específica básica os discos foram lixados nas faces transversais para que se pudesse fazer a determinação da porcentagem de lenho tardio. Esta foi realizada nos discos sem casca, coletados nas posições ao longo do fuste de cada árvore.

Para a medição dos diâmetros foram utilizadas duas escalas graduadas, as quais foram fixadas perpendicularmente em cada um dos discos. Demarcou-se as faixas de lenho tardio em ambos os sentidos. As medidas foram somadas e a porcentagem em relação aos diâmetros foi calculada, obtendo-se a média dos dois sentidos.

5.6 OBTENÇÃO DA CELULOSE *KRAFT* E PRODUÇÃO DO PAPEL

De maneira geral, as empresas produtoras de celulose e papel destinam as toras de grandes diâmetros para serrarias, devido ao maior valor desse produto. As toras de menores diâmetros são utilizadas no processo de polpação. Porém, as serrarias não

desdobram a madeira por completo, gerando um subproduto da parte externa dos troncos com pouca possibilidade de uso, denominada de costaneira.

Para simular essa segmentação da madeira foi adotado como procedimento laboratorial a retirada de blocos centrais dos cinco primeiros discos (até 9,30 m), denominado de base. A parte restante desses discos foi chamada de costaneira. A madeira das demais alturas foi classificada como topo.

As árvores da classe diamétrica 1, por seus reduzidos diâmetros, foram consideradas amostra única.

A divisão entre base e costaneira foi feita no 12º anel de crescimento.

Os cavacos foram produzidos no Laboratório de Usinagem da Madeira da UFPR a partir dos discos retirados das árvores, referentes à amostragem ao longo do fuste, sendo utilizado um disco de cada seção.

Para os cozimentos dos cavacos, realizados no Laboratório de Polpa e Papel da UFPR, foi utilizado o processo sulfato ou *kraft*, tendo-se estabelecido fator H de 1200, conforme o utilizado em processo industrial. Os cozimentos, realizados com três repetições, foram feitos em um digestor rotativo de aço inoxidável, com 2,5 rpm, capacidade de 20 litros, aquecido eletricamente, dotado de termômetro e manômetro, pertencente ao Laboratório de Polpa e Papel da Universidade Federal do Paraná.

Após os cozimentos a polpa celulósica foi lavada, depurada e acondicionada em sacos plásticos.

Fez-se a determinação do número *kappa*, a fim de se verificar o grau de deslignificação da polpa ou a branqueabilidade. O número *kappa* é obtido através da oxidação da lignina residual com permanganato de potássio ($KMnO_4$) em solução acidificada. A obtenção do número *kappa* foi realizada no Laboratório de Química da Madeira da UFPR seguindo as normas estabelecidas pela TAPPI T236 cm-85.

A celulose foi refinada em um moinho do tipo *Jokro*, seguindo a norma ABNT 14346. Foram utilizados 18 g de celulose seca por panela. Adotou-se um tempo de refino de 20 minutos por ser semelhante ao empregado em processos industriais de fabricação de papéis para embalagem. Determinou-se a resistência à drenagem pelo aparelho *Schopper-Riegler*, segundo a norma ABNT 14031, como medida de controle

do grau de refino. Após esta operação foram produzidas 7 folhas de papel por tratamento em um formador do tipo *Koethen rapid*. O papel foi produzido com gramatura de 80 g.m^{-2} .

As folhas foram acondicionadas em câmara climatizada a $50 \pm 2\%$ de umidade relativa e $23 \pm 1^\circ\text{C}$ de temperatura, conforme a norma ABTCP P4-1994.

5.6.1 Ensaios físicos e mecânicos do papel

Os ensaios foram realizados em câmara climatizada do Laboratório de Polpa e Papel da UFPR seguindo as normas da ABTCP utilizando aparelhos específicos para cada finalidade. As propriedades avaliadas nas folhas de papel foram: gramatura (P6-1996), densidade aparente e espessura (P5-1994 corrigida em 1998), resistência ao rasgo (P9-1994), resistência ao arrebentamento (P8-1994), resistência à tração (P7-1994) e permeância ao ar (P32-1994).

Os equipamentos utilizados foram balança analítica digital, para a gramatura; micrômetro, para espessura das folhas; dinamômetro, para tração e esticamento; aparelho *Müllen*, para o arrebentamento; aparelho *Elmendorf*, para o rasgo e aparelho *Gurley* para permeância ao ar.

5.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a caracterização anatômica utilizou-se o Delineamento Inteiramente Casualizado, sendo cada classe diamétrica considerada como um tratamento, e cada árvore amostrada por classe diamétrica e cada um dos 15 traqueóides medidos como sendo uma repetição, totalizando 75 repetições por classe para a caracterização anatômica.

O delineamento utilizado para os valores de massa específica e porcentagem de lenho tardio foi o Inteiramente Casualizado, sendo cada classe diamétrica e cada altura consideradas como um tratamento e cada árvore amostrada como sendo uma repetição.

Os resultados foram interpretados estatisticamente, por Análise de Variância, sendo a comparação entre os tratamentos executada através do teste F, com 5% de significância, pelo programa *STATISTICA*[®].

A correlação feita entre a massa específica básica e as características anatômicas da madeira foi feita com os dados à altura do peito (DAP) e entre a massa específica básica e a porcentagem de lenho tardio com os dados tomados às diferentes alturas do fuste. Ambas as correlações foram feitas pelo programa *STATISTICA*[®].

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

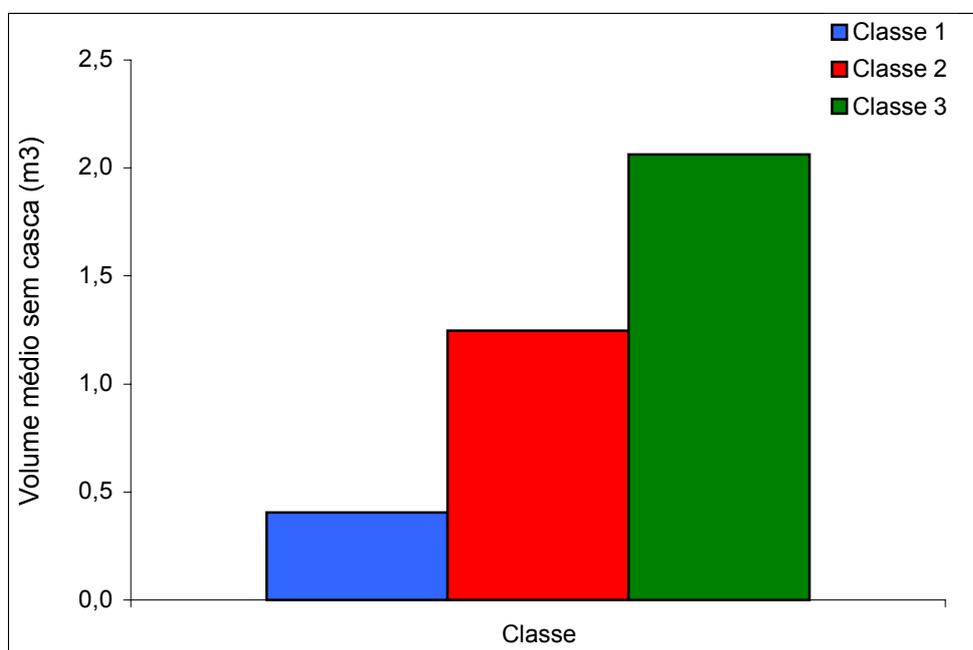
6.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁRVORES AMOSTRADAS

As árvores amostradas na classe diamétrica 1 apresentavam diâmetro à altura do peito (DAP) entre 13,4 e 28,5 cm. A altura total dessas árvores estava compreendida entre 23,5 e 27,7 m e a altura comercial entre 18,7 e 24,8 m.

Para a classe diamétrica 2 foram selecionadas árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) entre 28,6 e 40,5 cm. Nesta classe as árvores apresentavam altura total entre 28,1 e 29,4 m e altura comercial entre 25,5 e 27,9 m.

As árvores da classe diamétrica 3, com diâmetro à altura do peito (DAP) entre 40,6 e 52,5 cm, apresentavam altura total entre 29,5 e 31,8 m e a altura comercial entre 26,7 e 29,6 m. No GRÁFICO 1 estão apresentados os volumes médios sem casca das árvores das três classes diamétricas.

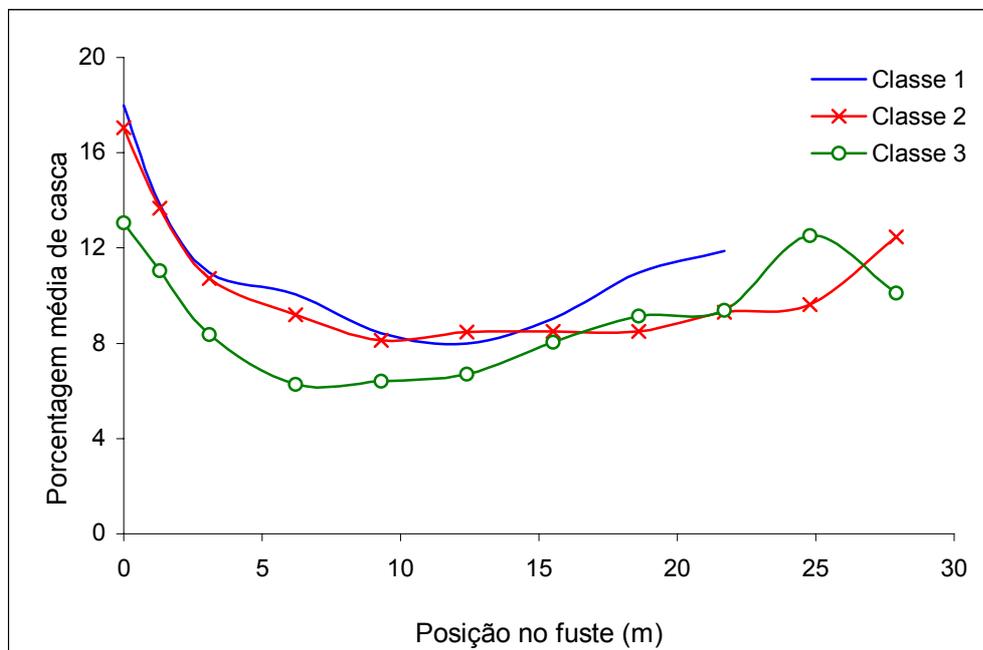
GRÁFICO 1 – VOLUMES MÉDIOS SEM CASCA DAS ÁRVORES POR CLASSE DIAMÉTRICA



O volume médio sem casca das árvores da classe diamétrica 1 é de 0,40 m³. Os volumes médios sem casca das árvores das classes diamétricas 2 e 3 são muito superiores a este, sendo de 1,25 e 2,06 m³, respectivamente.

No GRÁFICO 2 está apresentada a distribuição da porcentagem média de casca em volume das árvores das três classes diamétricas ao longo do fuste.

GRÁFICO 2 – DISTRIBUIÇÃO DA PORCENTAGEM MÉDIA DE CASCA EM VOLUME DAS ÁRVORES DAS TRÊS CLASSES DIAMÉTRICAS AO LONGO DO FUSTE



No gráfico acima observa-se que a porcentagem de casca das árvores de todas as classes diamétricas sofre um decréscimo acentuado até 9,30 m de altura para logo após aumentar em direção ao topo. A quantidade absoluta de casca (em centímetros) no topo não sofre muita alteração. Porém, há uma grande redução no volume de madeira, resultando num aumento na porcentagem de casca quando comparada à parte média do tronco.

6.2 CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DA MADEIRA

6.2.1 Descrição das características microscópicas da madeira

Anéis de crescimento: Distintos. A transição do lenho inicial para o tardio é gradual no lenho juvenil e brusca no lenho adulto.

Traqueóides axiais: No lenho inicial apresentam seção transversal com formato poligonal e sem meatos intercelulares. No lenho tardio, possuem paredes mais espessas conferindo formato retangular. O comprimento dos traqueóides varia de 1500,0 – 3600,0 - 5550,0 μm^* no lenho inicial e de 1620,0 – 3600,0 - 6000,0 μm no lenho tardio. Diâmetros externos de 25,0 – 50,0 – 82,5 μm no lenho inicial e de 22,5 – 37,5 – 62,5 μm no lenho tardio. Diâmetro do lume variando de 15,0 – 27,5 – 67,5 μm no lenho inicial e de 2,5 – 12,5 – 42,5 μm no lenho tardio. Paredes celulares com espessura de 2,5 – 5,0 – 10,0 μm no lenho inicial e de 3,8 – 12,5 – 20,6 μm no lenho tardio. Pontoações areoladas em fileiras unisseriadas, às vezes encontradas dispostas de forma oposta ou alterna. Crássulas presentes.

Raios: Unisseriados. Tecido radial heterocelular, com células de parênquima e traqueóides radiais marginais com identuras. Pontoações de campo de cruzamento pinióides. Frequência de 1 a 7 raios por milímetro no lenho juvenil e de 1 a 4 raios por milímetro no lenho adulto. Raios com altura variando entre 100,0 – 150,0 - 280,0 μm no lenho juvenil e de 70,0 – 150,0 - 300,0 μm no lenho adulto. Na madeira juvenil os raios apresentaram de 5 – 6 - 12 células de altura e de 1 – 4 - 9 células de altura na madeira adulta. Os termos aqui apresentados como sendo lenho juvenil e adulto referem-se à madeira localizada próxima da medula e àquela localizada próximo à casca, respectivamente. Pontoações de campo de cruzamento do tipo pinióide.

Canais resiníferos: Axiais e radiais, mais freqüentes no lenho tardio, de origem esquizógena. Células epiteliais de parede fina, com parênquima axial associado.

* Nota: Os valores apresentados são referentes ao mínimo, ao valor mais freqüente e ao máximo medidos, respectivamente.

As características morfológicas dos traqueóides da madeira de *Pinus taeda* de procedência da África do Sul são semelhantes às observadas por MUÑIZ (1993, p. 103) em estudo com essa mesma espécie. Em comparação com estudo feito por essa autora, pode-se notar que a frequência dos raios é ligeiramente inferior. Os valores também diferem pouco dos observados por KLOCK (2000, p. 127) em estudo com *Pinus taeda*. Entretanto, nota-se que a frequência e as alturas dos raios são inferiores às encontradas por esse autor.

6.2.2 Características morfológicas dos traqueóides axiais

As características morfológicas dos traqueóides axiais analisadas neste trabalho foram: comprimento, diâmetro externo, diâmetro interno (ou de lume) e espessura da parede dos traqueóides dos lenhos inicial e tardio na altura do peito (1,30 m). Os valores médios por anel de crescimento dessas características estão apresentados na TABELA 3. Também estão apresentadas médias gerais por classe diamétrica para cada característica morfológica estudada.

TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS (EM μm) POR CLASSE DIAMÉTRICA E POR ANEL DE CRESCIMENTO

Classe	Anel	Compr. I ¹	Compr. T ²	D.ext.I ³	D.ext.T ⁴	D.int.I ⁵	D.int.T ⁶	Esp. I ⁷	Esp. T ⁸
1	2	2173	2156	44,9	37,1	34,4	16,7	5,3	10,2
	5	3140	3177	45,8	40,3	34,8	19,1	5,5	10,6
	8	3423	3466	47,3	40,0	36,4	16,3	5,4	11,8
	11	3631	3844	45,3	38,3	36,0	15,6	4,7	11,3
	15	3915	3901	45,4	36,4	35,4	14,0	5,0	11,2
	19	4117	4069	45,8	36,2	36,4	13,6	4,7	11,3
	Média	3400	3435	45,7	38,0	35,6	15,9	5,1	11,1
2	2	2095	2248	43,0	39,4	33,7	21,6	4,6	8,9
	5	2744	2814	48,3	39,3	39,5	20,1	4,4	9,6
	8	3486	3438	48,6	38,0	38,6	18,1	5,0	9,9
	11	3780	3817	51,9	39,0	42,4	15,8	4,8	11,6
	15	3851	3949	50,6	38,6	40,9	16,2	4,8	11,2
	19	3902	4159	47,2	39,5	37,6	16,4	4,8	11,6
	23	4196	4314	50,8	42,4	40,3	17,8	5,2	12,3
Média	3390	3487	48,5	39,3	38,9	18,0	4,8	10,6	
3	2	2443	2662	45,8	38,4	35,3	19,3	5,3	9,6
	5	3005	3069	49,0	37,3	38,0	16,4	5,5	10,4
	8	3202	3350	46,1	40,0	35,2	19,2	5,5	10,4
	11	3651	3829	45,2	40,5	33,7	18,3	5,8	11,1
	15	3916	4000	48,8	40,8	37,5	19,6	5,6	10,6
	19	4101	4249	47,3	41,1	36,7	17,4	5,3	11,8
	23	4520	4420	50,2	40,3	40,3	14,5	4,9	12,9
Média	3457	3582	47,2	39,7	36,3	18,1	5,5	10,8	

6.2.2.1 Comprimento dos traqueóides

No GRÁFICO 3 pode-se observar a tendência de variação no sentido medular-casca do comprimento dos traqueóides de lenho inicial de acordo com a classe diamétrica.

¹ Compr. I – Comprimento dos traqueóides do lenho inicial

² Compr. T – Comprimento dos traqueóides do lenho tardio

³ D. ext. I – Diâmetro externo dos traqueóides do lenho inicial

⁴ D. ext. t – Diâmetro externo dos traqueóides do lenho tardio

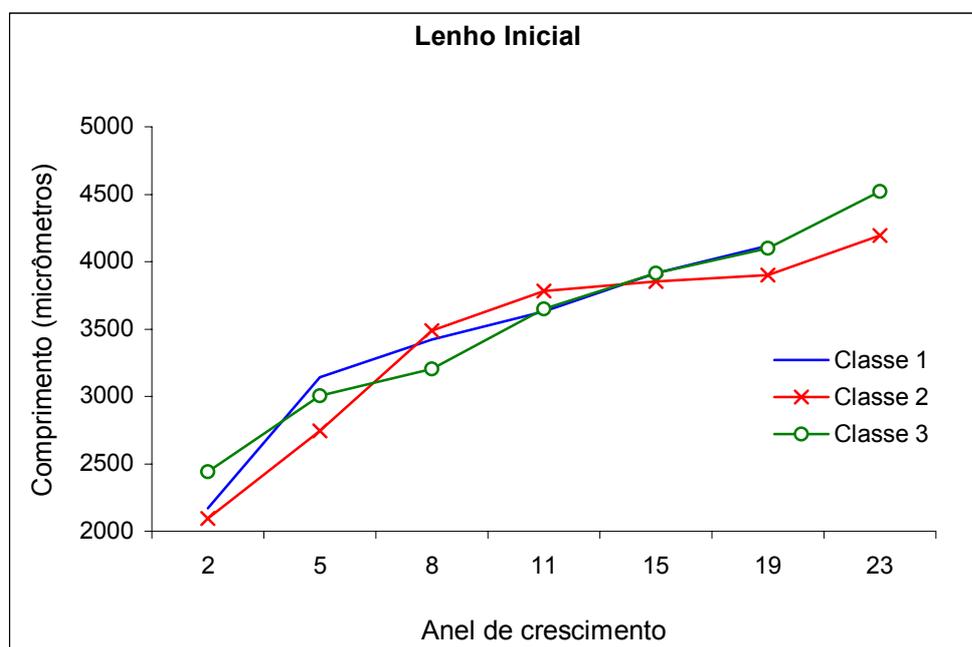
⁵ D. int. I – Diâmetro interno dos traqueóides do lenho inicial

⁶ D. int. T – Diâmetro interno dos traqueóides do lenho tardio

⁷ Esp. I – Espessura da parede dos traqueóides do lenho inicial

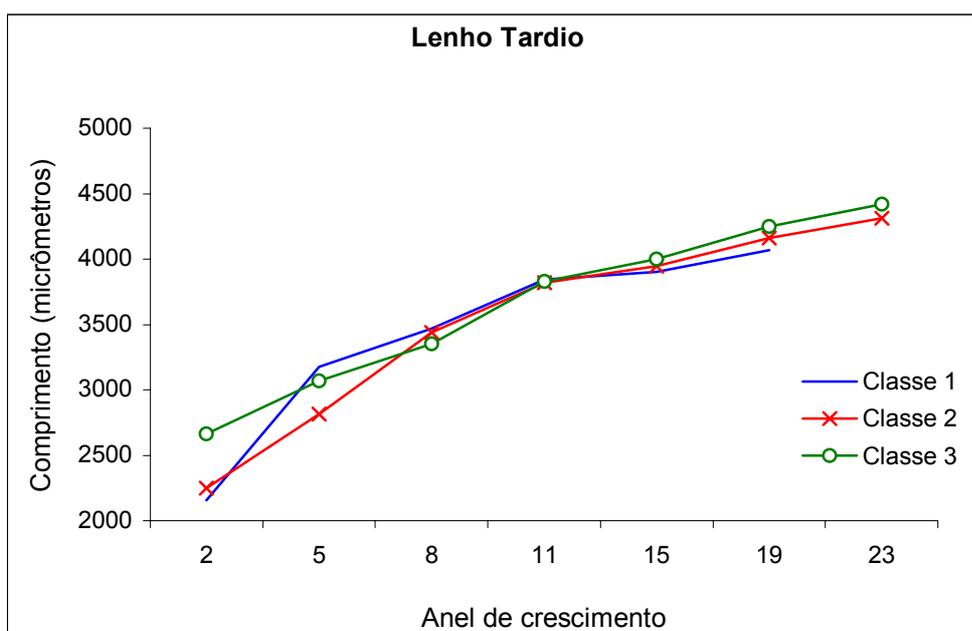
⁸ Esp. T – Espessura da parede dos traqueóides do lenho tardio

GRÁFICO 3 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE COMPRIMENTO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO INICIAL (EM μm) NO SENTIDO MEDULA-CASCA POR CLASSE DIAMÉTRICA



O GRÁFICO 4 é referente ao comprimento médio dos traqueóides axiais, no sentido medula-casca, do lenho tardio. Os dados estão divididos de acordo com as classes diamétricas.

GRÁFICO 4 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE COMPRIMENTO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO (EM μm) NO SENTIDO MEDULA-CASCA POR CLASSE DIAMÉTRICA



O comprimento dos traqueóides apresentou tendência semelhante nos lenhos inicial e tardio e entre as três classes diamétricas. Apesar da proximidade dos valores, há diferença estatística significativa entre ambos os lenhos (ANEXO A1.1). O comprimento dos traqueóides de lenho inicial geralmente é menor do que os de lenho tardio do mesmo anel de crescimento, estando de acordo com LARSON et al. (2001, p. 10). Através da Análise de Variância (ANEXO A1.2) pôde-se observar que as classes diamétricas não apresentam diferença estatística significativa no lenho inicial. No lenho tardio há diferença estatística significativa entre as classes 1 e 3 (ANEXOS A1.3 e A1.4). Neste lenho os maiores valores médios são pertencentes à classe diamétrica 3 e os menores à classe 1. No lenho inicial a classe 3 também apresenta os maiores valores médios e a classe 2 apresenta os menores.

Tanto no lenho inicial quanto no tardio, pode-se observar que há um acréscimo no comprimento dos traqueóides axiais conforme estes se afastam da medula. Esse comportamento representa a tendência normal observada por vários pesquisadores, como FUJIWARA e YANG (2000, p. 338) em seu estudo com espécies canadenses de coníferas e folhosas e WRIGHT e SLUIS-CRÉMER (1992, p. 185), estudando *Pinus taeda* e *P. patula* na África do Sul. Um acréscimo no comprimento dos traqueóides ocasiona um aumento nas resistências ao esticamento, ao estouro, ao rasgo e à tração (WATSON, DADSWELL, 1961, p. 169; FOELKEL, 1976, p. 64; TOMASELLI, 1978, p. 50; DUEÑAS, 1997, p. 251).

Inúmeros pesquisadores, dentre eles MENDONÇA (1982, p. 49) e MUÑIZ (1993, p. 106), observaram uma estabilização nos valores de comprimento dos traqueóides de espécies de *Pinus* a partir do 7º anel anual de crescimento.

Ao serem analisados os comprimentos dos traqueóides relacionados com os anéis, independentemente da classe diamétrica, pôde-se constatar, através do Teste de Tukey (ANEXOS A1.5, A1.6, A1.7 e A1.8), que todos os anéis são diferentes entre si, ou seja, não houve estabilização no comprimento dos traqueóides em nenhum dos lenhos.

FUJIWARA e YANG (2000, p. 338) definem como lenho juvenil a região onde o comprimento das fibras muda gradativamente. Portanto, essa característica pode ser

usada para a diferenciação de lenhos adulto e juvenil, já que no lenho adulto há uma estabilização no comprimento das fibras. Esses mesmos autores afirmam que, para as quatro espécies de coníferas estudadas por eles, a duração do lenho juvenil varia de 14 a 20 anos. Segundo PANSWIN e ZEEUW (1980, p. 255), o lenho juvenil reflete o rápido crescimento em comprimento dos traqueóides, assim como mudanças fundamentais na composição da parede celular associadas com o período de maturação cambial. O lenho adulto representa a estabilização funcional do câmbio, dando origem a traqueóides de comprimentos semelhantes.

6.2.2.2 Diâmetro interno e externo e espessura da parede dos traqueóides

As medições dos diâmetros interno e externo foram feitas nas mesmas amostras. Com os dados obtidos nestas medições fez-se o cálculo da espessura da parede dos traqueóides.

Os GRÁFICOS 5 e 6 representam a distribuição, no sentido medula-casca, dos valores médios de diâmetro externo dos traqueóides por classe diamétrica nos lenhos inicial e tardio, respectivamente.

GRÁFICO 5 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO EXTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO INICIAL NO SENTIDO MEDULA-CASCA POR CLASSE DIAMÉTRICA (EM μm)

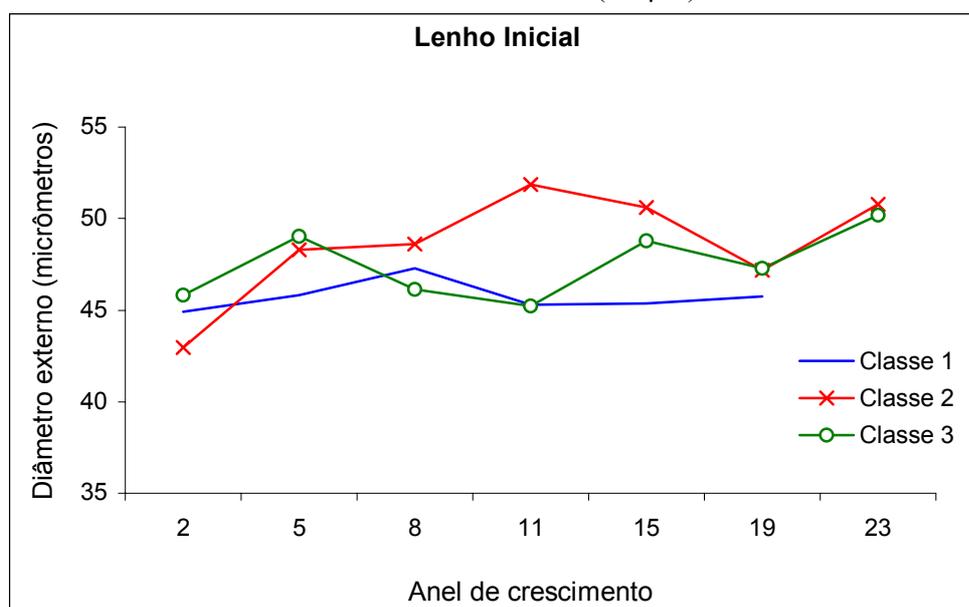
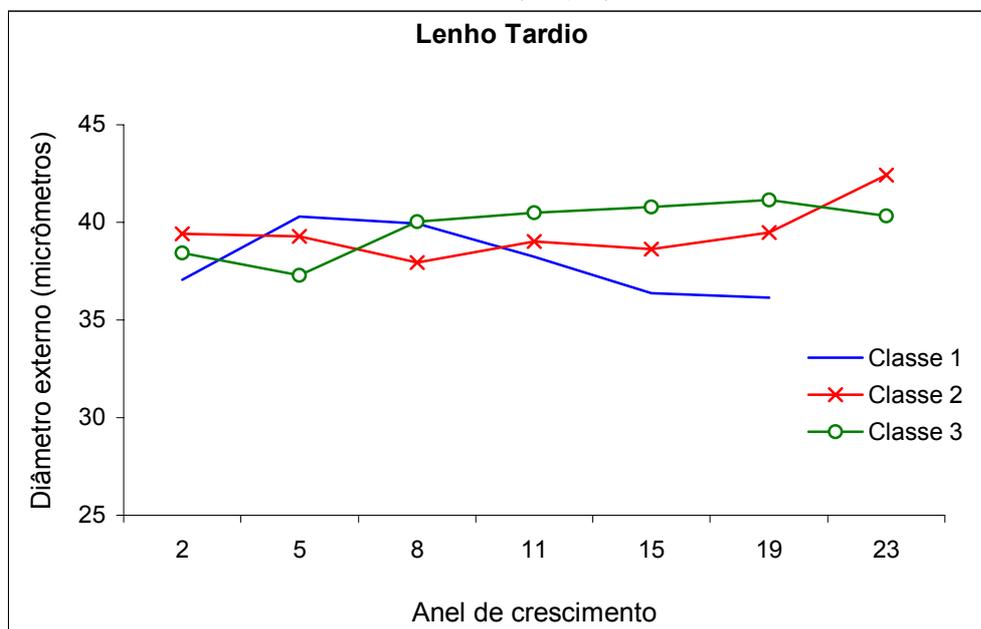


GRÁFICO 6 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO EXTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO NO SENTIDO MEDULA-CASCA POR CLASSE DIAMÉTRICA (EM μm)



Os GRÁFICOS 7 e 8 apresentam a distribuição dos valores médios de diâmetro interno dos traqueóides do lenho inicial e tardio, respectivamente, por classe diamétrica.

GRÁFICO 7 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO INTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO INICIAL NO SENTIDO MEDULA-CASCA POR CLASSE DIAMÉTRICA (EM μm)

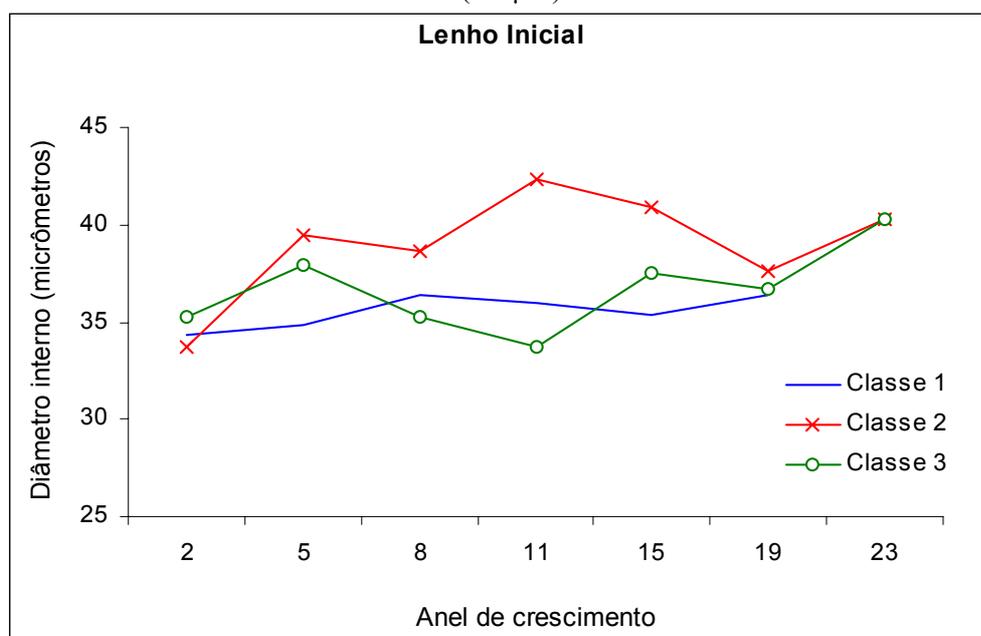
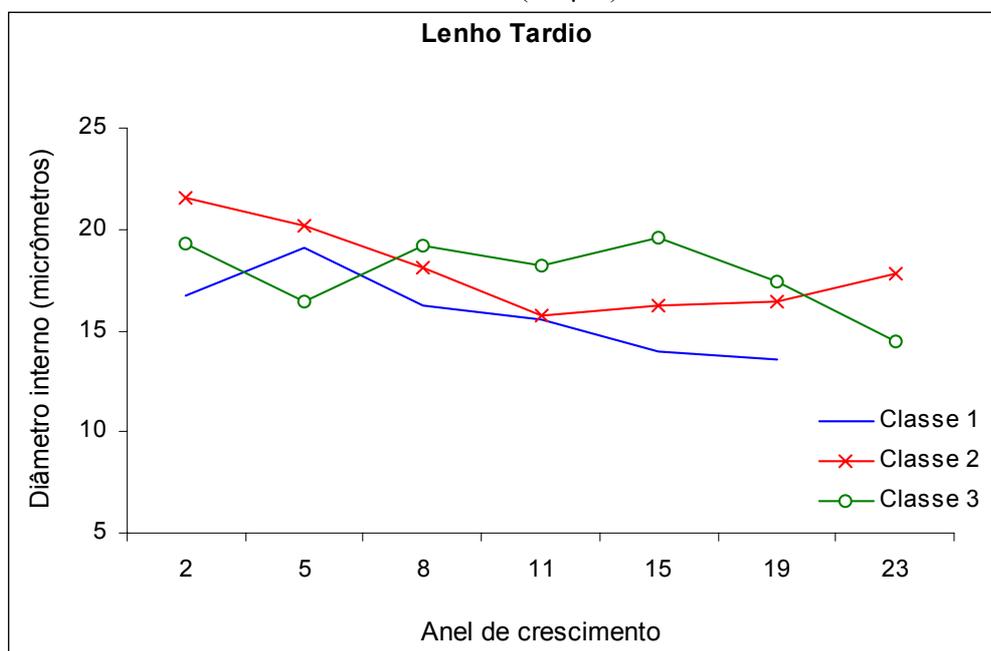


GRÁFICO 8 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO INTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO NO SENTIDO MEDULA-CASCA POR CLASSE DIAMÉTRICA (EM μm)



Os valores do diâmetro externo dos traqueóides, observados nos GRÁFICOS 5 e 6, não apresentam uma tendência de comportamento comum entre classes e entre lenhos, havendo oscilações distintas e sem uma causa aparente definida, diferindo dos resultados encontrados por WRIGHT e SLUIS-CRÉMER (1992, p. 185), em estudo com *Pinus taeda*. Os valores médios dessa característica para o lenho inicial são superiores aos encontrados no lenho tardio. Da mesma forma segue o comportamento da distribuição dos valores para o diâmetro interno (GRÁFICOS 7 e 8), onde a aleatoriedade da distribuição é a característica marcante. Os valores médios desta característica para o lenho inicial são muito superiores aos do lenho tardio e, segundo a Análise de Variância, há diferença estatística significativa entre ambos os lenhos, tanto para os valores de diâmetro externo quanto para os de diâmetro interno (ANEXOS A1.9 e A1.10). Um aumento no diâmetro do lume contribui para um aumento na resistência ao estouro e para a diminuição na resistência ao rasgo (WATSON, DADSWELL, 1961, p. 169; FOELKEL, 1976, p. 64).

Pelos valores obtidos através do Teste de Tukey pode-se constatar a diferença significativa dos valores de diâmetro externo, entre todas as classes no lenho inicial, e entre as classes 1 e 2, e 1 e 3 no lenho tardio (ANEXOS A1.11, A1.12, A1.13 e A1.14).

No lenho inicial a classe 2 apresenta os maiores valores médios para diâmetro externo dos traqueóides, seguido pela classe 3. No lenho tardio a classe 3 apresenta os maiores valores médios enquanto que a classe 1 apresenta os menores.

Há diferença estatística significativa para esta característica entre os anéis de crescimento para ambos os lenhos, podendo ser verificado pelo Teste de Tukey apresentado nos ANEXOS A1.15, A1.16, A1.17 e A1.18. Porém, nota-se também que há tendência à estabilização dos valores já que no lenho inicial os anéis 2 e 23 apresentam diferenças significativas com os demais e no lenho tardio o anel 23 é o único que apresenta diferenças estatísticas significativas com alguns anéis.

Foram feitas Análises de Variância e Testes de Tukey para os valores de diâmetro interno e os resultados estão apresentados nos ANEXOS A1.19 a A1.26. Através destes pode-se verificar que há diferença significativa entre as classes 1 e 2, e 2 e 3 para os valores de lenho inicial e entre as classes 1 e 2, e 1 e 3 para os valores de lenho tardio. A classe 2 apresenta maiores valores médios de diâmetro interno dos traqueóides no lenho inicial enquanto que a classe 3 apresenta os maiores valores no lenho tardio. Porém, neste lenho há pequena diferença entre os valores médios das classes 2 e 3. Há diferença significativa entre os valores de diâmetro interno dos traqueóides de lenho inicial entre os anéis de crescimento, principalmente entre o primeiro e o último anel analisados e os demais. No lenho tardio, pode-se verificar a diferença significativa especialmente entre os dois primeiros anéis estudados (2º e 5º) e os demais.

A distribuição dos valores médios da espessura da parede dos traqueóides das três classes diamétricas pode ser observada nos GRÁFICOS 9 e 10.

GRÁFICO 9 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ESPESSURA DA PAREDE DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO INICIAL NO SENTIDO MEDULA-CASCA POR CLASSE DIAMÉTRICA (EM μm)

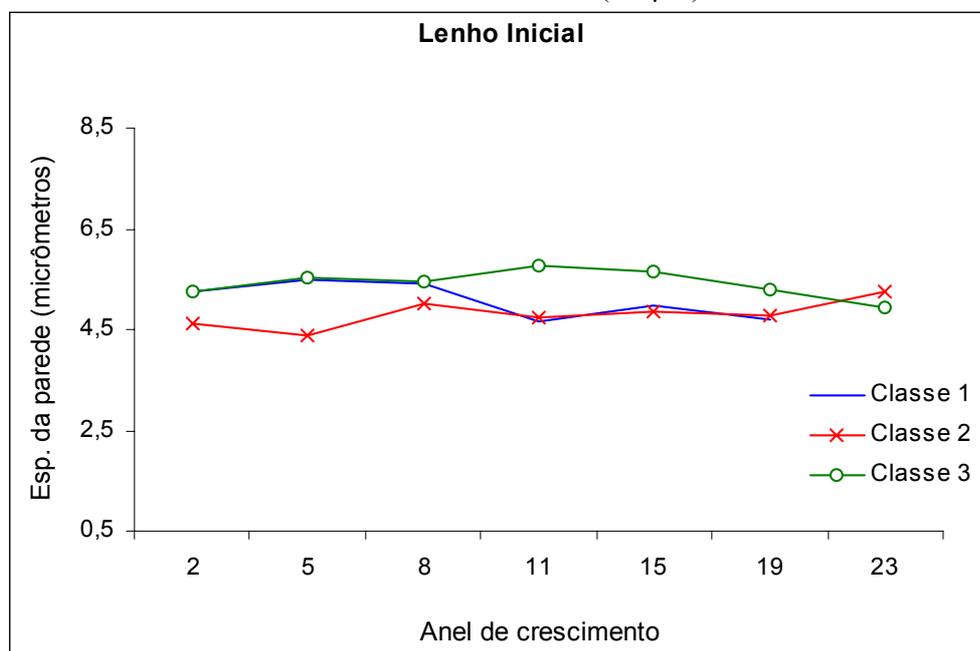
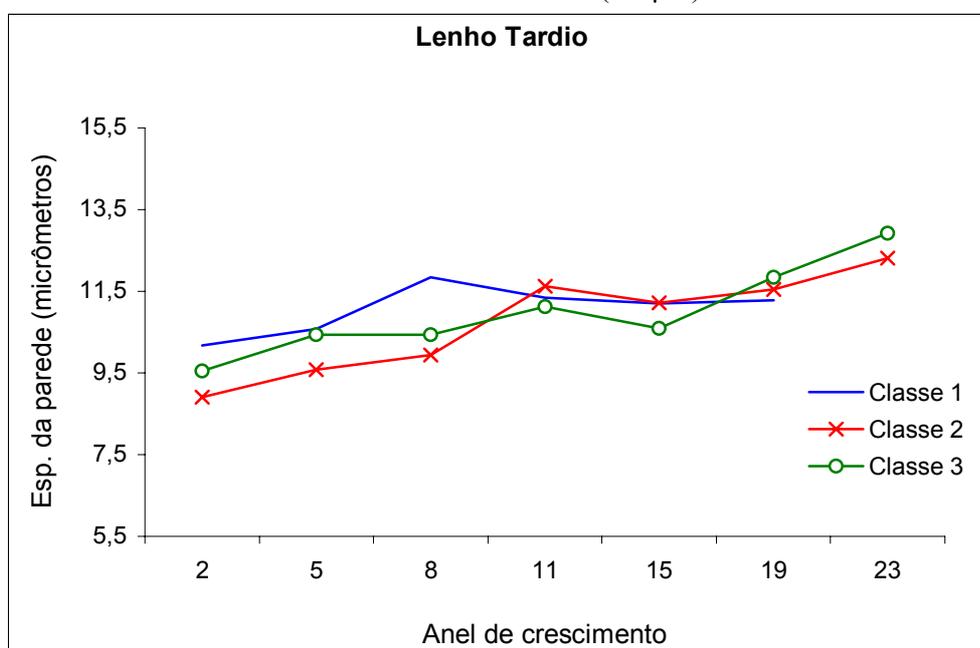


GRÁFICO 10 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ESPESSURA DA PAREDE DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO NO SENTIDO MEDULA-CASCA POR CLASSE DIAMÉTRICA (EM μm)



A espessura da parede celular dos traqueóides no lenho tardio apresenta uma tendência de crescimento conforme se aproxima da casca, concordando com a tendência verificada pelos pesquisadores WRIGHT e SLUIS-CRÉMER (1992, p. 185).

Neste lenho pode-se observar que há uma variação pouco uniforme entre as classes diamétricas. Já o comportamento no lenho inicial não ocorre da mesma forma, sendo bastante aleatório. Os valores encontrados para essa característica são muito superiores no lenho tardio e pode-se constatar através da Análise de Variância (ANEXO A1.27) que há diferença estatística entre ambos os lenhos. Um acréscimo na espessura da parede ocasiona uma diminuição na resistência ao arrebentamento, porém, contribui com o aumento na resistência ao rasgo (WATSON, DADSWELL, 1961, p. 169; FOELKEL, 1976, p. 64).

Com base no Teste de Tukey realizado com os valores de espessura de parede dos traqueóides de lenho inicial entre as três classes diamétricas, pode-se observar que há diferença estatística significativa entre todas as classes. Para os valores do lenho tardio observa-se que essa diferença ocorre somente entre as classes 1 e 2 (ANEXOS A1.28 a A1.31).

No lenho inicial os maiores valores médios de espessura de parede estão presentes na classe 3 e no lenho tardio estão na classe 1. A classe 2 apresenta os menores valores para esta característica em ambos os lenhos.

Pela Análise de Variância nota-se que não há diferença estatística significativa dos valores entre os anéis de crescimento de lenho inicial. Porém, no lenho tardio há diferença estatística significativa entre todos os anéis de crescimento, verificada pelo Teste de Tukey (anexos A1.32 a A1.34).

Com base nos resultados apresentados pode-se observar que os traqueóides da classe diamétrica 1 são os mais curtos, os mais estreitos, possuem os diâmetros de lume menores e que apresentam paredes bastante espessas. As fibras da classe diamétrica 2 possuem comprimento médio (em relação às outras classes), são bastante largas, com diâmetros internos largos e possuem as paredes mais finas. Na classe 3 os traqueóides são os mais longos, com diâmetros externo e interno bastante grandes, e paredes bem espessas.

6.2.2.3 Relações entre as dimensões dos traqueóides

Na TABELA 4 são apresentados os valores médios das relações entre as dimensões dos traqueóides nos lenhos inicial e tardio para cada anel, por classe diamétrica.

TABELA 4 – RELAÇÕES ENTRE AS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES NOS LENHOS INICIAL E TARDIO

Classe	Anel	IE ¹		CFI ²		FP ³		C/E ⁴		IR ⁵	
		Inicial	Tardio	Inicial	Tardio	Inicial	Tardio	Inicial	Tardio	Inicial	Tardio
1	2	50,2	59,3	76,0	44,7	24,0	55,3	457,8	223,1	0,33	1,46
	5	71,1	82,4	75,4	46,5	24,6	53,5	606,4	313,6	0,34	1,31
	8	73,6	88,9	76,6	39,8	23,4	60,2	685,9	305,6	0,32	1,83
	11	82,2	102,8	79,0	40,8	21,0	59,2	866,0	358,3	0,28	1,60
	15	89,0	109,8	77,8	38,6	22,2	61,4	875,7	369,4	0,30	1,78
	19	91,1	114,2	79,2	37,0	20,8	63,0	944,3	367,2	0,27	1,89
	Média	76,2	92,9	77,3	41,2	22,7	58,8	739,4	322,9	0,31	1,64
2	2	50,0	58,7	77,9	53,8	22,1	46,2	503,8	267,4	0,30	0,97
	5	58,0	73,2	81,5	50,8	18,5	49,2	671,1	315,6	0,23	1,10
	8	74,2	94,5	78,9	47,0	21,1	53,0	773,9	367,6	0,28	1,24
	11	74,4	100,5	81,6	40,1	18,4	59,9	886,6	340,8	0,23	1,71
	15	77,8	104,7	80,4	42,0	19,6	58,0	868,1	371,2	0,25	1,49
	19	85,2	108,2	79,3	41,0	20,7	59,0	898,9	380,9	0,27	1,68
	23	84,6	105,3	79,2	41,3	20,8	58,7	867,9	364,4	0,27	1,62
Média	71,3	91,4	79,9	45,4	20,1	54,6	776,3	342,7	0,26	1,39	
3	2	54,2	71,1	76,7	49,3	23,3	50,7	513,0	289,6	0,31	1,13
	5	63,2	86,2	77,2	42,8	22,8	57,2	599,3	304,5	0,30	1,46
	8	71,7	85,6	75,5	47,0	24,5	53,0	643,0	327,5	0,34	1,21
	11	82,0	96,7	74,0	44,5	26,0	55,5	669,9	352,4	0,36	1,32
	15	81,4	99,7	76,6	47,3	23,4	52,7	744,6	404,2	0,31	1,28
	19	88,7	105,4	77,3	42,0	22,7	58,0	855,3	370,6	0,31	1,53
	23	91,3	111,9	80,0	35,1	20,0	64,9	1027,3	351,5	0,26	2,11
Média	74,6	92,1	76,5	44,8	23,5	55,2	693,1	342,1	0,32	1,37	

a) Índice de Enfeltramento (IE)

Há uma tendência de crescimento dos valores de Índice de Enfeltramento conforme se afastam da medula. Essa distribuição está representada na FIGURA 7 (de forma não proporcional entre as linhas). Quanto maior for este índice, mais flexíveis

¹ IE - Índice de Enfeltramento

² CFI - Coeficiente de Flexibilidade

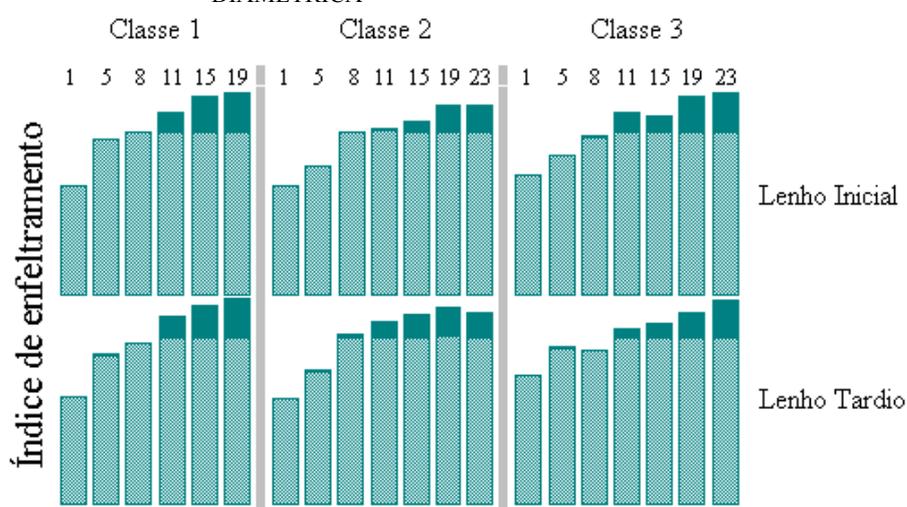
³ FP - Fração parede

⁴ C/E - Relação comprimento / espessura

⁵ IR - Índice de Runkel

são os traqueóides. Geralmente as coníferas possuem fibras com Índice de Enfeltramento superior a 100, o que denota sua qualidade para produção de papel (DUEÑAS, 1997, p. 227). Na madeira estudada, grande parte dos valores de Índice de Enfeltramento dos traqueóides de lenho tardio encontra-se próximo a esse valor. A partir do 11º anel de crescimento pode-se encontrar valores de Índice de Enfeltramento superiores a 100. Esse índice contribui de forma positiva para o aumento na resistência ao estouro do papel (WATSON, DADSWELL, 1961, p. 171; FOELKEL, 1976, p. 64).

FIGURA 7 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE ENFELTRAMENTO, NO SENTIDO MEDULA CASCA, POR CLASSE DIAMÉTRICA

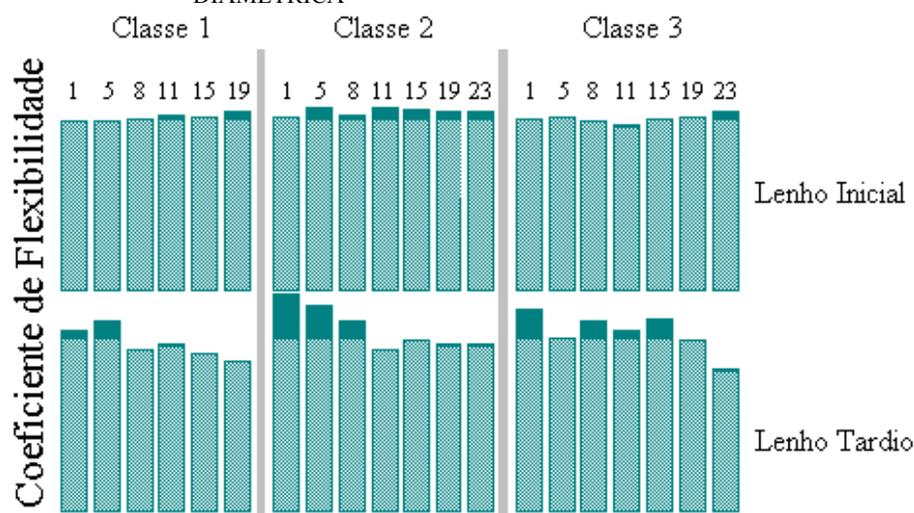


Através do Teste de Tukey pode-se verificar que há diferença estatística significativa desse índice com relação aos anéis em ambos os lenhos (ANEXOS A1.35 a A1.38). Com relação às classes, observa-se que a tendência também é de crescimento, para ambos os lenhos. Os valores de Índice de Enfeltramento no lenho inicial das classes 1 e 3 não apresentam diferença estatística significativa. No lenho tardio não há diferença estatística significativa entre as três classes diamétricas (ANEXOS A1.39 a A1.41). Tanto no lenho inicial quanto no tardio a classe 1 apresenta os maiores valores médios de Índice de Enfeltramento, enquanto que a classe 2 apresenta os menores valores médios. Há diferença estatística significativa entre os lenhos inicial e tardio (ANEXO A1.42).

b) Coeficiente de Flexibilidade (CFI)

Os valores do Coeficiente de Flexibilidade do lenho inicial apresentam uma tendência de leve acréscimo no sentido medula-casca. No lenho tardio os valores apresentam uma tendência bem clara de diminuição conforme se afastam da medula. Essas distribuições (proporcionais somente dentro do mesmo lenho e não entre eles) estão apresentadas na FIGURA 8. Quanto maior for esse coeficiente, mais flexíveis serão as fibras e, portanto, maior será a intensidade de colapso. Isto contribui com o aumento nas resistências ao estouro e à tração do papel (TOMASELLI, 1978, p. 44).

FIGURA 8 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE COEFICIENTE DE FLEXIBILIDADE, NO SENTIDO MEDULA CASCA, POR CLASSE DIAMÉTRICA



Segundo a Análise de Variância efetuada com os valores de lenho inicial, há diferença estatística significativa entre os anéis de crescimento. Para verificar quais anéis eram diferentes estatisticamente efetuou-se um teste de médias (Teste de Tukey). Porém, os resultados encontrados não apontaram diferença estatística significativa do Coeficiente de Flexibilidade entre os anéis de crescimento do lenho inicial (ANEXOS A1.43 e A1.44). Os valores de Coeficiente de Flexibilidade dos traqueóides de lenho tardio apresentam diferença estatística significativa quando relacionados com os anéis de crescimento (ANEXO A1.45 e A1.46).

No lenho inicial não há diferença estatística dos valores do Coeficiente de Flexibilidade somente entre as classes 1 e 3, e no lenho tardio, 2 e 3 (ANEXOS A1.47 a A1.50). Em ambos os lenhos a classe que apresenta maiores valores médios de

Coefficiente de Flexibilidade é a 2. Porém, no lenho inicial a classe 3 apresenta valores muito inferiores a ambas as classes e no tardio o mesmo ocorre com a classe 1.

Através da Análise de Variância pode-se constatar a diferença estatística entre os lenhos inicial e tardio (ANEXO A1.51). Os valores médios do Coeficiente de Flexibilidade dos traqueóides de lenho inicial são maiores do que os obtidos no lenho tardio. Como apresentado anteriormente, quanto maior for o Coeficiente de Flexibilidade, maior será a intensidade de colapsos das fibras. Com isso, deduz-se que os traqueóides de lenho inicial sofrerão mais colapsos e, portanto, darão origem a papéis mais resistentes ao estouro e à tração (WATSON, DADSWELL, 1961, p. 175; TOMASELLI, 1978, p. 44).

c) Fração Parede (FP)

Os valores médios de Fração Parede no lenho inicial apresentam tendência de decréscimo com o afastamento da medula. O valor médio máximo encontrado no lenho inicial é inferior a 40%. No lenho tardio os valores de Fração Parede apresentam tendência de crescimento conforme se aproximam da casca. As distribuições dos valores médios de Fração Parede (proporcionalmente somente dentro de cada lenho) estão apresentadas na FIGURA 9. O valor médio mínimo encontrado é superior a 40%, o que indica que o papel produzido não será de boa qualidade devido à rigidez dessas fibras.

FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE FRAÇÃO PAREDE, NO SENTIDO MEDULA CASCA, POR CLASSE DIAMÉTRICA



Quanto menor for a Fração Parede, maior será o esticamento, a resistência ao estouro e à tração do papel (WATSON, DADSWELL, 1961, p. 175).

No lenho inicial os valores de Fração Parede apresentam diferença estatística significativa quando comparados em relação aos anéis de crescimento pela Análise de Variância. Porém, quando os mesmos dados são submetidos ao Teste de Tukey, observa-se que não há diferença estatística entre anéis (ANEXO A1.52 e A1.53). No lenho tardio nota-se que há diferença estatística entre os valores de Fração Parede quando relacionados com os anéis de crescimento (ANEXO A1.54 e A1.55).

Com relação às classes diamétricas, observa-se que há diferença estatística entre as classes 1 e 2 e entre 2 e 3 no lenho inicial. Os valores de Fração Parede dos traqueóides de lenho tardio também diferem estatisticamente com relação aos anéis e às classes, sendo que há diferença entre as classes 1 e 2 e entre 1 e 3 (ANEXOS A1.56 a A1.59). No lenho inicial a classe 3 apresenta os maiores valores médios de Fração Parede. A classe 2 apresenta os menores valores para esta relação em ambos os lenhos. No lenho tardio os maiores valores médios são pertencentes à classe 1.

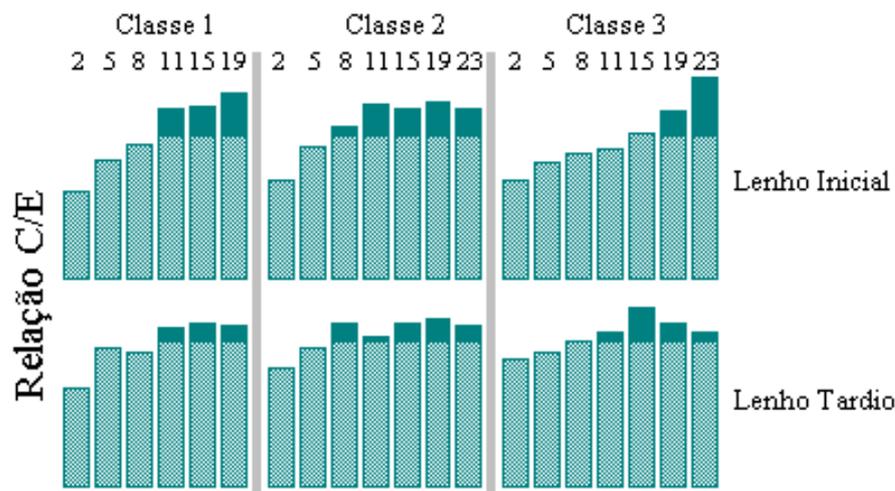
Através da Análise de Variância feita entre os lenhos inicial e tardio pode-se verificar que há diferença estatística entre ambos os lenhos para os valores de Fração Parede (ANEXO A1.60), sendo que o lenho tardio apresenta notadamente os maiores valores.

d) Relação C/E

A relação entre comprimento dos traqueóides e espessura da parede celular em ambos os lenhos apresentou tendência clara de crescimento no sentido medula-casca. Isto pode ser observado na FIGURA 10, onde as distribuições são apresentadas de forma proporcional somente dentro da mesma linha. Os valores da Relação C/E no lenho inicial são muito superiores aos do lenho tardio, podendo-se constatar que há diferença estatística significativa entre esses dois lenhos através da Análise de Variância (ANEXO A1.61). Com relação aos anéis de crescimento, há diferença estatística significativa tanto entre os valores da Relação C/E do lenho inicial quanto entre os do tardio (ANEXOS A1.62 a A1.65). Quanto às classes diamétricas, no lenho inicial as classes 2 e

3 são estatisticamente diferentes. Porém, o oposto ocorre no lenho tardio, ou seja, há diferença estatística entre os valores das classes 1 e 2, e 1 e 3 (ANEXOS A1.66 a A1.69). A classe 2 apresentou os maiores valores médios para a Relação C/E em ambos os lenhos. Contudo, no lenho inicial a classe 3 apresentou os menores valores médios e no tardio estes valores são pertencentes à classe 1.

FIGURA 10 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE RELAÇÃO C/E, NO SENTIDO MEDULA-CASCA, POR CLASSE DIAMÉTRICA



e) Índice de Runkel (IR)

Com relação ao Índice de Runkel, pode-se observar que não há muita variação entre os valores médios encontrados para ambos os lenhos. Entretanto, há diferença estatística significativa com relação aos lenhos inicial e tardio (ANEXO A1.70). A tendência para o lenho inicial é de leve decréscimo em direção à casca, enquanto que no lenho tardio a tendência é de leve crescimento no sentido medula-casca. Com relação aos anéis de crescimento, nota-se que há diferença estatística significativa para os valores de lenho inicial quanto submetidos à Análise de Variância. Entretanto, os mesmos dados submetidos ao Teste de Tukey não apresentam diferença estatística significativa (ANEXOS A1.71 e A1.72). Os valores de Índice de Runkel dos traqueóides de lenho tardio apresentam diferença estatística significativa quando relacionados com os anéis de crescimento (ANEXO A1.73 e A1.74).

No lenho inicial os valores do Índice de Runkel são estatisticamente diferentes para as classes 1 e 2, e 2 e 3. Já no lenho tardio, as classes que apresentam diferença

estatística significativa são 1 e 2, e 1 e 3 (ANEXOS A1.75 a A1.78). Os maiores valores médios dos lenhos inicial e tardio estão presentes nas classes 3 e 1, respectivamente. Os menores valores no lenho inicial estão presentes na classe 2. No lenho tardio esses valores são pertencentes à classe 3, seguida pela classe 2. As tendências de distribuição dos valores médios de Índice de Runkel estão apresentadas na FIGURA 11 (de forma não proporcional entre linhas).

FIGURA 11 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE RUNKEL, NO SENTIDO MEDULA-CASCA, POR CLASSE DIAMÉTRICA



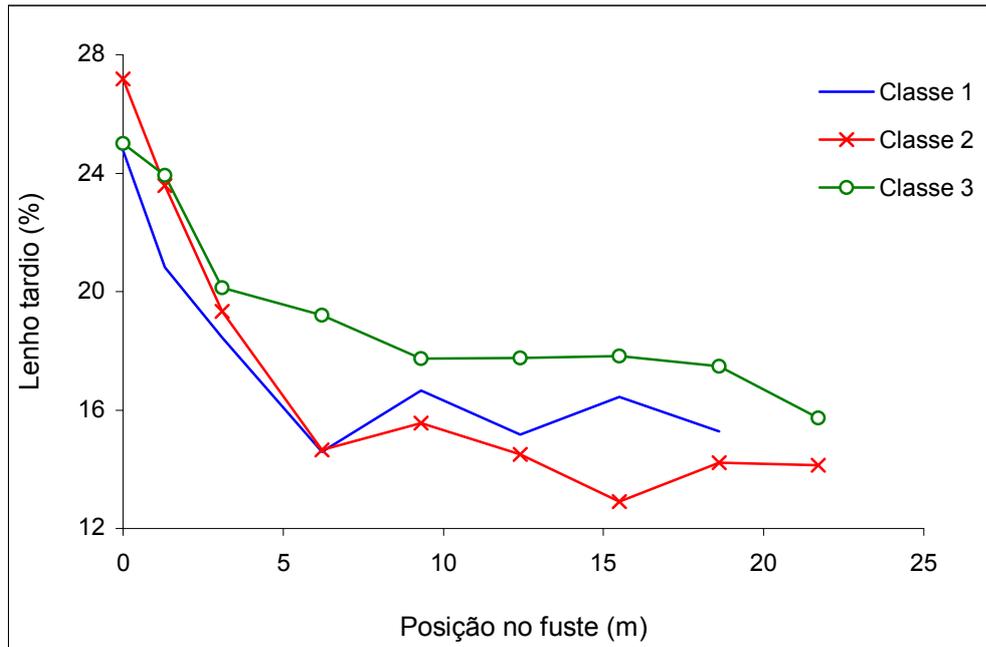
Quanto maior for o Índice de Runkel, menor será a resistência ao arrebentamento e maior será a resistência ao rasgo (WATSON, DADSWELL, 1961, p. 169; FOELKEL, 1976, p. 64).

Segundo uma classificação apresentada por TOMASELLI (1978, p. 44), os papéis podem ser recomendados para uso de acordo com o Índice de Runkel. Com base nos resultados obtidos, os papéis produzidos seriam classificados como “bom” para os traqueóides de lenho inicial e “pouco recomendável” para as fibras de lenho tardio.

6.3 PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO

Os valores médios da porcentagem de lenho tardio nos 10 anéis mais próximos da medula estão dispostos no GRÁFICO 11.

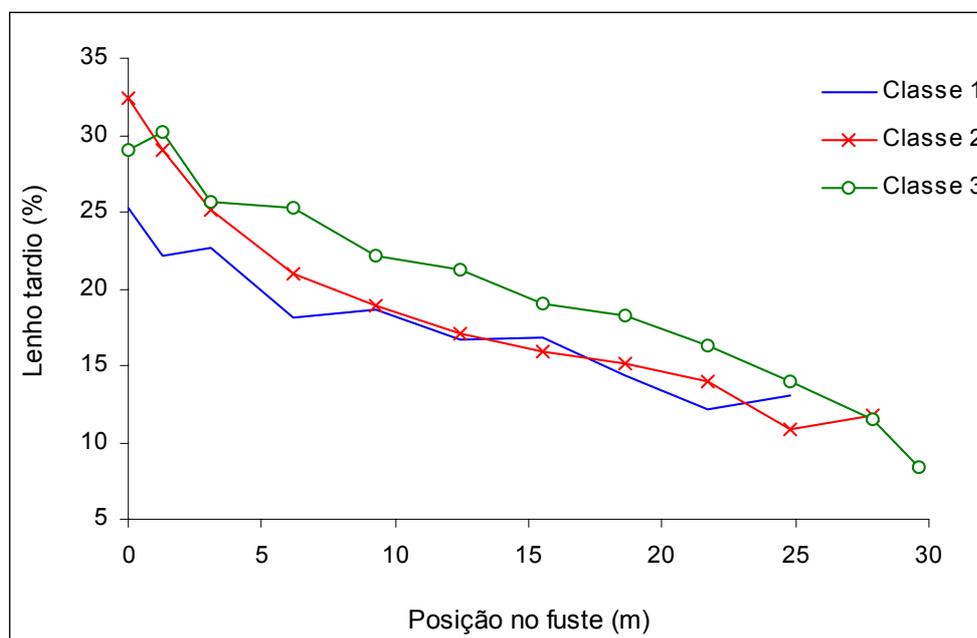
GRÁFICO 11 – DISTRIBUIÇÃO DA PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO NOS 10 PRIMEIROS ANÉIS AO LONGO DO FUSTE PARA AS TRÊS CLASSES DIAMÉTRICAS



A tendência é de diminuição da porcentagem de lenho tardio – dos 10 anéis mais próximos da medula – ao longo da altura da árvore. A classe 2 é a que apresenta menores valores médios de porcentagem de lenho tardio nos dez primeiros anéis, seguida pela classe 1. Mesmo havendo essa disparidade entre as classes, os valores médios obtidos não apresentam diferença estatística entre as três classes diamétricas (ANEXO A1.79). Há diferença estatística significativa entre a porcentagem de lenho tardio das amostras analisadas a diferentes alturas. Contudo, nota-se uma tendência à estabilização dos valores conforme aumenta a altura da árvore (ANEXOS A1.80 e A1.81).

A distribuição ao longo do fuste da porcentagem total de lenho tardio para as três classes pode ser observada no GRÁFICO 12.

GRÁFICO 12 – DISTRIBUIÇÃO DA PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO TOTAL AO LONGO DO FUSTE PARA AS TRÊS CLASSES DIAMÉTRICAS



Os valores médios obtidos para a porcentagem de lenho tardio total não apresentam diferença estatística significativa para as três classes diamétricas. A porcentagem de lenho tardio total da classe 2 é levemente superior à da classe 1 e ligeiramente inferior à da classe 3 (ANEXO A1.82).

No GRÁFICO 10 pode-se observar que a porcentagem de lenho tardio decresce ao longo do fuste de forma semelhante nas três classes diamétricas. Isso já era esperado uma vez que nos discos retirados nas partes mais altas das árvores há somente madeira juvenil, a qual é caracteristicamente formada por largas faixas de lenho inicial e pouco lenho tardio (LARSON et al., 2001, p. 3). Há diferença estatística significativa entre as porcentagens de lenho tardio tomadas a diferentes alturas do fuste (ANEXOS A1.83 e A1.84).

Foram obtidos valores médios de porcentagem de lenho tardio à altura do peito de 22,1, 29,0 e 30,2% para as classes 1, 2 e 3, respectivamente. Esses resultados são inferiores aos obtidos por vários autores, como WRIGHT e SLUIS-CRÉMER (1992, p. 185). Em seu estudo com árvores de *Pinus taeda* e *P. patula* com 17 anos, foram obtidos valores médios de porcentagem de lenho tardio à altura do peito de 34,1 e 31,0%, respectivamente. WATSON e DADSWEEL (1962, p. 119), estudando a

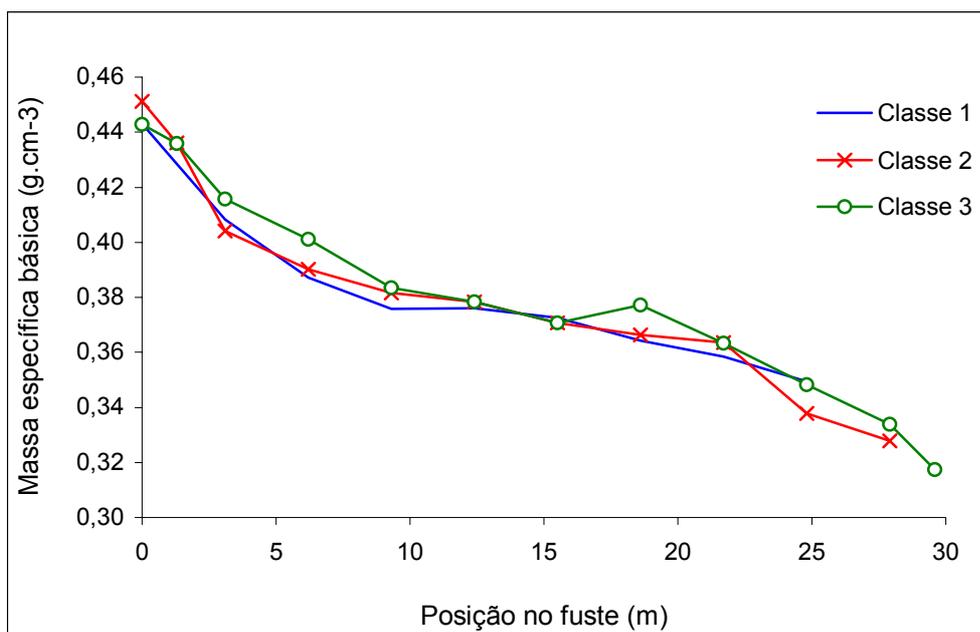
influência da porcentagem de lenho tardio nas propriedades da celulose, determinaram para *Pinus taeda* de 23 anos uma porcentagem de lenho tardio em torno de 38%.

Segundo FOELKEL (1976, p. 64), quanto maior for a porcentagem de lenho tardio, menor será a resistência ao estouro, entretanto, maior será a resistência ao rasgo. WATSON e DADSWELL (1962, p. 121) afirmam que papéis com uma quantidade de 20 a 50% de lenho tardio apresentam aumento na resistência ao rasgo sem que haja prejuízo em propriedades como o estouro. Contudo, a proporção ótima entre lenho inicial e tardio depende de vários fatores como o uso final do papel, o qual determinará as propriedades necessárias.

6.4 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA

As médias ponderadas das massas específicas para as classes diamétricas 1, 2 e 3 foram, respectivamente, 0,393, 0,389 e 0,395 g.cm^{-3} . A distribuição dos valores médios de massa específica ao longo do fuste para as três classes diamétricas pode ser verificada no GRÁFICO 13.

GRÁFICO 13 – DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA AO LONGO DO FUSTE PARA CADA CLASSE DIAMÉTRICA



Não há diferença estatística significativa entre as três classes, quando relacionadas com massa específica. As três classes diamétricas apresentaram valores médios muito próximos, sendo que classe 1 é a que apresentou maior valor médio de massa específica, seguido pela classe 3 (ANEXO A1.85). Há um comportamento semelhante dos valores de massa específica ao longo do fuste para as três classes diamétricas, indicando pouca influência da classe diamétrica na massa específica.

Há diferença estatística significativa entre as massas específicas das amostras tomadas a diferentes alturas da árvore (ANEXOS A1.86 e A1.87).

Segundo PANSIN e ZEEUW (1980, p. 277), o comportamento da massa específica ao longo do fuste observado – de decréscimo da base em direção ao topo – é característico das madeiras de rápido crescimento, como o *Pinus taeda*.

A massa específica, por apresentar alta correlação com as características anatômicas da madeira, é um fator importante para a obtenção da polpa celulósica e para a produção de papel (WRIGHT e SLUIS-CRÉMER, 1992, p. 183). Quanto maior for a massa específica, maior será a resistência ao rasgo e menor será a resistência ao estouro (FOELKEL, 1976, p. 64).

6.4.1 Correlações entre massa específica básica e características morfológicas dos traqueóides

As correlações entre as características morfológicas e a massa específica básica foram feitas com base nas médias à altura do peito por árvore. Os valores encontrados dessas correlações foram muito baixos na maioria dos casos (ANEXO A2.1). Isto indicaria que as características anatômicas não exerceriam influências na massa específica. Porém, sabe-se que características como a espessura da parede dos traqueóides estão intimamente relacionadas com a massa específica básica da madeira (LARSON et al., 2001, p. 9). O comprimento dos traqueóides de lenho tardio foi a

única característica anatômica que apresentou uma correlação com a massa específica superior a 50%.

A classe 3 foi a que apresentou maior quantidade de correlações acima de 50% entre as características morfológicas e a massa específica. A classe 1 apresentou a maior quantidade de correlações negativas, principalmente entre o comprimento dos traqueóides de lenho inicial e as demais variáveis. Há correlações bastante altas entre o comprimento dos traqueóides do lenho tardio e as demais variáveis, com exceção da espessura da parede dos traqueóides de lenho inicial.

A correlação entre comprimento de traqueóides e massa específica é, segundo LARSON et al. (2001, p. 10), baixa ou até negativa. Quando verificada entre essa mesma característica morfológica e a porcentagem de lenho tardio, estes autores citam haver correlação positiva. Entretanto, os resultados encontrados nas três classes diamétricas separadamente foram diferentes. Entre a massa específica e o comprimento dos traqueóides houve correlação baixa e alta, dependendo da classe diamétrica. Entre a porcentagem de lenho tardio e o comprimento, verificou-se a presença de correlações muito baixas, se não negativas.

Na classe diamétrica 2 nota-se que a correlação entre o diâmetro externo e a espessura da parede dos traqueóides de lenho tardio e a porcentagem de lenho tardio apresentam correlações altas, estando de acordo com o exposto por PANSWIN e ZEEUW (1980, p. 274). O mesmo não ocorreu nas demais classes diamétricas.

A característica morfológica que apresentou menores valores de correlações em todas as classes diamétricas foi a espessura da parede dos traqueóides de lenho inicial. Os quadros de correlações por classe diamétrica estão apresentados como ANEXOS A2.2, A2.3 e A2.4.

6.4.2 Correlação entre massa específica básica e porcentagem de lenho tardio

A correlação verificada entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio total foi alta (73%) quando analisada nas diferentes alturas do fuste. As correlações entre a porcentagem de lenho tardio total e a massa específica foram altas para todas as classes, sendo de 68, 69 e 88% para as classes 1, 2 e 3, respectivamente. Esses resultados estão em concordância com o exposto por LARSON et al. (2001, p. 6).

Segundo PANSIN e ZEEUW (1980, p. 274), a massa específica e a porcentagem de lenho tardio estão intimamente relacionadas devido às características das fibras de lenho tardio - em especial o diâmetro externo e a espessura da parede -, as quais contribuem com o aumento na massa específica proporcionalmente ao aumento na porcentagem de lenho tardio.

A correlação observada somente para os valores à altura do peito foi muito inferior (37%) às anteriormente citadas. Entretanto, na classe 2 nota-se uma alta correlação (79%) entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio da madeira na altura do peito (ANEXOS A2.1, A2.2, A2.3 e A2.4).

6.5 PROPRIEDADES DA CELULOSE E DO PAPEL

Para a obtenção da celulose e posterior fabricação do papel, subdividiu-se as árvores das classes diamétricas 2 e 3 em três amostras: base, topo e costaneira. A classe diamétrica 1 foi considerada amostra única.

6.5.1 Rendimento de celulose e número *kappa*

O grau de deslignificação ou a branqueabilidade é determinada através da obtenção do número *kappa*. Com este valor é possível se determinar a quantidade de lignina residual na polpa celulósica. Na TABELA 5 são apresentados valores médios de rendimento de celulose e número *kappa* da pasta celulósica produzida.

TABELA 5 – RENDIMENTO DE CELULOSE E NÚMERO *KAPPA* DE ACORDO COM AS CLASSES DIAMÉTRICAS

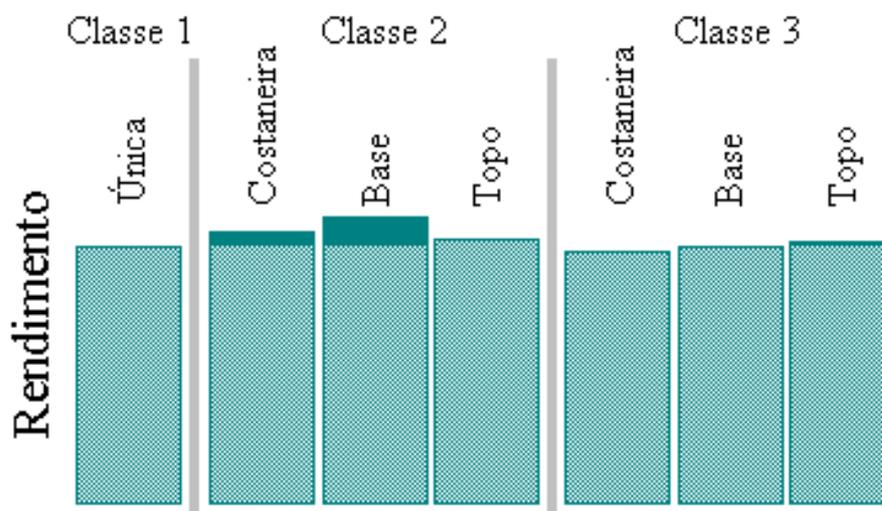
Classe	Amostra	Rendimento (%)	Nº <i>kappa</i>
1	Única	48,20	35,31
	Costaneira	51,04	37,55
2	Base	53,36	36,16
	Topo	49,12	36,38
	Costaneira	47,12	38,05
3	Base	48,22	37,69
	Topo	48,52	35,22

Os valores dos rendimentos médios obtidos são próximos da variação esperada para obtenção de celulose de coníferas pelo processo *kraft* que, segundo SMOOK (1994, p. 44), devem estar entre 40 e 50%. A tendência de distribuição dos valores de rendimento está apresentada na FIGURA 12.

Os valores aqui encontrados são superiores aos encontrados por KLOCK (2000, p. 297) em seu trabalho com *Pinus maximinoi* e *P. taeda*, cujos rendimentos brutos foram de 45,26 e 45,76%, respectivamente. MENDONÇA (1982, p. 80) obteve

rendimentos brutos de celulose de *Pinus elliottii* de 48,9, 50,6 e 49,6%, para árvores com 10, 13 e 17 anos, respectivamente.

FIGURA 12 – TENDÊNCIA DE DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE RENDIMENTO DE CELULOSE POR CLASSE DIAMÉTRICA E POR AMOSTRA



Na classe 1 o rendimento apresenta um valor mediano, já que nesta amostra foram misturadas as madeiras de topo, base e costaneira.

Com relação à classe diamétrica 2, a parte da árvore que apresenta o menor rendimento de celulose é o topo. Esta madeira, por ser composta somente por lenho juvenil e, conseqüentemente, possuir fibras mais curtas e de paredes finas, maior teor de lignina e menor de celulose, apresenta rendimentos menores (WRIGHT, SLUIS-CRÉMER, 1992, p. 184; IPT, 1998, p. 198). Além disso, o topo apresenta baixos valores de massa específica que, segundo FOELKEL (1976, p. 63), está intimamente ligada a maiores rendimentos de polpa.

A polpa celulósica que apresentou menor rendimento médio foi aquela obtida a partir da costaneira das árvores da classe 3. A madeira oriunda da base apresenta menor rendimento devido à grande quantidade de lenho juvenil, o qual é composto por grandes quantidades de lenho inicial (LARSON et al., 2001, p. 6). Este apresenta menor rendimento de celulose devido ao maior teor de lignina e extrativos do que o lenho tardio. Além disso, os traqueóides de lenho inicial possuem paredes mais delgadas e, portanto, menor massa específica (IPT, 1998, p. 197).

Os valores de número *kappa* encontrados são superiores aos indicados por DUEÑAS (1997, p. 210), sendo que para polpa de coníferas obtida pelo processo *kraft* deve estar num intervalo entre 27 e 33.

O menor número *kappa* determinado foi obtido com a madeira do topo das árvores da classe diamétrica 3. Isto ocorreu devido à maior quantidade de lenho inicial, resultando numa maior facilidade de deslignificação da polpa. O maior número *kappa* obtido foi obtido da madeira oriunda da costaneira também da classe 3. Isto é explicado pela maior porcentagem de lenho tardio em relação às outras partes da árvore e às outras classes diamétricas.

6.5.2 Propriedades físicas e mecânicas do papel

Após a confecção dos papéis com as classes subdivididas em amostras, foram determinadas propriedades físicas como gramatura, densidade aparente e espessura das folhas (TABELA 6), e propriedades mecânicas como esticamento, resistência à tração, ao rasgo, ao arrebentamento (ou estouro) e permeância ao ar (TABELA7).

TABELA 6 – VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO PAPEL NAS TRÊS CLASSES DIAMÉTRICAS

Classe	Amostra	Gramatura (g.m ⁻²)	Espessura (µm)	Densidade aparente (g.cm ⁻³)
1	Única	82,7	760	1,313
	Costaneira	78,5	755	1,374
2	Base	78,9	739	1,337
	Topo	80,3	712	1,267
3	Costaneira	79,5	752	1,352
	Base	80,7	742	1,314
	Topo	80,9	722	1,275

A variação na gramatura das folhas de papel foi pequena, estando perto do valor previamente estabelecido (80 g.m⁻²).

De todas as amostras a que apresentou maior valor médio de espessura foi a oriunda da classe diamétrica 1. O papel feito a partir da madeira de topo da classe 1 foi

o que apresentou menor espessura. Para as classes 2 e 3 a madeira de costaneira deu origem a papéis com maiores espessuras e a de topo originou folhas menos espessas. Isto deve-se à propensão das fibras de lenho inicial ao colapso. Como a madeira de topo possui maior porcentagem deste lenho, o papel originado é menos espesso, e a madeira de costaneira, por possuir maior porcentagem de lenho tardio e faixas de lenho inicial estreitas, dá origem a papéis mais espessos.

Com relação à densidade aparente, para as classes 2 e 3, a madeira de costaneira deu origem a papéis com os maiores valores e a madeira de topo originou folhas com os menores. A classe 1 apresentou papéis com maiores densidades aparentes quando comparada com as outras classes diamétricas. Esses valores foram muito superiores aos encontrados por KLOCK (2000, p. 298) em seu estudo com *Pinus maximinoi* e *P. taeda*.

TABELA 7 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS NOS ENSAIOS MECÂNICOS DO PAPEL POR CLASSE DIAMÉTRICA

Classe	Amostra	Fator de tração (km)	Esticamento (%)	Fator de estouro	Fator de rasgo	Permeância ao ar (s)
1	Única	6,0	1,7	42	291	2,9
	Costaneira	5,5	1,4	36	351	0,9
2	Base	5,6	1,7	39	321	1,5
	Topo	6,5	1,8	47	233	3,0
3	Costaneira	5,8	1,7	42	307	1,6
	Base	5,7	1,8	43	272	1,8
	Topo	6,9	1,6	53	227	3,4

Os tratamentos que apresentaram maiores resistências à tração foram os da madeira de topo, para as classes diamétricas 2 e 3, seguidos pela amostra única da classe 1, em concordância com IPT (1998, p. 198).

Segundo LABOSKY, IFJU e GROZDITS (1984, p. 479), em cozimentos longos (180 minutos), a resistência à tração aumenta devido à maior remoção de lignina residual, o que contribui com o aumento do número de ligações entre traqueóides e da flexibilidade das fibras. A madeira de topo, por ser constituída somente por lenho juvenil, possui maiores faixas de lenho inicial com traqueóides de lumes grandes, maior quantidade de pontoações e maior número de raios, contribuindo com a penetração do licor (IPT, 1998, p. 180). O processo de cozimento com essa

madeira é mais eficiente por ocasionar uma maior remoção de lignina, contribuindo com o aumento da flexibilidade dos traqueóides e com o número de ligações entre estes.

Os papéis produzidos com madeiras de base e costaneira apresentaram menores valores de resistência à tração e ao estouro em comparação com o papel produzido com a madeira de topo. Isto deve-se à maior porcentagem de lenho tardio e à presença de traqueóides com paredes espessas, menos propensos ao colapso.

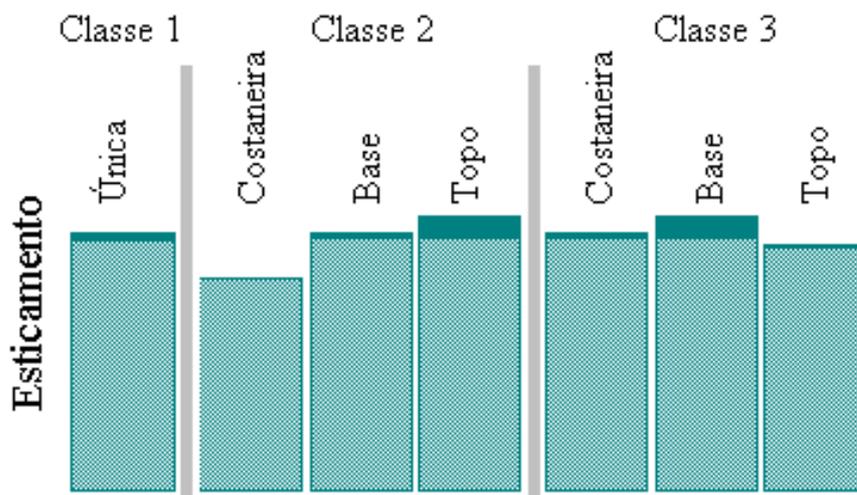
O papel feito a partir das árvores da classe diamétrica 2 apresentou maiores resistências à tração quando comparado com a classe 3. A classe 1 apresentou valor de resistência à tração mediano quando comparado com as demais classes. A tendência de resistência à tração dos papéis está apresentada na FIGURA 13.

FIGURA 13 – TENDÊNCIA DE DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DOS PAPÉIS, POR CLASSE DIAMÉTRICA E POR AMOSTRA



Com relação ao esticamento, os valores encontrados são muito próximos e os resultados não apresentam um padrão para as classes diamétricas. A costaneira da classe 2 é a que deveria apresentar maiores resistências ao estouro e à tração e maior esticamento, pois os valores de Fração Parede dessa classe são os menores (WATSON, DADSWELL, 1961, p. 175). Porém, o que pode ser observado é o oposto, já que a classe diamétrica 2 é a que apresenta menor esticamento (FIGURA 14).

FIGURA 14 – TENDÊNCIA DE DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE ESTICAMENTO DOS PAPÉIS, POR CLASSE DIAMÉTRICA E POR AMOSTRA



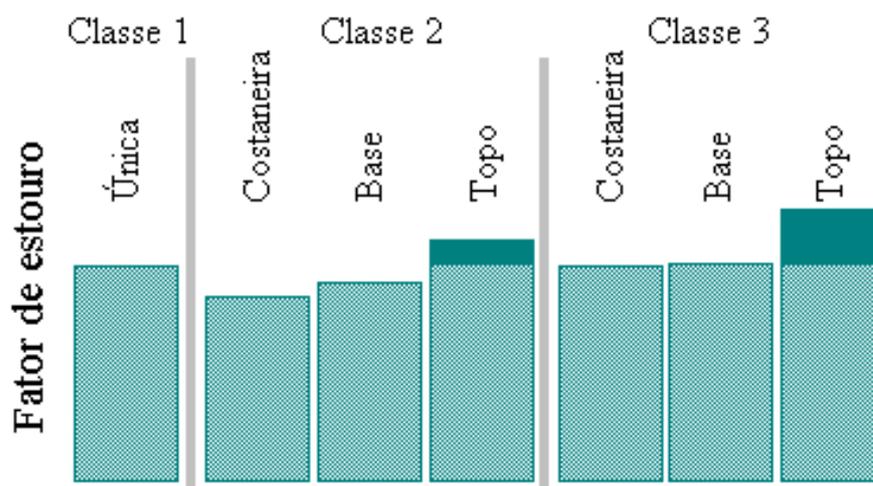
O esticamento é influenciado de maneira positiva pelo comprimento dos traqueóides, pelo Coeficiente de Flexibilidade e pela densidade aparente do papel. Além disso, essa propriedade é muito dependente do procedimento utilizado para a formação do papel, pois no processo de secagem ocorre a contração das folhas (FOELKEL, 1976, p. 64).

Os valores encontrados para o estouro apresentam uma tendência bem clara. O papel feito com a madeira de topo foi o que apresentou maiores valores de resistência, em concordância com IPT (1998, p. 198). Isto se deve à composição da madeira de topo, a qual é formada principalmente por traqueóides de paredes finas. Estes facilmente sofrem colapso durante as operações de refino, contribuindo com o aumento nas ligações entre traqueóides. WRIGHT e SLUIS-CRÉMER (1992, p. 184), em estudo com *P. taeda*, *P. elliottii* e *P. caribaea* e outras espécies, concluíram que os maiores valores de resistência ao estouro são obtidos com papéis produzidos com traqueóides de paredes delgadas.

Um acréscimo na espessura da parede ocasiona uma diminuição na resistência ao arrebentamento (WATSON, DADSWELL, 1961, p. 169; FOELKEL, 1976, p. 64). Contudo, a classe 2, que apresenta os menores valores médios de espessura da parede em ambos os lenhos, apresenta os menores valores de resistência ao estouro. Isto demonstra a variabilidade da madeira de *Pinus taeda* e a possibilidade de influência de outros fatores nas propriedades do papel. Desta forma, sugere-se a utilização de um

maior número de amostras para análise. A tendência de distribuição dos valores está apresentada na FIGURA 15.

FIGURA 15 – TENDÊNCIA DE DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE RESISTÊNCIA AO ESTOURO DOS PAPÉIS, POR CLASSE DIAMÉTRICA E POR AMOSTRA



Segundo WATSON e DADSWELL (1961, p. 171) e FOELKEL (1976, p. 64), a resistência ao arrebentamento apresenta correlação negativa com: massa específica da madeira, porcentagem de lenho tardio e espessura da parede celular. Há correlação positiva entre a resistência ao arrebentamento e comprimento da fibra e coeficiente de flexibilidade.

A madeira proveniente da subdivisão costaneira foi a que deu origem a papéis com maiores resistências ao rasgo. Os corpos de prova menos resistentes neste ensaio foram os originários da madeira de topo. Estes resultados confirmam as afirmações feitas pelo IPT (1998, p. 198). WRIGHT e SLUIS-CRÉMER (1992, p. 184) observaram que os valores de maior resistência ao rasgo foram obtidos com papéis feitos com traqueóides de paredes espessas em *P. taeda*, *P. elliotii* e *P. caribaea* dentre outros. Isto deve-se à resistência dos traqueóides de paredes espessas às operações de refino. Como a madeira de costaneira é formada em grande parte por madeira adulta, a qual possui traqueóides de maiores comprimentos e espessuras de parede, é esperado que o papel produzido com esta apresente maior resistência ao rasgo.

Segundo COWN e KIBBLEWHITE (1980, p. 529), além do comprimento dos traqueóides e da espessura da parede celular, a resistência ao rasgo é afetada de forma

positiva também pela massa específica do alburno e pela porcentagem de lenho tardio. O diâmetro do lume apresenta uma correlação negativa com a resistência ao rasgo (FOELKEL, 1976, p. 64; WRIGHT, SLUIS-CRÉMER, 1992, p. 184).

A madeira de topo apresentou os menores valores de resistência ao rasgo devido à grande quantidade de traqueóides de paredes finas na sua constituição (WRIGHT, SLUIS-CRÉMER, 1992, p. 184).

Como a resistência ao rasgo é aumentada quando as fibras são mais compridas e de paredes mais espessas (WATSON, DADSWELL, 1961, p. 169; FOELKEL, 1976, p. 64), a classe diamétrica 3, que apresenta traqueóides mais longos e de paredes mais espessas, deveria apresentar os maiores valores de resistência. Entretanto, a classe 2 é a que apresenta maior resistência ao rasgo, principalmente quando o papel é feito com a madeira da parte inferior do tronco. Isto demonstra a variabilidade da madeira e a influência de outros fatores nas propriedades do papel. A tendência de distribuição dos valores de resistência ao rasgo dos papéis produzidos está apresentada na FIGURA 16.

FIGURA 16 – TENDÊNCIA DE DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE RESISTÊNCIA AO RASGO DOS PAPÉIS, POR CLASSE DIAMÉTRICA E POR AMOSTRA



A classe 3 apresentou valores de permeância ao ar superiores à classe 2. Os papéis formados a partir de madeira da classe diamétrica 1 apresentaram um valor mediano e relação às outras classes (FIGURA 17). Os papéis menos permeáveis ao ar foram os obtidos a partir de madeira de topo, e os mais permeáveis, com a madeira de costaneira, sendo que os valores de topo foram muito superiores aos demais. Isto é devido principalmente à espessura da parede e, conseqüentemente, à propensão ao

colapso destas. É esperado que madeiras com maiores quantidades de traqueóides de lenho inicial dêem origem a papéis com menor permeabilidade, já que suas fibras colapsam mais e formam papéis com menor quantidade de poros devido à maior ligação entre fibras (DINWOODIE, 1965, p. 443).

FIGURA 17 – TENDÊNCIA DE DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE PERMEÂNCIA DO AR DOS PAPÉIS, POR CLASSE DIAMÉTRICA E POR AMOSTRA



7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os objetivos propostos neste trabalho e com os resultados discutidos, pode-se concluir que:

1. Os lenhos inicial e tardio são compostos por traqueóides axiais com características morfológicas diferentes e dão origem a papéis com propriedades distintas de acordo com a porcentagem de cada um na polpa.
2. O comprimento dos traqueóides aumenta conforme se afastam da medula, independentemente do lenho ou da classe diamétrica. A diferença mais acentuada ocorre até o oitavo anel de crescimento, sendo que não há estabilização dessa dimensão em nenhum dos lenhos.
3. Os maiores comprimentos de traqueóides foram observados na classe diamétrica 3 e os menores na classe 2, no lenho inicial, e na classe 1, no lenho tardio. Entretanto, como não há diferença estatística significativa entre os valores do lenho inicial, conclui-se que as variações nas características da madeira e nas propriedades do papel relacionadas com o comprimento das fibras são decorrentes das influências dos traqueóides de lenho tardio.
4. Os valores de diâmetro externo e interno dos traqueóides não apresentaram tendência definida em nenhuma das três classes diamétricas. A espessura da parede dos traqueóides de lenho tardio apresentou leve acréscimo em direção à casca e no lenho inicial permaneceu constante conforme se afastava da medula.
5. Os traqueóides da classe diamétrica 1 são os mais curtos, os mais estreitos, possuem os diâmetros de lume menores e que apresentam paredes bastante espessas. As fibras da classe diamétrica 2 possuem comprimento intermediário (em relação às outras classes), são bastante largas, com diâmetros internos grandes e possuem as paredes mais finas. Na classe 3 os traqueóides são os mais longos, com diâmetros externo e interno bastante grandes, e paredes bem espessas.

6. A superioridade em diâmetro à altura do peito das árvores nas classes diamétricas maiores deve-se ao aumento no diâmetro externo dos traqueóides em ambos os lenhos e, principalmente, ao aumento nas faixas de lenho inicial, já que a porcentagem de lenho tardio não aumenta muito nessa região. Estatisticamente não há diferença nas porcentagens de lenho tardio em relação às classes diamétricas.
7. A massa específica comportou-se de maneira semelhante nas três classes diamétricas, decrescendo em direção ao topo. Como não há diferença estatística significativa entre os valores médios de massa específica das três classes, pode-se concluir que a classe diamétrica exerce pouca influência na massa específica.
8. As correlações entre a massa específica básica e as características morfológicas dos traqueóides não fornecem bons resultados quando analisados isoladamente. Contudo, o diâmetro externo e a espessura da parede dos traqueóides de lenho tardio apresentam correlações superiores às das demais características. Provavelmente a interação das características morfológicas delimita o comportamento de outras propriedades.
9. As correlações entre a massa específica básica e a porcentagem de lenho tardio ao longo do fuste foram altas para todas as classes diamétricas, indicando que o lenho tardio exerce grande influência na massa específica da madeira.
10. As relações entre as características morfológicas dos traqueóides não se mostraram eficientes na predição das características físico-mecânicas do papel, já que a classe diamétrica 2, indicada pelas relações como sendo a melhor para produção de papel, não apresentou resultados superiores em nenhuma das propriedades. Isto ocorreu possivelmente devido à grande variação das características morfológicas na madeira de *Pinus taeda* dessa procedência.
11. O rendimento de celulose esteve dentro do limite esperado para polpa de madeiras de coníferas obtida pelo processo *kraft*.
12. A resistência mecânica do papel é afetada pela quantidade de lignina residual, através da diminuição das ligações entre fibras, e pelas características morfológicas dos traqueóides.

13. A parte externa da árvore, classificada neste trabalho como costaneira, dá origem a papéis mais resistentes ao rasgo. Entretanto, a madeira de topo é adequada para produção de papéis que requeiram grandes resistências mecânicas, exceto ao rasgo. Sua menor porcentagem de lignina residual (e conseqüentemente maiores ligações entre fibras), maior propensão ao colapso dos traqueóides e ausência de madeira de compressão fazem com que esta madeira possua características desejáveis para a produção de papéis mais resistentes. Porém, papéis fabricados com madeira de todas as partes da árvore são bastante resistentes mecanicamente.
14. A classe diamétrica 1, composta de uma única amostra, mostrou-se adequada para a produção de papel com relação a todas as propriedades de resistência, sendo que seus valores médios foram superiores aos das demais classes diamétricas na maioria dos casos.

Com base nas conclusões apresentadas anteriormente, faz-se as seguintes recomendações:

1. Estudo das características anatômicas nas várias posições ao longo do fuste, a fim de estabelecer correlações entre a massa específica a diversas alturas.
2. Estudo das propriedades de resistência mecânica da madeira para possível ampliação de usos dessa procedência.
3. Estudo da influência do sítio nas características anatômicas e propriedades físico-mecânicas da madeira de *Pinus taeda* dessa procedência.
4. Avaliação das propriedades da madeira de *Pinus taeda* de procedência África do Sul em diferentes idades, como forma de avaliar e caracterizar outras formas de aproveitamento econômico.

ANEXO 1
ANÁLISES DE VARIÂNCIA E TESTES DE TUKEY

A1.7 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL COMPRIMENTO MÉDIO DE TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
6	95143488	1418	194463,3	489,2620	0,00

A1.8 – TESTE DE TUKEY PARA COMPRIMENTO MÉDIO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

	ANEL 2	ANEL 5	ANEL 8	ANEL 11	ANEL 15	ANEL 19	ANEL 23
Médias	2355,244	3020,178	3418,000	3830,156	3949,933	4158,778	4356,200
ANEL 2		0,000026	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026
ANEL 5	0,000026		0,000026	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026
ANEL 8	0,000026	0,000026		0,000026	0,000026	0,000026	0,000026
ANEL 11	0,000026	0,000026	0,000026		0,060535	0,000026	0,000026
ANEL 15	0,000026	0,000026	0,000026	0,060535		0,000035	0,000026
ANEL 19	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026	0,000035		0,013856
ANEL 23	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026	0,013856	

A1.9 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO EXTERNO DOS TRAQUEÓIDES ENTRE OS LENHOS INICIAL E TARDIO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
1	47525,92	2848	56,99506	833,8602	0,00

A1.10 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO INTERNO DOS TRAQUEÓIDES ENTRE OS LENHOS INICIAL E TARDIO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
1	274165,0	2848	51,43697	5330,116	0,00

A1.11 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO EXTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO INICIAL ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
2	886,0316	1422	65,84397	13,45653	0,000002

A1.12 – TESTE DE TUKEY PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO EXTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO INICIAL ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
Médias	45,74166	48,48232	47,24739
CLASSE 1		0,000022	0,013010
CLASSE 2	0,000022		0,046084
CLASSE 3	0,013010	0,046084	

A1.13 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO EXTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
2	368,1505	1422	46,54251	7,909982	0,000383

A1.14 – TESTE DE TUKEY PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO EXTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
Médias	38,01389	39,27626	39,73958
CLASSE 1		0,012509	0,000355
CLASSE 2	0,012509		0,538903
CLASSE 3	0,000355	0,538903	

A1.15 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO EXTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO INICIAL ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
6	461,5519	1418	65,32643	7,065317	0,000000

A1.16 – TESTE DE TUKEY PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO EXTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO INICIAL ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

	ANEL 2	ANEL 5	ANEL 8	ANEL 11	ANEL 15	ANEL 19	ANEL 23
Médias	44,56667	47,71111	47,34444	47,46667	48,25555	46,75000	50,53333
ANEL 2		0,000741	0,004983	0,002707	0,000050	0,063246	0,000026
ANEL 5	0,000741		0,999087	0,999913	0,991780	0,869566	0,120218
ANEL 8	0,004983	0,999087		0,999999	0,896089	0,986893	0,048482
ANEL 11	0,002707	0,999913	0,999999		0,945939	0,965994	0,066744
ANEL 15	0,000050	0,991780	0,896089	0,945939		0,430200	0,344418
ANEL 19	0,063246	0,869566	0,986893	0,965994	0,430200		0,008148
ANEL 23	0,000026	0,120218	0,048482	0,066744	0,344418	0,008148	

A1.17 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO EXTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
6	113,9184	1418	46,71104	2,438790	0,023803

A1.18 – TESTE DE TUKEY PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO EXTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

	ANEL 2	ANEL 5	ANEL 8	ANEL 11	ANEL 15	ANEL 19	ANEL 23
Médias	38,29667	38,95889	39,31111	39,25555	38,60444	38,92556	41,58333
ANEL 2		0,947777	0,698902	0,752127	0,999124	0,959236	0,005747
ANEL 5	0,947777		0,998118	0,999290	0,998051	1,000000	0,060697
ANEL 8	0,698902	0,998118		1,000000	0,929319	0,996881	0,161499
ANEL 11	0,752127	0,999290	1,000000		0,951816	0,998698	0,140292
ANEL 15	0,999124	0,998051	0,929319	0,951816		0,998885	0,018621
ANEL 19	0,959236	10,000000	0,996881	0,998698	0,998885		0,054762
ANEL 23	0,005747	0,060697	0,161499	0,140292	0,018621	0,054762	

A1.19 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO INTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO INICIAL ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
2	1485,502	1422	63,09960	23,54217	0,000000

A1.20 – TESTE DE TUKEY PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO INTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO INICIAL ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
Médias	35,56111	38,91869	36,32708
CLASSE 1		0,000022	0,305650
CLASSE 2	0,000022		0,000023
CLASSE 3	0,305650	0,000023	

A1.21 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO INTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
2	747,0332	1422	36,77903	20,31139	0,000000

A1.22 – TESTE DE TUKEY PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO INTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
Médias	15,86389	18,00455	18,12552
CLASSE 1		0,000022	0,000022
CLASSE 2	0,000022		0,947954
CLASSE 3	0,000022	0,947954	

A1.23 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO INTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO INICIAL ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
6	425,2399	1418	63,57348	6,688951	0,000001

A1.24 – TESTE DE TUKEY PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO INTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO INICIAL ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

	ANEL 2	ANEL 5	ANEL 8	ANEL 11	ANEL 15	ANEL 19	ANEL 23
Médias	34,46000	37,42222	36,74445	37,34889	37,93222	36,89778	40,30667
ANEL 2		0,001587	0,038320	0,002339	0,000100	0,020272	0,000026
ANEL 5	0,001587		0,972429	1,000000	0,993783	0,992769	0,094901
ANEL 8	0,038320	0,972429		0,984645	0,695238	0,999994	0,014183
ANEL 11	0,002339	1,000000	0,984645		0,987251	0,996830	0,079235
ANEL 15	0,000100	0,993783	0,695238	0,987251		0,814785	0,277416
ANEL 19	0,020272	0,992769	0,999994	0,996830	0,814785		0,022793
ANEL 23	0,000026	0,094901	0,014183	0,079235	0,277416	0,022793	

A1.25 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE DIÂMETRO INTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
6	340,6736	1418	36,49492	9,334821	0,000000

A1.26 – TESTE DE TUKEY PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO INTERNO DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

	ANEL 2	ANEL 5	ANEL 8	ANEL 11	ANEL 15	ANEL 19	ANEL 23
Médias	19,20889	18,56667	17,82889	16,52222	16,58778	15,80222	16,46667
ANEL 2		0,919816	0,188833	0,000071	0,000106	0,000026	0,011813
ANEL 5	0,919816		0,854390	0,006120	0,009263	0,000048	0,123688
ANEL 8	0,188833	0,854390		0,246651	0,306862	0,006871	0,622003
ANEL 11	0,000071	0,006120	0,246651		1,000000	0,868324	1,000000
ANEL 15	0,000106	0,009263	0,306862	1,000000		0,813142	0,999999
ANEL 19	0,000026	0,000048	0,006871	0,868324	0,813142		0,982467
ANEL 23	0,011813	0,123688	0,622003	1,000000	0,999999	0,982467	

A1.27 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ESPESSURA DA PAREDE DOS TRAQUEÓIDES ENTRE OS LENHOS INICIAL E TARDIO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
1	23348,34	2848	4,094149	5702,856	0,00

A1.28 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ESPESSURA DA PAREDE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO INICIAL ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
2	56,16663	1422	2,202690	25,49911	0,000000

A1.29 – TESTE DE TUKEY PARA A VARIÁVEL ESPESSURA DA PAREDE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO INICIAL ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
Médias	5,090278	4,781818	5,460156
CLASSE 1		0,004058	0,000443
CLASSE 2	0,004058		0,000022
CLASSE 3	0,000443	0,000022	

A1.30 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ESPESSURA DA PAREDE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO TARDIO ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
2	22,95731	1422	5,885838	3,900432	0,020450

A1.31 – TESTE DE TUKEY PARA A VARIÁVEL ESPESSURA DA PAREDE DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
Médias	11,07500	10,63586	10,80703
CLASSE 1		0,015082	0,211575
CLASSE 2	0,015082		0,513179
CLASSE 3	0,211575	0,513179	

A1.32 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ESPESSURA DA PAREDE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO INICIAL ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
6	2,983695	1418	2,275498	1,311227	0,248793

A1.33 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ESPESSURA DA PAREDE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO TARDIO ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
6	146,7986	1418	5,313670	27,62659	0,00

A1.34– TESTE DE TUKEY PARA A VARIÁVEL ESPESSURA DA PAREDE DOS TRAQUEÓIDES DO LENHO TARDIO ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

	ANEL 2	ANEL 5	ANEL 8	ANEL 11	ANEL 15	ANEL 19	ANEL 23
Médias	9,543889	10,19611	10,74111	11,36667	11,00833	11,56167	12,55833
ANEL 2		0,042881	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026
ANEL 5	0,042881		0,156347	0,000027	0,003523	0,000026	0,000026
ANEL 8	0,000026	0,156347		0,060972	0,882825	0,003041	0,000026
ANEL 11	0,000026	0,000027	0,060972		0,650371	0,973093	0,002044
ANEL 15	0,000026	0,003523	0,882825	0,650371		0,143077	0,000034
ANEL 19	0,000026	0,000026	0,003041	0,973093	0,143077		0,020281
ANEL 23	0,000026	0,000026	0,000026	0,002044	0,000034	0,020281	

A1.35 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE ENFELTRAMENTO DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO INICIAL ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
6	36648,15	1418	213,5661	171,6010	0,00

A1.36 – TESTE DE TUKEY DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE ENFELTRAMENTO DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO INICIAL ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

	ANEL 2	ANEL 5	ANEL 8	ANEL 11	ANEL 15	ANEL 19	ANEL 23
Médias	51,47950	64,08986	73,16861	79,55323	82,73426	88,32793	87,28172
ANEL 2		0,000026	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026
ANEL 5	0,000026		0,000026	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026
ANEL 8	0,000026	0,000026		0,000094	0,000026	0,000026	0,000026
ANEL 11	0,000026	0,000026	0,000094		0,239586	0,000026	0,001430
ANEL 15	0,000026	0,000026	0,000026	0,239586		0,000977	0,227760
ANEL 19	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026	0,000977		0,998299
ANEL 23	0,000026	0,000026	0,000026	0,001430	0,227760	0,998299	

A1.37 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE ENFELTRAMENTO DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO TARDIO ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
6	59375,13	1418	357,7270	165,9789	0,00

A1.38 – TESTE DE TUKEY DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE ENFELTRAMENTO DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO TARDIO ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

	ANEL 2	ANEL 5	ANEL 8	ANEL 11	ANEL 15	ANEL 19	ANEL 23
Médias	63,02942	80,59629	89,68339	99,99905	104,7572	109,2549	107,8962
ANEL 2		0,000026	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026
ANEL 5	0,000026		0,000032	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026
ANEL 8	0,000026	0,000032		0,000026	0,000026	0,000026	0,000026
ANEL 11	0,000026	0,000026	0,000026		0,106367	0,000029	0,028885
ANEL 15	0,000026	0,000026	0,000026	0,106367		0,151191	0,876583
ANEL 19	0,000026	0,000026	0,000026	0,000029	0,151191		0,998265
ANEL 23	0,000026	0,000026	0,000026	0,028885	0,876583	0,998265	

A1.39 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE ENFELTRAMENTO DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO TARDIO ENTRE CLASSES

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
2	3022,001	1422	363,3485	8,317085	0,000256

A1.40 – TESTE DE TUKEY DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE ENFELTRAMENTO DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO INICIAL ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
Médias	76,19639	71,27575	74,64744
CLASSE 1		0,000234	0,430490
CLASSE 2	0,000234		0,015898
CLASSE 3	0,430490	0,015898	

A1.41 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE ENFELTRAMENTO DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO TARDIO ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
2	276,7017	1422	606,8595	0,455957	0,633934

A1.42 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE ENFELTRAMENTO DOS TRAQUEÓIDES ENTRE OS LENHOS INICIAL E TARDIO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
1	234257,6	2848	486,7392	481,2795	0,00

A1.43 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE COEFICIENTE DE FLEXIBILIDADE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO INICIAL ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
6	127,1670	1418	48,88705	2,601240	0,016422

A1.44 - TESTE DE TUKEY PARA OS VALORES MÉDIOS DE COEFICIENTE DE FLEXIBILIDADE DO LENHO INICIAL ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

	ANEL 2	ANEL 5	ANEL 8	ANEL 11	ANEL 15	ANEL 19	ANEL 23
Médias	76,87005	78,02415	77,02091	78,21494	78,28471	78,57372	79,49050
ANEL 2		0,581609	0,999988	0,389113	0,325543	0,130641	0,073375
ANEL 5	0,581609		0,731713	0,999952	0,999706	0,981484	0,699813
ANEL 8	0,999988	0,731713		0,540295	0,468754	0,217791	0,111602
ANEL 11	0,389113	0,999952	0,540295		1,000000	0,998163	0,818844
ANEL 15	0,325543	0,999706	0,468754	1,000000		0,999464	0,855280
ANEL 19	0,130641	0,981484	0,217791	0,998163	0,999464		0,957713
ANEL 23	0,073375	0,699813	0,111602	0,818844	0,855280	0,957713	

A1.45 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE COEFICIENTE DE FLEXIBILIDADE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO TARDIO ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
6	2532,180	1418	114,9509	22,02836	0,000000

A1.46 - TESTE DE TUKEY DOS VALORES MÉDIOS DE COEFICIENTE DE FLEXIBILIDADE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO TARDIO ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

	ANEL 2	ANEL 5	ANEL 8	ANEL 11	ANEL 15	ANEL 19	ANEL 23
Médias	49,30129	46,72560	44,60641	41,78949	42,64194	40,00409	38,80503
ANEL 2		0,142395	0,000091	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026
ANEL 5	0,142395		0,354630	0,000045	0,001060	0,000026	0,000026
ANEL 8	0,000091	0,354630		0,078285	0,451349	0,000128	0,000983
ANEL 11	0,000026	0,000045	0,078285		0,980358	0,571036	0,359896
ANEL 15	0,000026	0,001060	0,451349	0,980358		0,122959	0,102236
ANEL 19	0,000026	0,000026	0,000128	0,571036	0,122959		0,980894
ANEL 23	0,000026	0,000026	0,000983	0,359896	0,102236	0,980894	

A1.47 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE COEFICIENTE DE FLEXIBILIDADE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO INICIAL ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
2	1529,854	1422	47,13441	32,45726	0,000000

A1.48 - TESTE DE TUKEY DOS VALORES MÉDIOS DE COEFICIENTE DE FLEXIBILIDADE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO INICIAL ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
Médias	77,33370	79,86779	76,45724
CLASSE 1		0,000022	0,126060
CLASSE 2	0,000022		0,000022
CLASSE 3	0,126060	0,000022	

A1.49 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE COEFICIENTE DE FLEXIBILIDADE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO TARDIO ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
2	2343,593	1422	122,0156	19,20732	0,000000

A1.50 - TESTE DE TUKEY DOS VALORES médios DE COEFICIENTE DE FLEXIBILIDADE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO TARDIO ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
Médias	41,24697	45,38935	44,83750
CLASSE 1		0,000022	0,000024
CLASSE 2	0,000022		0,715412
CLASSE 3	0,000024	0,715412	

A1.51 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE COEFICIENTE DE FLEXIBILIDADE ENTRE OS LENHOS INICIAL E TARDIO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
1	824783,7	2848	87,17635	9461,095	0,00

A1.52 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE FRAÇÃO PAREDE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO INICIAL ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
6	127,1670	1418	48,88705	2,601240	0,016422

A1.53 – TESTE DE TUKEY DOS VALORES MÉDIOS DE FRAÇÃO PAREDE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO INICIAL ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

	ANEL 2	ANEL 5	ANEL 8	ANEL 11	ANEL 15	ANEL 19	ANEL 23
Médias	23,12995	21,97585	22,97909	21,78506	21,71529	21,42628	20,50950
ANEL 2		0,581609	0,999988	0,389113	0,325543	0,130641	0,073375
ANEL 5	0,581609		0,731713	0,999952	0,999706	0,981484	0,699813
ANEL 8	0,999988	0,731713		0,540295	0,468754	0,217791	0,111602
ANEL 11	0,389113	0,999952	0,540295		1,000000	0,998163	0,818844
ANEL 15	0,325543	0,999706	0,468754	1,000000		0,999464	0,855280
ANEL 19	0,130641	0,981484	0,217791	0,998163	0,999464		0,957713
ANEL 23	0,073375	0,699813	0,111602	0,818844	0,855280	0,957713	

A1.54 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE FRAÇÃO PAREDE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO TARDIO ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
6	2532,180	1418	114,9509	22,02836	0,000000

A1.55 – TESTE DE TUKEY DOS VALORES MÉDIOS DE FRAÇÃO PAREDE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO TARDIO ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

	ANEL 2	ANEL 5	ANEL 8	ANEL 11	ANEL 15	ANEL 19	ANEL 23
Médias	50,69871	53,27440	55,39359	58,21051	57,35806	59,99591	61,19497
ANEL 2		0,142395	0,000091	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026
ANEL 5	0,142395		0,354630	0,000045	0,001060	0,000026	0,000026
ANEL 8	0,000091	0,354630		0,078285	0,451349	0,000128	0,000983
ANEL 11	0,000026	0,000045	0,078285		0,980358	0,571036	0,359896
ANEL 15	0,000026	0,001060	0,451349	0,980358		0,122959	0,102236
ANEL 19	0,000026	0,000026	0,000128	0,571036	0,122959		0,980894
ANEL 23	0,000026	0,000026	0,000983	0,359896	0,102236	0,980894	

A1.56 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE FRAÇÃO PAREDE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO INICIAL ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
2	1529,854	1422	47,13441	32,45726	0,000000

A1.57 – TESTE DE TUKEY DOS VALORES MÉDIOS DE FRAÇÃO PAREDE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO INICIAL ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
Médias	22,66630	20,13221	23,54277
CLASSE 1		0,000022	0,126060
CLASSE 2	0,000022		0,000022
CLASSE 3	0,126060	0,000022	

A1.58 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE FRAÇÃO PAREDE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO TARDIO ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
2	2343,593	1422	122,0156	19,20732	0,000000

A1.59 – TESTE DE TUKEY DOS VALORES MÉDIOS DE FRAÇÃO PAREDE DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO TARDIO ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
Médias	58,75303	54,61065	55,16250
CLASSE 1		0,000022	0,000024
CLASSE 2	0,000022		0,715412
CLASSE 3	0,000024	0,715412	

A1.60 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE FRAÇÃO PAREDE DOS TRAQUEÓIDES ENTRE OS LENHOS INICIAL E TARDIO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
1	824783,7	2848	87,17635	9461,095	0,00

A1.61 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE RELAÇÃO C/E ENTRE OS LENHOS INICIAL E TARDIO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
1	114203768	2848	50756,69	2250,024	0,00

A1.62 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE RELAÇÃO C/E DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO INICIAL ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
6	4744423	1418	72344,56	65,58092	0,00

A1.63 – TESTE DE TUKEY PARA OS VALORES MÉDIOS DA RELAÇÃO C/E DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO INICIAL ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

	ANEL 2	ANEL 5	ANEL 8	ANEL 11	ANEL 15	ANEL 19	ANEL 23
Médias	491,5423	625,5992	700,9426	807,4922	829,4854	899,4970	931,6631
ANEL 2		0,000028	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026
ANEL 5	0,000028		0,046821	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026
ANEL 8	0,000026	0,046821		0,000541	0,000033	0,000026	0,000026
ANEL 11	0,000026	0,000026	0,000541		0,977336	0,005310	0,009661
ANEL 15	0,000026	0,000026	0,000033	0,977336		0,083843	0,066109
ANEL 19	0,000026	0,000026	0,000026	0,005310	0,083843		0,973142
ANEL 23	0,000026	0,000026	0,000026	0,009661	0,066109	0,973142	

A1.64 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE RELAÇÃO C/E DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO TARDIO ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
6	383110,1	1418	7902,160	48,48170	0,00

A1.65 – TESTE DE TUKEY PARA OS VALORES MÉDIOS DA RELAÇÃO C/E DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO TARDIO ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

	ANEL 2	ANEL 5	ANEL 8	ANEL 11	ANEL 15	ANEL 19	ANEL 23
Médias	260,0361	311,2448	333,5461	350,4764	381,5742	372,8782	359,2831
ANEL 2		0,000026	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026	0,000026
ANEL 5	0,000026		0,108346	0,000080	0,000026	0,000026	0,001004
ANEL 8	0,000026	0,108346		0,401758	0,000026	0,000077	0,311130
ANEL 11	0,000026	0,000080	0,401758		0,003901	0,105138	0,989866
ANEL 15	0,000026	0,000026	0,000026	0,003901		0,945364	0,493195
ANEL 19	0,000026	0,000026	0,000077	0,105138	0,945364		0,913430
ANEL 23	0,000026	0,001004	0,311130	0,989866	0,493195	0,913430	

A1.66 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE RELAÇÃO C/E DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO INICIAL ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
2	844732,4	1422	90971,63	9,285668	0,000098

A1.67 – TESTE DE TUKEY PARA OS VALORES MÉDIOS DA
RELAÇÃO C/E DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO
INICIAL ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
Médias	739,3580	776,2527	693,1130
CLASSE 1		0,145055	0,050902
CLASSE 2	0,145055		0,000069
CLASSE 3	0,050902	0,000069	

A1.68 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE RELAÇÃO C/E DOS TRAQUEÓIDES
DE LENHO TARDIO ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
2	58989,84	1422	9413,462	6,266540	0,001952

A1.69 – TESTE DE TUKEY PARA OS VALORES MÉDIOS DA
RELAÇÃO C/E DOS TRAQUEÓIDES DE LENHO
TARDIO ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
Médias	322,8523	342,7480	342,0781
CLASSE 1		0,004684	0,007142
CLASSE 2	0,004684		0,993617
CLASSE 3	0,007142	0,993617	

A1.70 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE RUNKEL ENTRE OS
LENHOS INICIAL E TARDIO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
1	972,7662	2848	0,353244	2753,811	0,00

A1.71 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE RUNKEL DO LENHO
INICIAL ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
6	0,045550	1418	0,016135	2,823098	0,009804

A1.72 – TESTE DE TUKEY DOS VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE RUNKEL DO LENHO INICIAL ENTRE
ANÉIS DE CRESCIMENTO

	ANEL 2	ANEL 5	ANEL 8	ANEL 11	ANEL 15	ANEL 19	ANEL 23
Médias	0,3139269	0,2923480	0,3122511	0,2904275	0,2869562	0,2825167	0,2644625
ANEL 2		0,546730	0,999999	0,438993	0,267747	0,119058	0,054135
ANEL 5	0,546730		0,641617	0,999999	0,999376	0,982900	0,651901
ANEL 8	0,999999	0,641617		0,532803	0,345281	0,165409	0,071263
ANEL 11	0,438993	0,999999	0,532803		0,999952	0,994623	0,724819
ANEL 15	0,267747	0,999376	0,345281	0,999952		0,999797	0,838914
ANEL 19	0,119058	0,982900	0,165409	0,994623	0,999797		0,937992
ANEL 23	0,054135	0,651901	0,071263	0,724819	0,838914	0,937992	

A1.73 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE RUNKEL DO LENHO TARDIO ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
6	8,131021	1418	0,658744	12,34321	0,000000

A1.74 - TESTE DE TUKEY DOS VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE RUNKEL DO LENHO TARDIO ENTRE ANÉIS DE CRESCIMENTO

	ANEL 2	ANEL 5	ANEL 8	ANEL 11	ANEL 15	ANEL 19	ANEL 23
Médias	1,186077	1,287138	1,426654	1,540461	1,518606	1,703000	1,814570
ANEL 2		0,842505	0,027789	0,000095	0,000296	0,000026	0,000026
ANEL 5	0,842505		0,532173	0,016232	0,039959	0,000026	0,000046
ANEL 8	0,027789	0,532173		0,752629	0,893808	0,005649	0,006231
ANEL 11	0,000095	0,016232	0,752629		0,999956	0,338254	0,147512
ANEL 15	0,000296	0,039959	0,893808	0,999956		0,194293	0,089732
ANEL 19	0,000026	0,000026	0,005649	0,338254	0,194293		0,946986
ANEL 23	0,000026	0,000046	0,006231	0,147512	0,089732	0,946986	

A1.75 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE RUNKEL DO LENHO INICIAL ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
2	0,453653	1422	0,015644	28,99939	0,000000

A1.76 – TESTE DE TUKEY DOS VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE RUNKEL DO LENHO INICIAL ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
Médias	0,3060061	0,2608958	0,3190301
CLASSE 1		0,000022	0,251251
CLASSE 2	0,000022		0,000022
CLASSE 3	0,251251	0,000022	

A1.77 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE ÍNDICE DE RUNKEL DO LENHO TARDIO ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
2	10,84048	1422	0,675953	16,03733	0,000000

A1.78 – TESTE DE TUKEY DOS VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE RUNKEL DO LENHO TARDIO ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
Médias	1,644466	1,387585	1,371175
CLASSE 1		0,000026	0,000023
CLASSE 2	0,000026		0,947895
CLASSE 3	0,000023	0,947895	

A1.79 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DOS DEZ PRIMEIROS ANÉIS ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
2	58,69184	119	22,46895	2,612132	0,077582

A1.80 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DOS DEZ PRIMEIROS ANÉIS EM RELAÇÃO ÀS ALTURAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
8	192,7654	112	10,74982	17,93196	0,000000

A1.81 – TESTE DE TUKEY PARA OS VALORES MÉDIOS DE PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DOS DEZ PRIMEIROS ANÉIS EM RELAÇÃO ÀS ALTURAS

Alt. (m)	0,0	1,3	3,1	6,2	9,3	12,4	15,5	18,6	21,7
Médias	25,64786	22,77205	19,30146	16,15025	16,64907	15,80604	15,72047	15,70893	15,20101
0,0		0,293253	0,000145	0,000129	0,000129	0,000129	0,000129	0,000129	0,000182
1,3	0,293253		0,100131	0,000134	0,000167	0,000130	0,000130	0,000132	0,011578
3,1	0,000145	0,100131		0,185490	0,403162	0,095109	0,079353	0,101950	0,562218
6,2	0,000129	0,000134	0,185490		0,999975	0,999999	0,999992	0,999993	0,999949
9,3	0,000129	0,000167	0,403162	0,999975		0,998698	0,997360	0,997787	0,998773
12,4	0,000129	0,000130	0,095109	0,999999	0,998698		1,000000	1,000000	0,999998
15,5	0,000129	0,000130	0,079353	0,999992	0,997360	1,000000		1,000000	1,000000
18,6	0,000129	0,000132	0,101950	0,999993	0,997787	1,000000	1,000000		1,000000
21,7	0,000182	0,011578	0,562218	0,999949	0,998773	0,999998	1,000000	1,000000	

A1.82 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO TOTAL ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
2	90,71237	151	44,74472	2,027331	0,135256

A1.83 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO TOTAL EM RELAÇÃO ÀS ALTURAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
11	381,4214	142	19,62497	19,43551	0,000000

A1.84 – TESTE DE TUKEY PARA OS VALORES MÉDIOS DE PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO TOTAL EM RELAÇÃO ÀS ALTURAS

Alt. (m)	0,0	1,3	3,1	6,2	9,3	12,4	15,5	18,6	21,7	24,8	27,9	31,0
Médias	28,90622	27,08600	24,47189	21,43941	19,88736	18,35847	17,27712	15,90163	14,30592	12,52412	13,89414	8,338294
0,0		0,993626	0,206015	0,000255	0,000019	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000438
1,3	0,993626		0,903670	0,024323	0,000537	0,000021	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,002472
3,1	0,206015	0,903670		0,775242	0,165627	0,008661	0,000543	0,000024	0,000017	0,000017	0,000028	0,021547
6,2	0,000255	0,024323	0,775242		0,998442	0,756675	0,294985	0,030454	0,000900	0,000029	0,010763	0,154147
9,3	0,000019	0,000537	0,165627	0,998442		0,998643	0,904569	0,362913	0,033931	0,001079	0,121933	0,324505
12,4	0,000017	0,000021	0,008661	0,756675	0,998643		0,999952	0,935804	0,364399	0,032834	0,548414	0,556893
15,5	0,000017	0,000017	0,000543	0,294985	0,904569	0,999952		0,999496	0,815803	0,192751	0,882706	0,724917
18,6	0,000017	0,000017	0,000024	0,030454	0,362913	0,935804	0,999496		0,998290	0,715027	0,997929	0,889085
21,7	0,000017	0,000017	0,000017	0,000900	0,033931	0,364399	0,815803	0,998290		0,997235	1,000000	0,979154
24,8	0,000017	0,000017	0,000017	0,000029	0,001079	0,032834	0,192751	0,715027	0,997235		0,999964	0,999066
27,9	0,000017	0,000017	0,000028	0,010763	0,121933	0,548414	0,882706	0,997929	1,000000	0,999964		0,990951
31,0	0,000438	0,002472	0,021547	0,154147	0,324505	0,556893	0,724917	0,889085	0,979154	0,999066	0,990951	

A1.85 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
2	0,000294	151	0,001527	0,192604	0,825011

A1.86 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA AO LONGO DO FUSTE

Efeito do Grau de Liberdade	Efeito do Quadrado Médio	Grau de Liberdade do Erro	Quadrado Médio do Erro	F	p
11	0,014547	142	0,000501	29,02270	0,00

A1.87 – TESTE DE TUKEY PARA OS VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA AO LONGO DO FUSTE

Alt. (m)	0,0	1,3	3,1	6,2	9,3	12,4	15,5	18,6	21,7	24,8	27,9	31,0
Médias	0,445689	0,433462	0,409369	0,392783	0,380324	0,377569	0,371328	0,369205	0,361926	0,344027	0,331243	0,317500
0,0		0,942214	0,000555	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000019
1,3	0,942214		0,124612	0,000056	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000049
3,1	0,000555	0,124612		0,673528	0,019651	0,005672	0,000216	0,000071	0,000018	0,000017	0,000017	0,004088
6,2	0,000017	0,000056	0,673528		0,934317	0,783487	0,265707	0,146409	0,011249	0,000018	0,000017	0,051901
9,3	0,000017	0,000017	0,019651	0,934317		1,000000	0,994732	0,970802	0,541138	0,001714	0,000118	0,217578
12,4	0,000017	0,000017	0,005672	0,783487	1,000000		0,999822	0,997218	0,771796	0,006166	0,000391	0,280617
15,5	0,000017	0,000017	0,000216	0,265707	0,994732	0,999822		1,000000	0,993387	0,071504	0,005213	0,456360
18,6	0,000017	0,000017	0,000071	0,146409	0,970802	0,997218	1,000000		0,999339	0,139330	0,011436	0,522990
21,7	0,000017	0,000017	0,000018	0,011249	0,541138	0,771796	0,993387	0,999339		0,671214	0,120312	0,748769
24,8	0,000017	0,000017	0,000017	0,000018	0,001714	0,006166	0,071504	0,139330	0,671214		0,989042	0,992967
27,9	0,000017	0,000017	0,000017	0,000017	0,000118	0,000391	0,005213	0,011436	0,120312	0,989042		0,999990
31,0	0,000019	0,000049	0,004088	0,051901	0,217578	0,280617	0,456360	0,522990	0,748769	0,992967	0,999990	

ANEXO 2
CORRELAÇÕES

A2.1 – CORRELAÇÃO ENTRE OS VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES E DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA NA ALTURA DO PEITO (1,30 m)

	ME	C LT	C LI	D LT	D LI	d LT	d LI	e LT	e LI	%LT
ME	1,00									
C LT	0,37	1,00								
C LI	0,32	0,92	1,00							
D LT	0,38	0,72	0,64	1,00						
D LI	-0,12	0,48	0,54	0,64	1,00					
d LT	-0,03	0,39	0,28	0,66	0,61	1,00				
d LI	-0,16	0,42	0,46	0,59	0,95	0,51	1,00			
e LT	0,52	0,46	0,49	0,50	0,10	-0,32	0,15	1,00		
e LI	0,14	0,06	0,10	-0,01	-0,11	0,15	-0,41	-0,19	1,00	
%LT	0,37	0,25	0,07	0,39	0,24	0,34	0,20	0,09	0,07	1,00

A2.2 – CORRELAÇÕES ENTRE OS VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES E A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA À ALTURA DO PEITO (1,30 m) DA CLASSE DIAMÉTRICA 1

	ME	C LT	C LI	D LT	D LI	d LT	d LI	e LT	e LI	%LT
ME	1,00									
C LT	0,64	1,00								
C LI	0,49	0,89	1,00							
D LT	-0,86	-0,19	-0,13	1,00						
D LI	-0,95	-0,56	-0,33	0,86	1,00					
d LT	-0,86	-0,23	-0,25	0,98	0,80	1,00				
d LI	-0,93	-0,41	-0,20	0,92	0,98	0,86	1,00			
e LT	-0,65	0,00	0,30	0,78	0,80	0,65	0,87	1,00		
e LI	0,33	-0,51	-0,50	-0,75	-0,39	-0,69	-0,54	-0,72	1,00	
%LT	0,09	0,30	-0,12	0,23	-0,15	0,34	-0,07	-0,21	-0,37	1,00

A2.3 – CORRELAÇÕES ENTRE OS VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES E A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA À ALTURA DO PEITO (1,30 m) DA CLASSE DIAMÉTRICA 2

	ME	C LT	C LI	D LT	D LI	d LT	d LI	e LT	e LI	%LT
ME	1,00									
C LT	0,07	1,00								
C LI	0,14	0,80	1,00							
D LT	0,82	0,39	0,35	1,00						
D LI	-0,11	0,74	0,95	0,22	1,00					
d LT	-0,10	-0,26	-0,05	0,25	0,17	1,00				
d LI	-0,19	0,83	0,89	0,23	0,97	0,17	1,00			
e LT	0,78	0,53	0,34	0,66	0,06	-0,56	0,07	1,00		
e LI	0,30	-0,37	0,21	-0,06	0,11	-0,02	-0,15	-0,04	1,00	
%LT	0,79	0,44	0,34	0,56	0,03	-0,64	-0,01	0,98	0,14	1,00

A2.4 – CORRELAÇÕES ENTRE OS VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES E A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA À ALTURA DO PEITO DA CLASSE DIAMÉTRICA 3

	ME	C LT	C LI	D LT	D LI	d LT	d LI	e LT	e LI	%LT
ME	1,00									
C LT	0,73	1,00								
C LI	0,66	0,98	1,00							
D LT	0,76	0,99	0,95	1,00						
D LI	0,74	0,97	0,94	0,96	1,00					
d LT	0,42	0,69	0,61	0,71	0,81	1,00				
d LI	0,81	0,98	0,97	0,97	0,94	0,56	1,00			
e LT	0,63	0,68	0,70	0,67	0,51	-0,06	0,77	1,00		
e LI	-0,10	0,08	0,02	0,09	0,28	0,77	-0,07	-0,68	1,00	
%LT	0,29	-0,07	0,01	-0,14	0,07	-0,01	0,02	-0,18	0,14	1,00

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Normas técnicas**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **Pasta celulósica e papel**. São Paulo. 1998.

BERNI, C. A.; BOLZA, E.; CHRISTENSEN, F. J. **South american timbers**: the characteristics, properties and uses of 190 species. Melbourne: Ivory House, 1979. 229 p.

BRITT, K. W. **Handbook of pulp and paper technology**. 2. ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1970. 723 p.

BROWN, H. P.; PANSHIN, A. J.; FORSAITH, C. C. **Textbook of technology**. New York: McGraw-Hill, 1949. v. 1. 652 p.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CENTRE INTERNATIONAL D'INFORMATIQUE ET DE STATISTIQUE APPLIQUÉES. **Amado 1.02 DANS SPAD 3**. Lyon, 1997. 1 disquete (561 Kb); 3 ½ pol.

COWN, D. J. Variation in tracheid dimensions in the stem of a 26-year-old radiata pine tree. **APPITA**, Carlton, v. 28, n. 4, p. 237 – 245, jan. 1975.

COWN, D. J.; KIBBLEWHITE, R. P. Effects of wood quality variation in New Zealand radiata pine on kraft paper properties. **N. Z. J. For. Sci.**, v. 10, n. 3, p. 521 – 532, nov. 1980.

DINWOODIE, J. M. The relationship between fiber morphology and paper properties: a review of literature. **TAPPI Journal**, Atlanta, v. 48, n. 8, p. 440 – 446, aug. 1965.

DUEÑAS, R. S. **Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel**. Guadalajara: Universidad de Guadalajara, 1997. 293 p.

EINSPAHR, D. W.; PECKHAM, J. R.; MATHES, M. C. Base lines for judging wood quality of loblolly pine. **For. Sci.**, Washington, v. 10, n. 2, p. 165-173, 1964.

FINDLAY, W. P. K. **Timber**: properties and uses. London: Granada, 1978. 224 p.

FOELKEL, C. E. B. Celulose kraft de *Pinus* spp. **O Papel**. ABCP: São Paulo, p. 49 - 67, jan. 1976.

_____. **Estrutura da madeira**. [São Paulo]: ABCP, [197?]. 80 p.

FUJIWARA, S.; YANG, K. C. The relationship between cell length and ring width and circumferential growth rate in five Canadian species. **IAWA Journal**, Leiden, v. 21 (3), p. 335 – 345, 2000.

IPT. **Celulose e papel**. 2. ed. São Paulo: IPT, 1998. v. 1: tecnologia da fabricação da pasta celulósica.

_____. **Celulose e papel**. São Paulo: IPT, 1992. v. 2: tecnologia da fabricação do papel. 402 p.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. Curitiba, 2000. 347 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

KOCH, P. **Utilization of the southern pines**. Madison: USDA, 1972. v. 1. 734 p.

KOLLMANN, F. P. K.; CÔTÉ Jr., W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1968. v. 1: solid wood.

LABOSKY, P.; IFJU, G.; GROZDITS, G. A. A study of loblolly pine growth increments – part V. Effects of chemical and morphological factors on tensile behavior of paper. **Wood and fiber science**. Madison, v. 16, n. 4, p. 474 – 485, oct. 1984.

LARSON, P. et al. **Formation and properties of juvenile wood in southern pines: a synopsis**. Madison: USDA, 2001. 42 p.

MENDONÇA, M. A. **Características da madeira de *Pinus elliottii* com diferentes idades e propriedades do papel**. Curitiba, 1982, 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MUÑIZ, G. I. B. de. **Descrição da estrutura e ultraestrutura da madeira de cinco espécies de *Prosopis* da Argentina e análise da metodologia**. Curitiba, 1986. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

_____. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1993. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MUÑIZ, G. I. B. de; CORADIN, V. R. Gimnospermae. In: **Norma de procedimentos em estudos de anatomia da madeira**. Brasília: ABNT, 1991. p. 15 – 19.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. de. **Textbook of wood technology**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 722 p.

RYDHOLM, S. A. **Pulping processes**. London: Interscience Publishers, 1965. 1269 p.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications**. 2. ed. San Diego: Academic press, 1993. 293 p.

SMOOK, G. A. **Handbook for pulp and paper technologists**. 2. ed. Vancouver: A. Wilde, 1994. 419 p.

SNYDER, E. B.; HAMAKER, J. M. Specific gravity and fiber length of loblolly and spruce pines on the same site. **U. S.For. Serv. Res. Note**, New Orleans, n. SO-103, p. 1-3, 1970.

STATSOFT INCOME. **Statistica for Windows**. Tulsa, OK, 1995. 1 disquete (1,38 Mb); 3 ½ pol.

TAPPI. **TAPPI tests methods**. Atlanta, 1994.

TOMASELLI, I. (Coord.). **Estudos da densidade básica e dimensões de traqueóides de povoamentos de *Pinus elliotti* e *Pinus taeda***. Curitiba: FUPEF, maio 1978. 54 f. (FUPEF, BRASKRAF). Projeto concluído.

_____. (Coord.). **Estudos da densidade básica e dimensões de traqueóides de povoamentos de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia***. Curitiba: FUPEF, jul. 1979. 70 f. (FUPEF, BRASKRAF). Projeto concluído.

USDA FOREST SERVICE. ***Pinus taeda***. Disponível em: <<http://www2.fpl.fs.fed.us/TechSheets/softwoodna/htmldocs/pinustaeda.html>> Acesso em: 08 out. 2002.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Boletim Técnico SIF**, Viçosa, n. 1, p. 1 - 21, 1984.

WATSON, A. J.; DADSWELL, H. E. Influence of fibre morphology on paper properties – Part I. Fibre length. **APPITA**, Carlton, v. 14, n. 5, p. 168 – 178, mar. 1961.

_____. Influence of fibre morphology on paper properties – Part II. Early wood and late wood. **APPITA**, Carlton, v. 15, n. 6, p. 116 – 128, may 1962.

WHEELER, E. A. **Wood Anatomy & Properties**. Disponível em: <<http://courses.nscu.edu/classes/wps202001/202syl/wps202.html>> Acesso em 28 out. 2002.

WRIGHT, J. A.; SLUIS-CRÉMER, H. J. Tracheid morphology and pulp and paper strength traits of *Pinus taeda* and *P. patula* at age 17 years in South Africa. **TAPPI Journal**, Midland, v. 75, n. 5, p. 183 – 187, 1992.