

GRACIELA I. B. DE MUNIZ

Caracterização e Desenvolvimento de Modelos para Estimar
as Propriedades e o Comportamento na Secagem da Madeira
de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial para a obtenção do título de "Doutor em Ciências Florestais".

Prof. Dr. Ivan Tomaselli

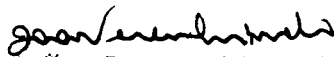
CURITIBA
1993

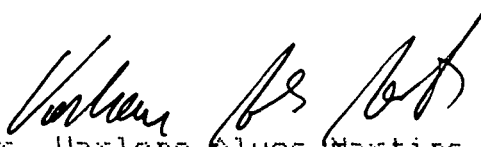
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL


P A R E C E R

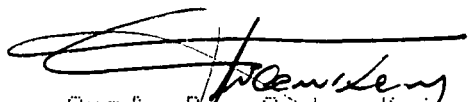
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Tese de Doutorado apresentada pela candidata **GRACIELA INES BOLZÓN DE MUMIZ**, sob o título "**CARACTERIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE MODELOS PARA ESTIMAR AS PROPRIEDADES E O COMPORTAMENTO NA SECAGEM DA MADEIRA DE *Pinus elliottii* Engelm E *Pinus taeda* L.**", para obtenção do grau de Doutor em Ciências Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Área de concentração em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**, após haver analisado o referido trabalho e arguido a candidata, são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Tese, com uma nota final: **9,84**

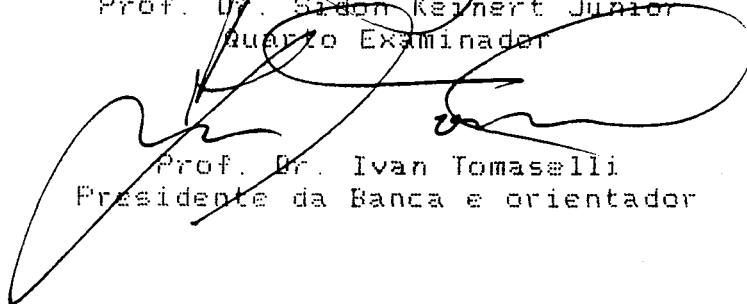
Curitiba, 30 de abril de 1993


Pesq. Dr. João Peres Chimelo
Primeiro Examinador


Pesq. Dr. Varlone Alves Martins
Segundo Examinador


Pesq. Dr. Jose Carlos Duarte Pereira
Terceiro Examinador


Prof. Dr. Sidon Keinert Junior
Quarto Examinador


Prof. Dr. Ivan Tomaselli
Presidente da Banca e orientador



Em homenagem

à memória do meu pai,

OFEREÇO

*A minha mãe e irmãos,
ao meu esposo e filhas,*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Ivan Tomaselli, pela valiosa orientação na realização deste trabalho.

A Prof^a. co-orientadora Aracely Vidal Gomes por suas sugestões e colaboração.

Ao Prof. co-orientador Dr. Sidon Keinert Junior pela contribuição e acompanhamento do trabalho.

Aos professores Dr. João Carlos Moreschi, Dr. Amauri Simioni, Humberto Klock, Lincoln Lopes Teixeira, Jorge Matos e Hernando Lara Palma por suas sugestões.

Ao Engenheiro Agrônomo Edilson Batista de Oliveira, ao Estatístico Osmir José Lavoranti, da Empresa de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA, e ao Prof. Alejandro Fridel, da Universidade Nacional de Misiones, pelas sugestões e pelo apoio durante o processamento e a análise dos dados.

Aos pesquisadores Emílio Rotta, Yeda Maria Malheiros de Oliveira e ao Eng. Marco Antonio Diodato pelo apoio recebido.

As bibliotecárias do CNPF/EMBRAPA, pela obtenção de material bibliográfico e revisão bibliográfica.

A Ricardo Klitzke e à Soli Maria Dal-Comuni, pelo auxílio nos trabalhos de laboratório e, ao Sr. Pedro Herrera na elaborações dos corpos de prova.

A Daniele Nauck, pelas ilustrações.

A coordenadoria do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal do Paraná, por possibilitar a realização do curso na opção de Tecnologia da Madeira.

A Universidade Nacional de Santiago del Estero e à Faculdade de Engenharia Florestal de Eldorado - Misiones que possibilitaram a realização do Curso de Pós-Graduação.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA, pelas facilidades e pelo apoio recebidos.

A todos os professores, funcionários e amigos do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, aos pesquisadores e funcionários do CNPF/EMBRAPA e aos engenheiros e funcionários da STC/P Engenharia e Projetos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

A minha família pela compreensão, motivação e colaboração manifestados durante o desenvolvimento deste trabalho.

S U M Á R I O

	<u>LISTA DE FIGURAS</u>	ix
	<u>LISTA DE TABELAS</u>	xii
	<u>RESUMO</u>	xv
	<u>ABSTRACT</u>	xvi
1	<u>INTRODUÇÃO</u>	1
2	<u>REVISÃO DE LITERATURA</u>	4
2.1	ESTRUTURA ANATÔMICA E A QUALIDADE DA MADEIRA..	4
2.2	RESISTÊNCIA DA MADEIRA.....	10
2.2.1	Considerações gerais	10
2.2.2	Elasticidade da Madeira.....	13
2.2.3	Fatores que influenciam na resistência.....	18
2.3	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA E INTERRELAÇÕES.	43
2.4	SECAGEM DA MADEIRA.....	49
2.4.1	Considerações gerais.....	49
2.4.2	Formas de Água existentes na Madeira.....	51
2.4.3	Fatores que influem no Processo de Secagem..	60
2.4.4	Taxa de Secagem.....	68
2.4.5	Efeito das condições de Secagem nas Propriedades da Madeira.....	72
2.4.5.1	Considerações gerais.....	72
2.4.5.2	Efeito da Temperatura de Secagem nas Propriedades Físicas.....	73
2.4.5.3	Efeito da Temperatura de Secagem nas Propriedades Mecânicas.....	77
3	<u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	78

3.1	ESPÉCIES ESTUDADAS.....	78
3.2	LOCAL DE COLETA.....	78
3.3	AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO DO MATERIAL.....	80
3.4	ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA.....	84
3.4.1	Características Anatômicas.....	85
3.4.1.1	Descrição da Madeira e Características Morfológicas dos Traqueóides.....	85
3.4.1.2	Determinação da Porcentagem de Lenho Tardio.....	86
3.4.2	Análises Químicas da Madeira.....	87
3.4.3	Propriedades Físicas.....	88
3.4.3.1	Determinação do Teor de Umidade	88
3.4.3.2	Determinação da Massa Específica.....	88
3.4.3.3	Determinação da Retratabilidade.....	90
3.4.4	Determinação das Propriedades Mecânicas	91
3.4.5	Determinação da Taxa de Secagem.....	93
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	96
4	<u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	99
4.1	FORMA DE APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	99
4.2	CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS.....	100
4.2.1	Descrição das Características Microscópicas da Madeira.....	100
4.2.1.1	<i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i> Engelm.....	100
4.2.1.2	<i>Pinus taeda</i> L.....	103
4.2.2	Características Morfológicas dos Traqueóides Axiais.....	105
4.2.2.1	Comprimento dos Traqueóides Axiais.....	105
4.2.2.2	Diâmetro dos Traqueóides e Espessura das Paredes.....	110
4.2.2.3	Modelos para Estimar as Características Morfológicas dos Traqueóides Axiais.....	116

4.2.2.4	Canais Resiníferos.....	118
4.2.3	Porcentagem de Lenho Tardio.....	119
4.2.4	Modelos para Estimar a Porcentagem de Lenho Tardio.....	124
4.3	ANÁLISES QUÍMICAS DA MADEIRA.....	125
4.3.1	Solubilidade em Água Quente e Alcool-Benzeno	125
4.3.2	Modelos para Estimar os Extrativos da Madeira Solúveis em Água Quente e Alcool-Benzeno....	130
4.4	PROPRIEDADES FÍSICAS.....	132
4.4.1	Teor de Umidade.....	132
4.4.1.1	Variação do Teor de Umidade no Fuste.....	132
4.4.1.2	Modelos para Estimar o Teor de Umidade da madeira.....	135
4.4.2	Massa Específica.....	136
4.4.2.1	Variação da Massa Específica Básica com a Altura no Fuste.....	136
4.4.2.2	Variação da Massa Específica Aparente no Fuste.....	139
4.4.2.3	A Massa Específica Básica e suas Corre- lações.....	144
4.4.2.4	Modelos para Estimar a Massa Específica...	147
4.4.3	Retratibilidade.....	149
4.4.3.1	Variação da Retratibilidade no Fuste.....	149
4.4.3.2	Modelos para Estimar a Retratibilidade....	158
4.5	PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	160
4.5.1	Resistência à Flexão Estática.....	160
4.5.2	Resistência à Compressão Paralela à Grã.....	166
4.5.3	Modelos para Estimar as Propriedades Mecânicas.....	170
4.6	PROPRIEDADES DA MADEIRA E A SECAGEM.....	173
4.6.1	Taxa de Secagem a diferentes Temperaturas...	177

4.6.2	Efeito das Propriedades da Madeira na Secagem.....	177
4.6.2.1	Considerações gerais.....	177
4.6.2.2	Características Anatômicas.....	177
4.6.2.3	Propriedades Físicas.....	178
4.6.2.4	Extrativos da Madeira.....	181
4.6.2.5	Modelos para Estimar a Taxa de Secagem....	182
4.6.3	Efeito da Secagem nas Característica da Madeira.....	184
4.6.3.1	Contração da Madeira.....	184
4.6.3.2	Umidade de Equilíbrio.....	185
4.6.3.3	Massa Específica Aparente.....	188
4.6.3.4	Outras observações.....	188
5	<u>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u>.....	190
	<u>ANEXOS</u>.....	198
	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>.....	215

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Pag.
1 DIAGRAMA CARGA/ DEFORMAÇÃO DA MADEIRA SUJEITA A FLEXÃO ESTÁTICA. MODELO TEÓRICO. (WANGAARD, 1950)	14
2 RELAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E MÓDULO DE RUPTURA PARA DIFERENTES ESPÉCIES DE MADEIRA (BOLZA & KLOOT, 1963).....	19
3 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA COM A IDADE DAS ÁRVORES (BENDTSEN, 1978).....	31
4 VARIAÇÃO DO COMPRIMENTO DOS TRAQUEÓIDES NO SENTIDO MEDULA/CASCA DE <i>Pinus elliottii</i> (MENDONÇA, 1982).....	32
5 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE COLETA DO MATERIAL. FLORESTA NACIONAL DE IRATI - PARANÁ.....	79
6A ESQUEMA DA RETIRADA DO MATERIAL PARA A OBTENÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS PARA ESTUDO.....	82
6B ESQUEMA DA RETIRADA DO MATERIAL PARA A OBTENÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS PARA ESTUDO.....	83
7 FOTOMICOGRAFIAS DE <i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i> Engelm. A. SEÇÃO TRANSVERSAL - 50X COM CANAIS RESINÍFEROS; B. SEÇÃO RADIAL- 50X; C. SEÇÃO TANGENCIAL, 50X MOSTRANDO CANAIS RESINÍFEROS; D SEÇÃO RADIAL, DETALHES MOSTRANDO OS TRAQUEÓIDES RADIAIS COM ESPESSAMENTO EM IDENTURAS (seta) E PONTOAÇÕES AREOLADAS.(400 X).....	102
8 FOTOMICOGRAFIAS <i>Pinus taeda</i> L. A. SEÇÃO TRANSVERSAL - 50X COM CANAIS RESINÍFERO (seta); B. SEÇÃO RADIAL - 50X; C. SEÇÃO TANGENCIAL, 125X MOSTRANDO CANAIS RESINÍFEROS; D SEÇÃO RADIAL, DETALHES MOSTRANDO OS TRAQUEÓIDES RADIAIS COM ESPESSAMENTO EM IDENTURAS (seta) E PONTOAÇÕES AREOALDAS.(400 X).....	104
9 VARIAÇÃO DOS COMPRIMENTOS MÉDIOS DOS TRAQUEÓIDES NAS DIFERENTES ALTURAS E POSIÇÕES NO TRONCO PARA <i>Pinus elliottii</i> (A) e <i>Pinus taeda</i> (B).....	105

10	VARIAÇÃO DO COMPRIMENTO DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS NAS DIVERSAS ALTURAS DO TRONCO PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	106
11	DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DO COMPRIMENTO DOS TRAQUEÓIDES (EM μm), AO LONGO DO FUSTE E A DIFERENTES POSIÇÕES, PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	108
12	VARIAÇÃO DO DIÂMETRO EXTERNO DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS NAS DIVERSAS ALTURAS DO TRONCO PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	112
13	VARIAÇÃO DO DIÂMETRO INTERNO DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS NAS DIVERSAS ALTURAS DO TRONCO PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	113
14	VARIAÇÃO DA ESPESSURA DAS PAREDES DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS NAS DIVERSAS ALTURAS DO TRONCO PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	114
15	DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DOS VALORES DE DIÂMETRO EXTERNO, INTERNO E ESPESSURA DAS PAREDES DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS PARA <i>Pinus elliottii</i> e <i>Pinus taeda</i>	115
16	A. FOTOMICROGRAFIAS DE CORTES HISTÓLOGICOS. A. SEÇÃO TRASVERSAL, CANAL RESINÍFERO AXIAIS. MEV 5300 X.; B. SEÇÃO TRANSVERSAL, DETALHE DA FOTO ANTERIOR. MEV 7500X; C. SEÇÃO TANGENCIAL, RAIOS FUSIFORME, CANAL RESINÍFERO. MEV 3.150X.....	120
17	VARIAÇÃO DA PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO NAS DIVERSAS ALTURAS ESTUDADAS PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i> ...	122
18	DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DA PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO AO LONGO DO FUSTE E A DIFERENTES POSIÇÕES, PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	123
19	VARIAÇÃO DOS EXTRATIVOS SOLÚVEIS EM ÁGUA QUENTE E ALCOOL- BENZENO AO LONGO DA ALTURA DO TRONCO PARA <i>Pinus elliottii</i> (A) E <i>Pinus taeda</i> (B).....	128
20	DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DOS EXTRATIVOS (EM %) SOLÚVEIS EM ÁGUA QUENTE E ALCOOL BENZENO AO LONGO DO TRONCO E A DIFERENTES POSIÇÕES DO MESMO PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	129
21	TEOR DE UMIDADE (%) DO LENHO JUVENIL (5-6), INTERMEDIÁRIO (4-3) E EXTERNO (2-1), POR ALTURA NO TRONCO, PARA <i>Pinus elliottii</i> (A) E <i>Pinus taeda</i> (B).....	133
22	DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DO TEOR DE UMIDADE (%), AO LONGO DO FUSTE E A DIFERENTES POSIÇÕES DO MESMO PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	134
23	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA COM A ALTURA NO TRONCO, PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	138

24	DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (g/cm^3), AO LONGO DO FUSTE E A DIFERENTES POSIÇÕES, PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	140
25	RELAÇÃO ENTRE PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO E A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA <i>Pinus elliottii</i> (A) E <i>Pinus taeda</i> (B).....	145
26	RELAÇÃO ENTRE A ESPESSURA DAS PAREDES DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS E A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA <i>Pinus elliottii</i> (A) E <i>Pinus taeda</i> (B).....	146
27	VARIAÇÕES DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA, TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL, COM RESPEITO A ALTURA NO FUSTE PARA <i>Pinus elliottii</i> (A) E <i>Pinus taeda</i> (B)	152
28	DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA AO LONGO DO FUSTE E POSIÇÕES DENTRO DO MESMO	155
29	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO SIMPLES AJUSTADAS PARA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA, RADIAL, TANGENCIAL E LONGITUDINAL E MASSA ESPECÍFICA PARA <i>Pinus elliottii</i> (A) E <i>Pinus taeda</i> (B).....	157
30	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO SIMPLES AJUSTADAS PARA ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO E MASSA ESPECÍFICA PARA <i>Pinus elliottii</i> (A) E <i>Pinus taeda</i> (B).....	158
31	DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DA RESISTÊNCIA DA MADEIRA À FLEXÃO ESTÁTICA.....	164
32	MODELO DE REGRESSÃO LINEAR DO MÓDULO DE RUPTURA (MOR) E MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) (EM kgf/cm^2), PARA <i>Pinus elliottii</i> (A) E <i>Pinus taeda</i> (B).....	165
33	DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DA RESISTÊNCIA DA MADEIRA À COMPRESSÃO PARALELA À GRÃ.....	170
34	MODELO DE REGRESSÃO LINEAR PARA ESTIMAR O MÓDULO DE ELASTICIDADE E DE RUPTURA VERSUS MASSA ESPECÍFICA PARA <i>Pinus elliottii</i> (A) E <i>Pinus taeda</i> (B).....	171
35	COMPORTAMENTO DA TAXA DE SECAGEM COM A TEMPERATURA NOS INTERVALOS DE UMIDADE DE: VERDE ATÉ 30%; VERDE ATÉ 12% E 30 A 12% PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	178
36	INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE INICIAL NA TAXA DE SECAGEM A DIFERENTES TEMPERATURAS PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i> (R = coeficiente de correlação, U = umidade).....	181

LISTA DE TABELAS

TABELAS	Pag.
1 VARIACÃO DA PORCENTAGEM DE LENHO JUVENIL EM FUNÇÃO DA IDADE DA ÁRVORE (KELLISON, 1981).....	30
2 RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA DA MADEIRA DE <i>Araucaria angustifolia</i> , <i>Pinus taeda</i> e <i>Pinus elliottii</i> COM 18 ANOS: TORAS COLETADAS NA BASE DO FUSTE. (TOMASELLI, 1979).....	35
3 TAXAS DE SECAGEM MÉDIAS PARA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DENTRO DA VELOCIDADE DE AR DE 2,5 m/seg. (SEVERO, 1989).....	71
4 MÉDIAS DE DAP (cm) E EM ALTURA DO FUSTE (m) DE 5 ÁRVORES DE <i>Pinus elliottii</i> E DE <i>Pinus taeda</i>	81
5 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS ESTUDADAS, DIMENSÕES DOS CORPOS DE PROVA (cm) E VELOCIDADES DE TESTE (mm/min) PARA <i>Pinus elliottii</i> e <i>Pinus taeda</i>	92
6 MODELO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA UTILIZADO PARA A DETERMINAÇÃO DO EFEITO DA ALTURA E POSIÇÃO:ALTURA PARA AS PROPRIEDADES DA MADEIRA.....	96
7 MÉDIAS DOS COMPRIMENTOS DOS TRAQUEÓIDES (EM μm) DO LENHO JUVENIL E ADULTO DE <i>Pinus elliottii</i> e <i>Pinus taeda</i>	109
8 MÉDIA DO DIÂMETRO EXTERNO, INTERNO E ESPESSURA DAS PAREDES DOS TRAQUEÓIDES (EM μm) NAS DIFERENTES ALTURAS E NOS LENHOS JUVENIL E ADULTO PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	111
9 MODELOS PARA ESTIMAR AS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS, PARA <i>Pinus elliottii</i> e <i>Pinus taeda</i>	117
10 MÉDIA DA PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO NAS DIFERENTES ALTURAS DO FUSTE E NOS LENHOS JUVENIL E ADULTO PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	121
11 MODELOS PARA ESTIMAR A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, PARA <i>Pinus elliottii</i> e <i>Pinus taeda</i>	125

12	CONTEÛDO DE EXTRATIVOS (%) SOLÛVEIS EM AGUA QUENTE E ALCOOL-BENZENO NO LENHO JUVENIL E ADULTO, PARA <i>Pinus elliottii</i> e <i>Pinus taeda</i>	126
13	MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR MÛLTIPLAS PARA ESTIMAR OS EXTRATIVOS SOLÛVEIS EM AGUA QUENTE E ALCOOL BENZENO, PARA <i>Pinus elliottii</i> e <i>Pinus taeda</i>	131
14	TEOR DE UMIDADE (%) DO LENHO JUVENIL, INTERMEDIÁRIO E EXTERNO, POR ALTURA NO FUSTE, PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	132
15	MODELOS PARA ESTIMAR O TEOR DE UMIDADE (EM %), PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	135
16	RESULTADOS MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (g/cm ³) DE DISCOS COLETADOS EM 5 ALTURAS AO LONGO DO FUSTE, PARA <i>Pinus elliottii</i> e <i>Pinus taeda</i>	137
17	MASSA ESPECÍFICA MÉDIA (g/cm ³) DO LENHO JUVENIL E ADULTO, POR ALTURA NO FUSTE, PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	139
18	MODELOS PARA ESTIMAR A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA, PARA <i>Pinus elliottii</i> e <i>Pinus taeda</i>	148
19	CONTRAÇÕES VOLUMÉTRICAS E LINEARES, ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO E COEFICIENTES DE RETRATIBILIDADE DE <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	150
20	EQUAÇÕES DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES AJUSTADAS PARA AS CONTRAÇÕES VOLUMÉTRICAS E LINEARES, ANISOTROPIA E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA.....	154
21	MODELOS PARA ESTIMAR A RETRATIBILIDADE PARA <i>Pinus elliottii</i> e <i>Pinus taeda</i>	159
22	MÉDIAS DOS VALORES DE FLEXÃO ESTATICA PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	161
23	VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA À GRÃ NAS ALTURAS ESTUDADAS E OS LENHOS JUVENIL E ADULTO, PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	167
24	EQUAÇÕES PARA ESTIMAR O MÔDULO DE ELASTICIDADE (MOE), MÔDULO DE RUPTURA (MOR) E TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTATICA PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	171
25	EQUAÇÕES DE REGRESSÃO MÛLTIPLA PARA ESTIMAR O MÔDULO DE ELASTICIDADE (MOE), MÔDULO DE RUPTURA (MOR) E TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARALELA À GRÃ PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	172

26	TAXA DE SECAGEM MÉDIA PARA OS INTERVALOS DE UMIDADE DE VERDE ATÉ 50%, VERDE ATÉ 30%, VERDE ATÉ 12% , 50 ATÉ 30%, 30 ATÉ 20% , 20 ATÉ 12% E DE 30 A 12 % PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	174
27	MODELOS PARA ESTIMAR A TAXA DE SECAGEM A DIFERENTES INTERVALOS DE UMIDADE E TEMPERATURAS PARA <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	183
28	CONTRAÇÃO DA MADEIRA DE <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i> SECAS NAS DIVERSAS TEMPERATURAS.....	184
29	TEOR DE UMIDADE DE EQUILÍBRIO (Ueq) PARA MADEIRA DE <i>Pinus elliottii</i> E <i>Pinus taeda</i>	186

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo o estudo das principais características das madeiras de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L., provenientes de plantios com 30 anos de idade, localizados na Floresta Nacional de Itatí, Estado do Paraná. Foi estudada a variabilidade, tanto no sentido medula-casca como a diferentes alturas no tronco de 10 árvores. Procurou-se determinar modelos para estimar as propriedades e correlacionar o efeito das características da madeira na secagem. Foram estudadas as características anatômicas, conteúdo de extrativos, propriedades físicas e mecânicas, além das taxas de secagem a diferentes temperaturas. Os resultados obtidos para as características anatômicas, propriedades físicas e mecânicas mostraram diferenças altamente significativas entre os lenhos juvenil e adulto para ambas espécies. A massa específica mostrou uma alta correlação com a espessura da parede dos traqueóides axiais, com a porcentagem de lenho tardio, com a retratibilidade e propriedades mecânicas. A madeira de *Pinus taeda* apresentou valores mais altos em todas as características analisadas em relação a *Pinus elliottii*, ainda que as diferenças não tenham sido significativas estatisticamente. Como parte deste estudo foram analisados os modelos de análise de regressão linear múltipla, através do procedimento denominado Passo a Passo, para prognosticar as características morfológicas dos traqueóides e as propriedades das madeiras em função da orientação radial, idade e altura relativa do fuste. Os coeficientes de determinação (R^2) dos modelos para estimar as propriedades foram satisfatórios. Para avaliar a importância das características da madeira no processo de secagem, foram determinadas as taxas de secagem a temperaturas de 50, 80 e 120°C e em ambiente controlado, a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 2\%$ de umidade relativa. A avaliação do efeito da taxa de secagem nas características das madeiras foi feita através da análise de modelos de regressão. Quanto maior a temperatura, maior a taxa de secagem, apresentando excelentes ajustes para o modelo multiplicativo $y = ax^b$. Por outro lado, a taxa de secagem para as diferentes temperaturas estudadas aumenta com a umidade inicial do corpo de prova; este fato parece estar relacionado à correlação existente entre a porcentagem de madeira juvenil e teor de umidade. Observou-se que o teor de umidade de equilíbrio da madeira diminui com a elevação da temperatura e que a contração aumenta com a elevação da mesma.

ABSTRACT

The objective of this work was to study the most important wood characteristics of *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. and *Pinus taeda* L., 30 year old plantation from the Iratí National Forest, State of Paraná, Brasil. The variability from pith to bark as well as at different heights within the trunk was studied in 10 individual trees. Models to estimate the properties and to correlate the effect of wood characteristics in wood drying processes were created. The anatomical characteristics, extractives content, physical and mechanical properties, as well as drying rate at different temperatures were studied. Results obtained for anatomical, physical and mechanical characteristics have shown highly significant differences between juvenile and adult wood for both species. The specific mass showed a high correlation with axial tracheid wall thickness, percentage of latewood, shrinking and mechanical properties. In all characters analysed, *Pinus taeda* wood presented higher values than *Pinus elliottii* var. *elliottii*, though not statistically significant. As part of this study, the models of multiple linear regression analysis, through a Stepwise procedure, to make a prognostic of the tracheids morphological characteristics and wood properties in relation to radial orientation, age and relative tree height were analysed. The determination coefficients (R^2) of the models to estimate the properties were satisfactory. The final objective of this research was to evaluate the effect of wood characteristics in the drying process. For this, the drying rate at temperatures of 50, 80 and 120°C and at controlled conditions of $20 \pm 2^\circ\text{C}$ and $65 \pm 2\%$ relative moisture were determined. The evaluation of the influence of the drying rate in wood characteristics was made through the analysis of regression equation models. The higher was the temperature the higher was the drying rate, presenting an excellent adjustment to the multiplicative model $y = ax^b$. The drying rate for the different temperatures studied increases with the initial moisture of the sample; this fact seems to be related to the existing correlation between the percentage of juvenile wood and the moisture content. It was also observed that the equilibrium moisture content of the wood decreased with the increase in temperature and that the shrinkage increases with a corresponding increase in temperature.

1. INTRODUÇÃO

O evento dos incentivos fiscais, em 1966, marcou o início da atividade de reflorestamento em grande escala no Brasil. Na Região Sul a opção foi para o gênero *Pinus*, especialmente *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *Pinus taeda*. O objetivo inicial era criar uma base florestal para dar suporte ao programa de desenvolvimento do setor de papel e celulose.

Apesar dos plantios terem sido implantados e conduzidos para produção de polpa e papel, já a partir da década de 70 a indústria de transformação mecânica do sul iniciava um processo de utilização do *Pinus* para produção de madeira serrada e lâminas. O processo de utilização do *Pinus* spp nesta indústria cresceu à medida que as reservas naturais da região se esgotaram, ou eram incluídas como áreas de preservação permanente.

No setor de madeira serrada, segundo dados da ABPM - Associação Brasileira de Produtores de Madeira, a produção em 1992, atingiu cerca de 3 milhões de metros cúbicos. Estimativas indicam que no ano 2000 esta produção deverá atingir 10 milhões de metros cúbicos, e o *Pinus* deverá ser estas espécies utilizadas para produção de madeira serrada no Sul do Brasil.

A utilização de *Pinus* na produção de compensado também é

crescente. As estimativas da ABIMCI (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Compensada e Industrializada) indicam que, do volume de chapas produzidas no Sul do Brasil, estimado em 700.000 m³/ano, mais de 50% é formado por lâminas de *Pinus*, seja como produto puro (compensados de *Pinus*) ou produto misturado, onde o *Pinus* é usado somente no miolo (comercialmente conhecido como "combi").

O *Pinus* spp é ainda utilizado em larga escala na indústria de aglomerados, na fabricação de móveis, em construção civil (forro, lambris, etc.) paletes, lápis, embalagem, etc) e outros produtos de maior valor agregado. Trata-se, sem sombra de dúvida, de uma matéria prima especialmente importante para o desenvolvimento sócio-econômico, especialmente na região sul.

Apesar desta grande potencialidade, poucas pesquisas sobre as características e qualidade da madeira das duas espécies de maior importância - *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* - têm sido conduzidas. Os poucos estudos existentes são em geral orientados para o setor de papel e celulose, e são de baixa aplicabilidade na indústria de transformação mecânica de madeira. Os levantamentos bibliográficos levaram a uma lista bastante reduzida de trabalhos de pesquisa de interesse direto à indústria de transformação primária. Entre estes trabalhos citam-se a avaliação de algumas propriedades da madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* realizados por TOMASELLI (1979), estudos sobre secagem de *Pinus elliottii* conduzidos por SANTINI (1980), TOMASELLI (1981), SEVERO (1989) e PEREIRA (1993), e estudos sobre chapa de composição efetuados por BRITO (1984), MEDINA (1986), LARA PALMA (1986), KEINERT (1988), MATOS (1988),

IWAKIRI(1989) e ALBERTO (1992).

Caracterizada a importância sócio-econômica destas espécies e a falta de informação básica sobre as propriedades, qualidade e fatores que afetam os processos de transformação da madeira, estabeleceu-se como objetivos deste estudo:

- . Caracterizar a madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *Pinus taeda* cobrindo aspectos anatômicos, extrativos, propriedades físicas e mecânicas;
- . Comparar as características e as propriedades das duas espécies;
- . Desenvolver modelos matemáticos para a estimativa das propriedades da madeira em função da orientação radial da seção transversal, idade e alturas relativas no fuste;
- . Avaliar as correlações entre as propriedades estudadas e desenvolver equações apropriadas;
- . Avaliar a influência das propriedades da madeira na secagem;
- . Avaliar o efeito da secagem em algumas propriedades do material estudado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A ESTRUTURA ANATÔMICA E A QUALIDADE DA MADEIRA.

A madeira, que é composta por agregados de células vegetais, é uma das principais matérias-primas industriais; apresenta características de anisotropia (propriedades distintas em cada um dos diferentes sentidos de crescimento), higroscopicidade (capacidade de perder ou adquirir umidade dependendo das condições ambientais) e variabilidade de suas propriedades.

A variabilidade das propriedades da madeira é consequência de diferenças estruturais, desde a ultra-estrutura da parede celular até as geográficas, sendo que a fonte de variação dentro da árvore talvez seja a mais significativa (COWN, 1980 e LAVERY, 1986).

Há muito tempo sabe-se que, além das diferenças existentes entre espécies, as características anatômicas e as propriedades físico-mecânicas variam entre indivíduos de uma mesma espécie, bem como num mesmo indivíduo.

A madeira é produzida num ciclo anual por uma camada de tecido generativo chamado câmbio, de posição interior à casca

viva e envolvendo completamente o xilema secundário do tronco, galhos e raízes da árvore. Desta forma, durante cada período de crescimento, novas camadas de tecido lenhoso se sobrepõem à madeira anteriormente formada.

Segundo COWN (1980), a natureza das células da madeira é grandemente influenciada pela idade real do tecido cambial e, deste modo, zonas distintas de madeira podem ser percebidas dentro da árvore, dependendo da posição da madeira em relação ao centro do tronco e ao topo da árvore.

Isto foi provado pelas pesquisas clássicas de SÂNIO (1872), que mostrou a variação no comprimento dos traqueóides em *Pinus sylvestris*, dependendo de sua posição no tronco. O comprimento dos traqueóides aumenta até um máximo na direção medula-casca e quanto mais próximo da base do tronco. O mesmo acontece, em geral, para a porcentagem de lenho tardio, massa específica e conteúdo de celulose.

No início deste século a Anatomia da Madeira começou a ser direcionada para o estudo das células individuais, buscando uma melhor avaliação das propriedades da madeira.

ESAU (1974) afirma que a composição do lenho, a estrutura e a organização de seus elementos constituintes determinam as propriedades físicas da madeira e sua aptidão para o uso comercial.

Segundo HUGHES (1973), o principal objetivo da investigação anatômica é verificar a relação existente entre as características estruturais da madeira e seu uso. As dimensões das fibras, por exemplo, são indicações importantes das

propriedades de uma determinada espécie de madeira e de sua adequação para a fabricação de um tipo específico de papel.

As fibras libriformes e fibrotraqueóides são os elementos celulares mais importantes no que diz respeito à resistência mecânica do lenho das dicotiledôneas. Estudos comprovaram haver estreita correlação entre o volume de fibras, massa específica e resistência mecânica.

Um dos primeiros estudos deste tipo foi levado a efeito na Austrália por BAKER & SMITH (1924) que verificaram as dimensões das fibras de *Eucalyptus* sp para pesquisar as possibilidades do seu uso na produção de papel. A este trabalho seguiram-se numerosos estudos realizados por DADSWELL (1939), WARDROP (1951) e BAMBER (1980).

Durante muitos anos os pesquisadores têm estudado o ritmo de crescimento, a massa específica e a porcentagem de lenho tardio com o propósito de relacionar os fatores de crescimento e as propriedades da madeira. Muitos resultados têm sido publicados, mas há poucas conclusões definitivas que permitam estabelecer procedimentos para o manejo da floresta (DADSWELL, 1957-58).

No Japão, HARADA (1965) e SUDO (1981) têm-se dedicado ao estudo dos elementos celulares constituintes da madeira, pesquisando o arranjo micelar, a formação da parede celular e a ultraestrutura das pontoações em madeiras e bambús.

DADSWELL & NICHOLLS (1960), da Austrália, reconhecem que a variação das propriedades da madeira em função da idade deve ser levada em consideração para os estudos de qualidade.

Em uma série de trabalhos, BURLEY (1969, 1970) e BENDTSEN & SENFT (1986) quantificaram, de acordo com a idade da árvore, a variação de comprimento de traqueóides, da massa específica, porcentagem de lenho tardio e ângulo fibrilar. Padrão similar de variação tem sido também constatado por BISSET & DADSWELL (1950), FERREIRA (1968), FERREIRA et al. (1968), BRASIL e FERREIRA (1971), BRASIL (1976), BRASIL et al. (1980), FOELKEL et al. (1971, 1975), BAMBER (1980), para o comprimento de fibras, massa específica e diâmetro tangencial dos vasos no gênero *Eucalyptus*.

DUFFIELD (1961) afirma que existem grandes diferenças nas propriedades da madeira e que o conhecimento da variação dentro das espécies, é incompleto devido à multiplicidade e interação das causas de variação. Estas causas podem ser classificadas como controladas geneticamente, ambientalmente e posicionalmente (posição no tronco). O autor classifica estas variações em dois grupos: fatores inerentes à árvore (fatores internos) e fatores inerentes ao ambiente e tratamentos silviculturais (fatores externos).

Vários trabalhos sobre o relacionamento da variação das características anatômicas com a ecologia e sua influência na qualidade da madeira foram realizados. HARRIS (1977), por exemplo, mostrou que a massa específica em *Pinus radiata* está relacionada com a altitude, enquanto COWN (1974) encontrou cerca de 30% de variação na massa específica de *Pinus radiata* da Nova Zelândia, é devida a efeitos de latitude. As variações

ecológicas influenciando nas dimensões das células constituintes da madeira foram analisadas por CARLQUIST (1975, 1977) e revisadas por BAAS (1976, 1985).

Atualmente, no Japão, Austrália, Nova Zelândia, Chile e Brasil, devido à necessidade de buscar usos mais adequados para as espécies florestais, estudos sobre a qualidade da madeira têm sido grandemente incrementados, com maior ênfase nas pesquisas sobre massa específica, grã espiralada e comprimento das fibras (SUDO, 1981).

Dentre os parâmetros empregados na avaliação da qualidade da madeira, a massa específica tem merecido atenção especial por parte dos pesquisadores como decorrência de sua íntima relação com algumas importantes características tecnológicas e econômicas. Citam-se, por exemplo, alteração dimensional (YAO, 1972; NYLINDER, 1973; JANKOWSKY, 1979b), resistência mecânica das peças (MITCHELL, 1956; PANSIN e ZEEUW, 1970; HARRIS et al., 1976; TOMASELLI, 1979; GARCIA, 1985; DURLO, 1988; KLOCK, 1989), produção e qualidade da polpa (VAN BUIJTENEN, 1963 e 1969; FOLKEL et al., 1975; MORESCHI, 1975; BARRICHELO e BRITO, 1979-80; BARRICHELO, 1979-80; FOELKEL et al. (1971-83) MENDONÇA, 1982), produção e qualidade do carvão vegetal (MOREIRA, 1964; JUVILLAR, 1979; BRITO e BARRICHELO, 1979 e 1980), bem como os custos operacionais ligados ao transporte e armazenamento da madeira (VAN DER SLOOTEN, 1977; BARRICHELO e BRITO, 1978).

TOMASELLI (1979) correlacionando *Araucaria angustifolia* com *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* em reflorestamentos de 18

anos, concluiu que a massa específica básica para as três espécies era a mesma. Para as duas espécies de *Pinus* foram encontradas grandes diferenças na resistência à flexão entre madeira juvenil e madeira adulta, o que não ocorreu com *Araucária*. Já para a madeira adulta das três espécies nenhuma diferença foi encontrada, tendo sido os valores obtidos para as espécies considerados até certo ponto surpreendentes.

A influência de tratamentos silviculturais na qualidade da madeira foi estudada por numerosos pesquisadores, tais como LARSON (1969), OTHA (1981), RUDMAN & MCKINNEL (1970), SMITH (1968), NICHOLS (1971), FIELDING (1965-67) e COWN (1974). Entre os fatores estudados encontram-se a poda, irrigação, desbaste, fertilização e localização geográfica. De uma maneira geral, parece haver consenso em que um tratamento silvicultural aplicado intensamente, como por exemplo o desbaste, pode afetar a qualidade da madeira.

Outro fator citado como influente nas propriedades da madeira é a variação genética (ZOBEL et al. 1959). Além da influência genética, as propriedades da madeira variam de acordo com a posição no tronco. Para as coníferas, a massa específica básica cresce na direção medula - casca; o mesmo acontece com o comprimento dos traqueóides. Essa tendência foi observada por diversos autores, entre eles NICHOLLS (1971), DADSWELL (1939), DINWOODIE (1961) e JACKSON & MORSE (1965).

A taxa de crescimento é outro fator que tem influência nas propriedades da madeira. Segundo ERICKSON & HARRINSON (1974), um aumento súbito da taxa de crescimento resulta em

variações nas propriedades, entre elas um aumento na porcentagem de lenho inicial, redução da massa específica e do comprimento dos traqueóides.

As investigações de possíveis diferenças na qualidade da madeira como decorrência do ritmo de crescimento têm-se sucedido através dos anos (ZOBEL, 1978 e PEREIRA, 1982). Contudo, os resultados disponíveis na literatura são bastante conflitantes para que possam permitir e justificar a elaboração de métodos e técnicas florestais específicos.

As razões para tal diversidade de respostas encontradas parecem assentar-se especialmente nos critérios de amostragem e nos métodos empregados pelos pesquisadores que nem sempre enfocaram o problema como prioridade, mas como informação adicional. Concomitantemente, a caracterização do material, compreendendo a espécie estudada, o ambiente em que se desenvolve e o estágio de desenvolvimento, também tem sido apontada dentre essas razões (PEREIRA, 1982).

2.2 RESISTÊNCIA DA MADEIRA

2.2.1 Considerações gerais

Um dos principais objetivos da atividade florestal é a produção de madeira para diversos fins. A aptidão para cada tipo de utilização é determinada por uma série de propriedades desse material.

A resistência máxima de um material é definida como o esforço máximo que ocorre antes ou no momento da ruptura. Alguns materiais possuem reservas consideráveis de resistência entre o limite elástico e a resistência máxima; no entanto, essa faixa de resistência chamada "inelástica" não é considerada na aplicação da teoria de resistência para vigas de madeira por ser muito variável com relação a outros materiais de construção, como estruturas de aço. Testes em corpos de prova da mesma espécie e dimensões, e nas mesmas condições, podem resultar numa considerável variação em valores de resistência. Esta variabilidade nos resultados dos testes é levada em consideração quando o esforço admissível para diferentes espécies e classes de madeiras para fins estruturais é estabelecido (PARKER 1979).

Segundo NOACK (1976), o valor e a regularidade destas propriedades são uma escala para o julgamento da qualidade da madeira e para a estimativa de seu poder de concorrência no mercado.

SIMIONI (1981) observou a necessidade de se levar em conta a variação existente entre os lenhos juvenil e adulto de *Pinus radiata* para o cálculo de tensões admissíveis visando a classificação da madeira em classes de qualidade.

Embora a experiência de uso e a disponibilidade da madeira frequentemente decidam quais as espécies a serem utilizadas para uma determinada finalidade, atualmente requer-se um conhecimento muito mais detalhado para uma utilização eficiente, bem como para a utilização de madeiras desconhecidas

e, ainda, para a indicação de espécies em projetos de reflorestamento.

Se, por exemplo, para a indústria de polpa e papel interessam a massa específica, o comprimento de fibras ou traqueóides, para a indústria moveleira importa a estabilidade dimensional, características de superfície, coloração, etc. e para fins estruturais, interessa a resistência da madeira para os diversos tipos de esforços solicitantes, como compressão, tração e especialmente flexão.

Segundo DESCH (1982) e WANRGAARD (1950), a resistência da madeira, expressa numericamente através do Módulo de Ruptura, pode ser obtida em testes de flexão estática, com viga apoiada livremente em ambas as extremidades com aplicação de carga no centro do vão, através da fórmula:

$$MOR = 3/2(P \cdot L)(b \cdot h^2)$$

onde:

MOR = Módulo de Ruptura (Kgf/cm² ou N/mm²);

P = carga máxima (Kgf ou N);

L = distância entre os apoios (cm ou mm);

b = largura da viga (cm ou mm);

h = altura da viga (cm ou mm).

Para BENDTSEN (1978), o entendimento das características da madeira é essencial para seu uso efetivo. Desta forma, para se classificar a madeira em categorias de resistência, há necessidade de se conhecer as variáveis e de que forma elas influenciam na resistência.

2.2.2 Elasticidade da madeira

Um corpo sólido sujeito a uma determinada carga sofre uma certa deformação. Quando esta carga é removida, o corpo tende a retornar à forma e à posição originais, o que se denomina elasticidade. Isto, no entanto, ocorre somente quando o esforço não excede do limite elástico (PARKER, 1979).

A propriedade elástica é característica dos corpos sólidos abaixo de um certo limite de esforço. Acima deste limite ocorrerão deformações plásticas até a ruptura. Um corpo sólido é chamado elástico quando a deformação produzida devido à aplicação de uma carga abaixo de limite proporcional é completamente anulada após o relaxamento desta carga. Além do limite proporcional, as deformações plásticas sofridas pelo material são irreversíveis (KOLLMANN & COTÉ Jr., 1968).

Na prática, o limite proporcional de um material é determinado no diagrama carga/deformação. O ponto no diagrama onde a linha começa a curvar-se perceptivelmente é o limite proporcional (WANGAARD, 1950). (Figura 1)

A relação entre as cargas aplicadas e as deformações correspondentes até o limite proporcional é expressa pela lei de Hooke, através da seguinte equação:

$$E = \sigma \cdot \epsilon^n$$

onde:

E = deformação relativa $\Delta l/l$ = elongação/comprimento original;

σ = coeficiente de dilatação ou de deformação;

n = constante específica para cada material, no caso da madeira, considerado igual a 1.

O chamado coeficiente de dilatação (δ) expressa a deformação da unidade de comprimento por unidade de tensão. Os valores de n derivados de experimentos são menores que a unidade para ferro, cobre, zinco, granito e cimento. Para aço, alumínio e madeira, este pode ser considerado, com grande precisão, igual a 1 de forma que, até o limite proporcional, a madeira deforma-se segundo a Lei de Hooke (VORREITER, 1949 e KOLLMANN, 1951).

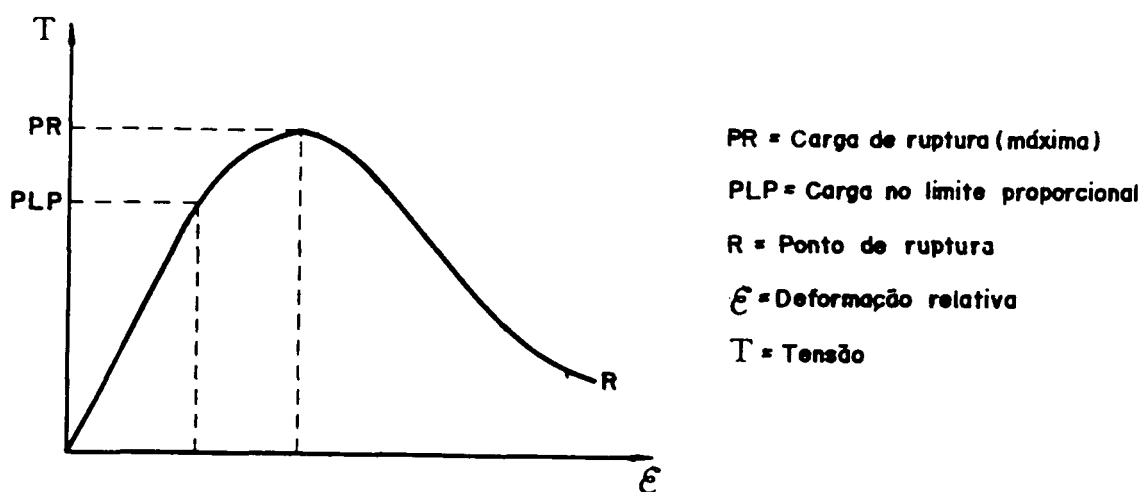


FIGURA 1 - DIAGRAMA CARGA/ DEFORMAÇÃO DA MADEIRA SUJEITA À FLEXÃO ESTÁTICA. MODELO TEÓRICO. (WANGAARD, 1950)

Na literatura técnica, normalmente é usado o valor recíproco $1/\delta = E$; onde E é chamado de módulo de elasticidade (MOE) ou módulo de Young, e expressa o esforço hipotético, pelo qual um corpo de 1 cm^2 de área transversal pode ser estendido ao dobro de seu comprimento original. Na realidade, o valor real de E não pode ser atingido, pois ocorre antes disso a ruptura do material. Em testes de flexão estática, a determinação do módulo de elasticidade pode ser feita com a parte reta da linha descrita pelas avaliações carga/deformação no limite de proporcionalidade ou limite elástico (KOLLMANN & COTÉ Jr., 1968).

O módulo de elasticidade pode ser obtido tanto nos ensaios de flexão estática como nos de tração e compressão. Os valores encontrados são relativamente próximos. Nos testes de flexão estática são um pouco menores do que os resultantes de outros tipos de testes (KOLLMANN, 1951), razão pela qual, segundo GEIGER (1950), constitui-se no método mais empregado mundialmente para a obtenção do módulo de elasticidade.

O índice de rigidez da madeira é uma medida de sua aptidão a resistir à deformação imposta pela carga. Desta forma, em termos práticos, um material difícil de curvar ou deformar pode ser chamado rígido. Por outro lado, um material fácil de curvar sem quebrar, é dito flexível. A rigidez é expressa numericamente através do módulo de elasticidade, em testes de flexão estática, com dois apoios a um ponto de aplicação de carga (WANGAARD, 1950). Este valor pode ser obtido

através da fórmula:

$$\text{MOE} = (P' \cdot L^3) / (4 \cdot d \cdot b \cdot h^3)$$

onde:

MOE = Módulo de Elasticidade (Kgf/cm² ou N/mm²);

P' = carga no limite proporcional (Kgf ou N);

L = comprimento do vão (mm);

d = deformação correspondente à carga no limite proporcional (mm);

b = largura do corpo de prova (mm);

h = altura do corpo de prova (mm).

Para o cálculo do Módulo de Elasticidade para dois pontos de aplicação de carga dispostos simetricamente, a equação passaria a ser:

$$\text{MOE} = \frac{P' \cdot a}{4 \cdot d \cdot b \cdot h^3} \cdot (3L^2 - 4a^2)$$

onde:

a = distância entre o ponto de aplicação de carga ao apoio mais próximo (mm).

A capacidade de um material se opor a cargas externas é definida como a resistência do mesmo. O valor da resistência de uma peça qualquer é, portanto, numericamente igual à carga máxima antes da ruptura.

Segundo WARGAARD (1950), a resistência de uma viga de madeira à ruptura é medida em termos de carga por unidade de

área e expressa através do módulo de ruptura (MOR). Este valor, quando calculado através de testes de flexão estática, exprime o esforço máximo nas fibras superiores e inferiores da secção transversal da viga ou do corpo de prova. Os valores de ruptura são utilizados para a derivação das tensões admissíveis para os diversos tipos de esforços solicitantes.

Na obtenção do módulo de ruptura através de testes de flexão estática, para vigas ou corpos de prova apoiados livremente em dois pontos e com um ponto central de aplicação de carga, a fórmula utilizada é:

$$\text{MOR} = \frac{1,5 \cdot P \cdot L}{b \cdot h^2}$$

onde:

MOR = Módulo de ruptura (Kgf/cm²)

P = Carga máxima (Kgf)

L = Distância entre apoios (cm)

b = Base do corpo de prova (cm)

h = Altura do corpo de prova (cm)

Para o caso de dois apoios e dois pontos de aplicação da carga dispostos simetricamente, vale:

$$\text{MOR} = \frac{3 \cdot P \cdot a}{b \cdot h^2}$$

onde:

a = Distância do ponto de aplicação da carga ao ponto de apoio mais próximo.

2.2.3 Fatores que influenciam na resistência

- Massa Específica

O conhecimento da massa específica é importante, pois permite tirar conclusões sobre a adaptabilidade da madeira como material de construção para fins estruturais, devido à boa relação de resistência/massa que apresenta (TRENDELENBURG & MAYER-WEGELIN, 1956).

A relação geral entre a massa específica e a resistência é bem estabelecida para a madeira. A Figura 2, , mostra a relação do Módulo de Ruptura de várias espécies com as respectivas massas específicas (BOLZA & KLOOT (1963) e citado por BAMBER & BURLEY (1983)

TURNBULL (1941) estimou o Módulo de Ruptura a partir da massa específica da madeira de *Pinus radiata*. Comparando a estimativa com os valores reais, o autor encontrou cerca de 2 %, de desvio, em média.

Define-se a massa específica de um corpo como sendo a relação entre sua massa e seu volume respectivo. O cálculo da massa específica é dado pela fórmula:

$$Me = m / v$$

onde:

Me = Massa específica

m = é uma determinada massa do material e

v = o volume ocupado por essa massa.

A unidade usual é g/cm³.

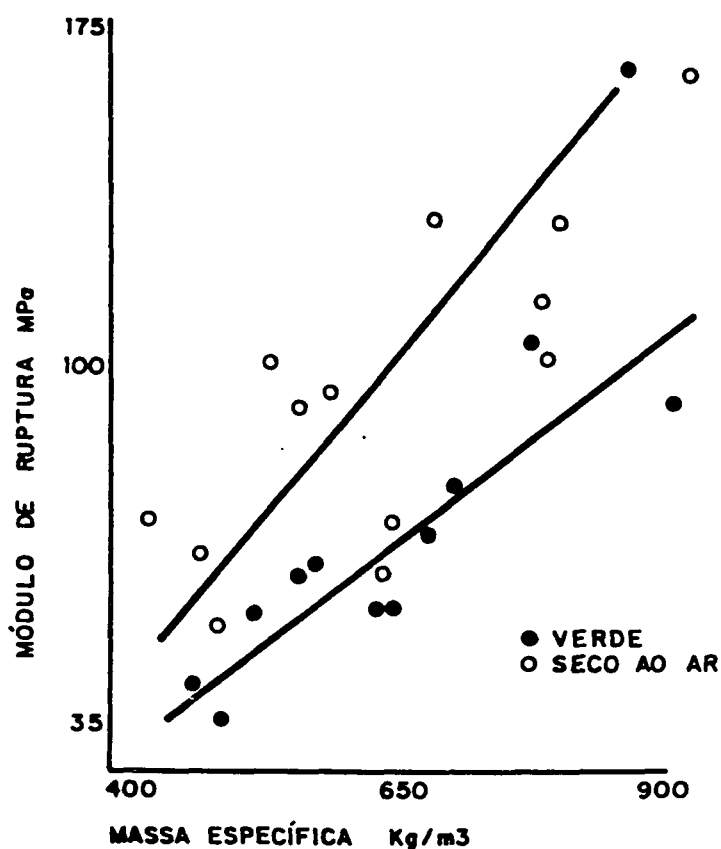


FIGURA 2 - RELAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E MÓDULO DE RUPTURA PARA DIFERENTES ESPÉCIES DE MADEIRA (BOLZA & KLOOT, 1963).

Para VORREITER (1949), esta pode ser determinada de diversas formas e identificada por diferentes denominações, devido à estrutura anatômica da madeira e à influência da umidade sobre a massa específica,

A **massa específica real** da madeira é a relação entre o peso do material lenhoso (celulose + lignina+ extrativos) e seu volume, sem considerar espaços vazios. Seu valor é similar para madeiras de todas as espécies, ou seja, em torno de $1,50 \text{ g/cm}^3$ (DESCH, 1982; GURFINKEL, 1973), e pode ser definido através da equação:

$$MEr = Mr / Vr \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

onde:

Mr = peso em gramas do material lenhoso de uma amostra

Vr = volume em cm^3 da amostra, sem considerar os espaços vazios
(material lenhoso)

A chamada **massa específica aparente** pode ser determinada para diversos conteúdos de umidade e corresponde à razão entre o peso da madeira a um determinado conteúdo hídrico e seu volume no mesmo teor de umidade. Normalmente, quando se trabalha com massa específica aparente, esta está relacionada a teores de umidade de 0 ou 12%. Desta forma, a massa específica aparente é definida através da fórmula:

$$MEa = M / V \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

onde:

M = massa em gramas da amostra,

V = volume em cm^3 da amostra, considerando os espaços vazios.

Outra forma de expressar a massa específica da madeira é

através da massa específica aparente básica, isto é, a massa da madeira completamente seca, relacionada com seu volume em estado saturado (acima do ponto de saturação das fibras).

$$MEab = Ms / Vu \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

onde:

Ms = massa da amostra seca na estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (g)

Vu = volume da amostra em estado saturado (cm^3).

Devido a dificuldade de medição do volume, tanto para 0% como para 12% de umidade e à influência das diferenças de contração entre as espécies ou tipos de madeira, em estudos comparativos costuma-se usar a massa específica aparente básica, pois permite a reprodução de um valor sempre constante.

Para BROWN et al. (1952) a definição massa por unidade de volume é mais exata e independe da posição no espaço. Já a razão peso por volume depende da gravidade.

As diferenças de arranjo dos tecidos, dimensões do lume das células e espessura das paredes celulares determinam valores próprios de massa específica para cada espécie de madeira. Salienta-se que a resistência da madeira está estreitamente relacionada com sua massa específica (PARKER, 1979).

Segundo TRENDELENBURG & MAYER-WEGELIN (1956), a grande variabilidade da madeira pode ser expressa pelas variações da massa específica. Esta afirmação é corroborada por vários autores, BENDTSEN (1978), BROWN et al. (1952), DESCH (1982),

KREMPL (1977), KNIGGE & SCHULZ (1966), KOLLMANN (1951) e KOLLMANN & COTÉ Jr (1968), entre outros.

Embora a massa específica constitua-se numa medida que reflete a somatória de inúmeras variáveis através dos anéis de crescimento (KOCH, 1972), vários estudos têm demonstrado sua relação direta com o teor de lenho tardio (ZOBEL e RHODES, 1955; RISI e ZELLER, 1960; SCHNIEWIND, 1961; SCARAMUZZI, 1965; NYLINDER, 1973; TATARANU, 1973; GUTH, 1973/74).

KOLLMANN & COTÉ Jr (1968) e CAMARGO (1987), afirmam que, como regra geral, a grande variabilidade na massa específica das coníferas depende mais da variabilidade da porcentagem de lenho tardio do que da variabilidade nas densidades individuais dos lenhos inicial e tardio.

Tal variabilidade ocorre, entre indivíduos, nos sentidos longitudinal e radial. As variações que ocorrem dentro das árvores, segundo VAN BUIJTENEN (1969) e BARRICHELO (1979-80), são geralmente as mais significativas.

Das informações disponíveis na literatura conclui-se que, para as espécies do gênero *Pinus*, o modelo de variação mais comum - quer para a massa específica, quer para o teor de lenho tardio - é decrescente com a altura (WAHLGREN e FASSNACHT, 1959; JOHNSTONE, 1970; PEARSON e GILMORE, 1980; HEGHER, 1974) e crescente com a idade, no sentido da medula para a casca (SELLERS, 1962; EDLIN, 1965; FERREIRA e FERREIRA, 1969; LARSON, 1969; UPRICHARD, 1970; HJGA et al., 1973; FOELKEL et al. 1975; LEMA et al., 1978; KALINKOV e GEORGIEV, 1979).

De acordo com vários autores, a massa específica aparente

caracteriza-se por apresentar grande variação entre as espécies, dentro de uma mesma espécie e mesmo dentro de uma única árvore, podendo ser explicada pela proporção de parede celular, posição no tronco, porcentagem de lenho tardio e largura dos anéis de crescimento, entre outros fatores. Para TRENDELENBURG & MAYER-WEGELIN (1956) a massa específica de uma espécie varia, geralmente, em torno de 30% em relação à sua média.

Diversos autores têm-se preocupado com as variações da massa específica no tronco e realizaram estudos para verificar mudanças nos sentidos longitudinal e transversal da árvore (ELLIOTT, 1970; BARTZ 1973; MAINIERI et al., 1973; MONTAGNA et al., 1973; ZOBEL et al., 1959; KOLLMANN & COTÉ, 1968; BRASIL e FERREIRA, 1971; BRASIL, 1972/76).

A massa específica básica da madeira de coníferas, decresce, em geral, com a altura, segundo SPURR e HSIUNG (1954). Nas folhosas a variação não é tão específica, pois em função da formação anatômica pode-se distinguir dois grandes grupos estruturais: espécies com poros dispostos em anéis concêntricos ou com poros difusos no parênquima (BROWN et al., 1952).

De acordo com PECHMANN (1958), dentre as folhosas com poros em anéis concêntricos há os gêneros *Quercus*, *Fraxinus* e *Fagus*. Neles a massa específica decresce com a altura, segundo os trabalhos de BURGER (1940), BIELCZYK (1956) e GOHRE e GOTZE (1956).

Nas folhosas com poros difusos, está incluído o gênero

Eucalyptus, com variações entre as suas numerosas espécies. DADSWELL (1957) com *E. sideroxylon* e SUSMEL (1953) com *E. camaldulensis*, concluíram que a massa específica diminui em função da altura. CURRÔ (1957a, 1957b) em *E. camaldulensis* Dehen, FERREIRINHA (1961) com base nos trabalhos de CURRÔ (1957 a/b), FERREIRA (1968, 1970) com *E. alba*, *E. grandis* e *E. saligna*, evidenciaram que a massa específica aumenta linearmente com a altura das árvores. BRASIL (1972), trabalhando com *E. propinqua*, concluiu que a massa específica aumenta até um ponto máximo próximo ao meio da altura da árvore, quando começa a decrescer em direção à copa.

Segundo KOLLMANN (1951), no caso específico de *Pinus*, as variações da massa específica podem ser tão acentuadas no sentido longitudinal da árvore a ponto de sugerir diferentes classes de qualidade apenas em função da posição de origem da peça.

Como já mencionado, a massa específica da madeira expressa uma média real da quantidade do material lenhoso presente em determinado volume. As propriedades de resistência da madeira dependem da quantidade de material lenhoso presente. A relação entre a massa específica e as diversas propriedades de resistência em madeira verde e seca demonstram que tais propriedades têm seus valores de resistência aumentados com o incremento da massa específica, sendo que essa relação é mais acentuada para madeiras secas do que para as verdes. A massa específica é um excelente indicativo das propriedades mecânicas apenas para madeiras de grã direita e livre de defeitos, ou

seja, sem a influência de outros fatores, que alteram negativamente sobre tal relacionamento (CURRY & COVINGTON, 1974; GURFINKEL, 1973; LAVERS, 1974; KOLLMANN & COTÊ Jr. 1968; e SUNLEY, 1974).

- Largura dos Anéis de Crescimento

Algumas características da madeira são empregadas como indicadores de suas propriedades desde o início de sua utilização, devido à sua fácil visualização. Dentro destas características destacam-se a configuração dos anéis de crescimento, juntamente com a cernificação e o aspecto superficial (KNIGGE & SCHULZ, 1966). Na maioria das coníferas a largura dos anéis de crescimento é facilmente identificável em corte transversal e pode ser indicadora de muitas características e do comportamento da madeira, tais como a regularidade e distribuição de determinadas propriedades, manutenção da forma depois de trabalhada, nodosidade interna, massa específica e propriedades mecânicas.

Muitos pesquisadores têm obtido correlações entre a massa específica e a resistência com a largura dos anéis de crescimento. SPURR e HSIUNG (1954) afirmam que estas correlações possuem baixo grau de associação ou não existem, acrescentando que a largura dos anéis de crescimento decresce gradualmente da medula até a casca em árvores normais.

TRENDELENBURG & MAYER-WEGELIN (1956), em concordância com outros autores, sustentam que a largura do anel de crescimento,

por si só, não constitui uma escala muito segura para a estimativa da resistência da madeira.

KNIGGE & SCHULZ (1966) concordam que madeiras de coníferas com anéis de crescimento mais estreitos são mais pesadas e resistentes, ocorrendo o inverso em folhosas. Outras investigações, no entanto, indicam que a porcentagem do lenho tardio influi mais diretamente na massa específica e, conseqüentemente, na resistência, do que a largura do anel de crescimento (GURFINKEL, 1973).

A maioria dos autores, de forma geral, afirmam que, para folhosas de porosidade em anel e coníferas de rápido crescimento, a correlação entre as propriedades mecânicas e a largura dos anéis de crescimento tem validade, se bem que os valores fornecidos só podem ser considerados como uma estimativa bastante superficial, que pressupõe ainda grande variação. Outros autores aconselham utilizar como parâmetro para o julgamento da qualidade da madeira de coníferas de rápido crescimento o uso, bem como a regularidade e largura dos anéis de crescimento.

Segundo KNIGGE & SCHULZ (1966), existem grandes variações de largura nos anéis de crescimento dentro de uma árvore, tanto no plano transversal como em função de sua altura. Estes autores, de conformidade com KREMPL (1977), observaram valores máximos de largura nos anéis de crescimento no ápice e na base das árvores crescidas em maciços florestais, localizando-se a zona de largura média, mais regular, na posição a um terço da altura da árvore.

- Porcentagem de Lenho Tardio

A proporção entre os lenhos inicial e tardio é uma variável frequentemente observada em numerosos estudos sobre a qualidade da madeira. Esta proporção foi determinada por muitos autores, mostrando significativa afinidade com a massa específica, propriedades de resistência e outros fatores, como espécie, variedade, sítio, idade, etc.

Segundo BROWN et al. (1952), o efeito do lenho tardio na massa específica deve-se ao fato deste lenho conter maior quantidade de material lenhoso por unidade de volume do que o lenho inicial. Isto torna-se evidente em madeiras de coníferas com transição abrupta de lenho inicial para lenho tardio e em madeiras de folhosas com porosidade em anel. Nestas últimas, a alta massa específica do lenho tardio deve-se ao menor diâmetro e quantidade de vasos e a uma maior proporção de fibras.

TARAS (1965), estudando algumas propriedades da madeira de *Pinus elliottii* e suas relações com a idade para cada tipo de lenho produzido pela espécie, observou que houve um decréscimo para a massa específica do lenho inicial com o aumento da idade, equilibrando-se depois de 8 a 12 anos. Por outro lado, a massa específica do lenho tardio aumentou rapidamente neste período de crescimento, equilibrando-se num certo estágio e, então, decrescendo em direção à casca. Sobre o anel de crescimento total (lenho inicial e lenho tardio), evidenciou-se um aumento na massa específica entre 8 e 12 anos,

havendo equilíbrio em seguida.

De acordo com KNIGGE & SCHULZ (1966), a proporção de lenho tardio é de grande interesse para as propriedades mecânicas da madeira, especialmente em se tratando de espécies com acentuada diferença de massa específica e estrutura entre as zonas de lenho inicial e tardio. Existe uma estreita correlação entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio, como visto anteriormente, sendo de se esperar que, quanto maior for a porcentagem deste, tanto maior será a resistência da madeira, o que é facilmente verificável em coníferas.

VORREITER (1949), estudando o gênero *Pinus* na Suécia, observou que o lenho inicial pode apresentar valores em torno de $0,3 \text{ g/cm}^3$, com uma resistência à flexão de 550 Kgf/cm^2 , e que o lenho tardio atinge valores de $0,9 \text{ g/cm}^3$, com uma resistência aproximadamente 4,5 vezes maior (2510 Kgf/cm^2).

TRENDELENBURG & MAYER-WEGELIN (1956), estudando *Pinus* na Finlândia, encontraram as seguintes proporções de resistência para o lenho inicial e tardio: Compressão 1:3,8; Tração paralela às fibras 1:4,7; Flexão estática 1:4,6 e Módulo de elasticidade 1:4,0, concluindo que a resistência da madeira é altamente dependente da porcentagem de lenho tardio.

A variação da porcentagem de lenho tardio é a mesma que foi descrita para a massa específica e largura do anel de crescimento, tanto no sentido transversal como no sentido longitudinal da árvore.

TRENDELENBURG & MAYER-WEGELIN (1956), observaram que o

decréscimo da porcentagem de lenho tardio em função do acréscimo em altura na árvore é mais acentuado em *Pinus* que em outras espécies.

Os métodos e instrumentos disponíveis para medição do lenho tardio constituem um trabalho bastante difícil e demorado, apesar de certas madeiras permitirem uma boa delimitação entre lenho inicial e tardio, podendo apresentar uma correlação entre a porcentagem de lenho tardio e a largura do anel de crescimento, o que facilitaria a estimativa da proporção deste lenho (KNIGGE & SCHULZ, 1966).

- Lenho Juvenil e Adulto

Devido ao rápido crescimento, as espécies do gênero *Pinus*, plantadas no Sul do Brasil, atingem dimensões de comercialização ainda muito jovens. Segundo PEARSON & GILMORE (1971), a madeira de árvores jovens difere daquela de árvores mais velhas, devido à maior porcentagem de lenho juvenil das primeiras.

A proporção do lenho juvenil numa tora depende da idade de corte KELLISON (1981), comparando a porcentagem de lenho juvenil em *Pinus taeda* do sul dos EUA, obteve os resultados apresentados na Tabela 1.

Comparado com o lenho adulto, o lenho juvenil caracteriza-se pela massa específica mais baixa, maior ângulo das microfibrilas, traqueóides mais curtos, contração transversal menor, maior contração longitudinal, maior

proporção de lenho de reação, menor porcentagem de lenho outonal, paredes celulares mais finas, maior conteúdo de lignina e menor de celulose e menor resistência (BENDTSEN, 1978).

TABELA 1 - VARIAÇÃO DA PORCENTAGEM DE LENHO JUVENIL EM FUNÇÃO DA IDADE DA ÁRVORE (KELLISON, 1981)

IDADE (anos)	PORCENTAGEM DE LENHO JUVENIL	
	Peso seco (%)	Volume (%)
15	76	85
25	50	55
45	15	19

As propriedades da madeira não são uniformes da medula para o exterior; a madeira dos primeiros anéis formados apresenta menor massa específica, fibras mais curtas, entre outras. Em anéis sucessivos a partir do centro da árvore verifica-se o aumento de massa específica, da espessura das paredes celulares e assim por diante. A taxa de mudança na maioria das propriedades é muito rápida nos primeiros anéis; os anéis posteriores vão assumindo gradualmente as características da madeira adulta, como mostrado esquematicamente na Figura 3, extraída de BENDTSEN (1978).

A passagem do lenho juvenil para adulto é gradativa

(BENDTSEN, 1978) e muitas características como o comprimento das fibras e traqueóides, espessura da parede celular, massa específica, ângulo das microfibrilas, resistência, e outras, vão se modificando até atingirem uma certa estabilidade no lenho adulto.

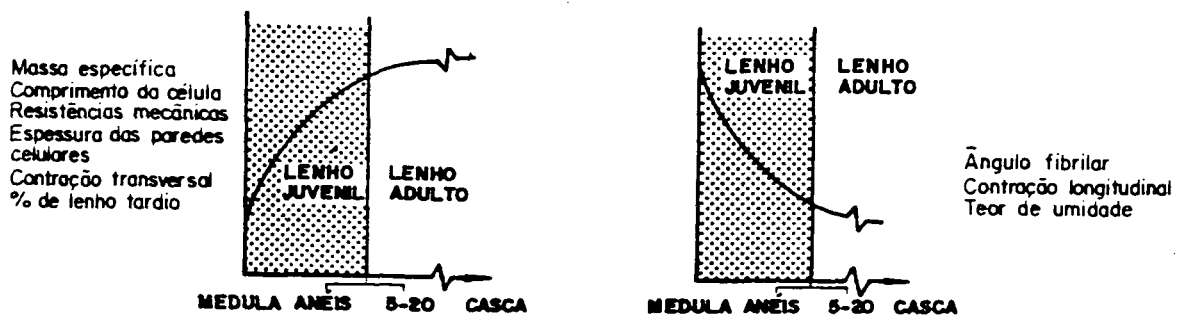


FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA COM A IDADE DAS ÁRVORES (BENDTSEN, 1978).

A demarcação entre lenho juvenil e adulto não é clara devido à mudança gradual nas células. De fato, o número real de anéis do lenho juvenil depende de como ele é definido anatomicamente; por exemplo, o comprimento dos traqueóides pode atingir uma estabilidade antes da espessura da parede celular. Muitos pesquisadores, como ERICKSON & HARRISON (1974), GOGGANS (1961), HALLOCK (1968) entre outros, concordam que o lenho juvenil tem seu limite em alguma parte do 5º ao 20º anel,

dependendo principalmente da espécie e, até certo ponto, da localidade, segundo GOGGANS (1961).

ZOBEL (1971) caracteriza esses tipos de lenho baseado na evolução dos elementos anatômicos que os constituem. A madeira adulta refere-se ao lenho que apresenta traqueóides estabilizados em crescimento. Para *Pinus taeda*, essa estabilização foi encontrada a partir do intervalo do 11º ao 13º anel de crescimento para árvores de 30 anos de idade. MENDONÇA (1982) encontrou a estabilização do comprimento dos traqueóides de *Pinus elliottii* com 17 anos de idade, a partir do intervalo do 8º ao 11º anel de crescimento (Figura 4).

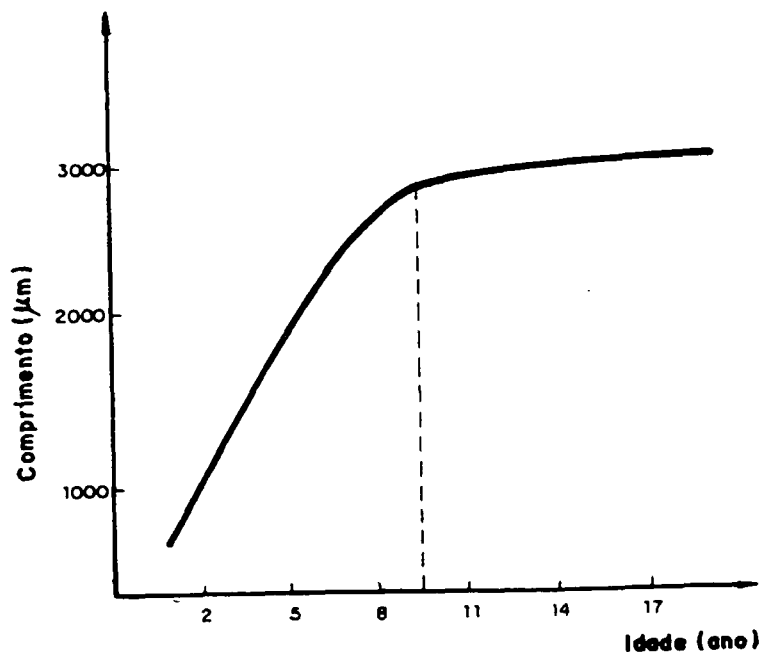


FIGURA 4 - VARIAÇÃO DO COMPRIMENTO DOS TRAQUEÓIDES NO SENTIDO MEDULA/CASCA DE *Pinus elliottii*. (MENDONÇA, 1982).

Peças estruturais que contenham uma determinada quantidade do lenho juvenil apresentam qualidades estruturais inferiores, sendo o motivo pelo qual as diferenças entre as propriedades do lenho juvenil e adulto são importantes para a utilização da madeira.

Segundo BENDTSEN (1978), a massa específica do lenho juvenil é bastante baixa em relação à do lenho adulto. Para o caso de *Pinus caribaea* de Porto Rico, foram encontrados valores em torno de $0,36 \text{ g/cm}^3$ e $0,68 \text{ g/cm}^3$ para lenho juvenil e adulto, respectivamente.

BENDTSEN & SENFT (1986) calcularam a proporção de lenho juvenil em *Pinus taeda* e *Populus deltoides* de 20 a 100 anos e chegaram à conclusão que o último ano de lenho juvenil é o 12º no *Pinus taeda* e 17º no álamo (*Populus*). A proporção do lenho juvenil era cerca de 60 % aos 40 anos, decrescendo para 24% para o pinho. Dos 40 aos 100 anos a proporção do lenho juvenil decresceu 5%.

PEARSON & GILMORE (1980) relatam diferenças de 42 a 82% entre as médias de várias propriedades de *Pinus taeda* em três idades diferentes, obtidas entre corpos de prova de lenho interno, próximo à medula, e de lenho externo, afastado da medula.

OLSON et al. (1947), citados por BENDTSEN (1978), estudaram sete espécies do gênero *Pinus* para avaliar a massa específica e a resistência da madeira com e sem a inclusão da medula e verificaram que as amostras que continham a medula deram resultados inferiores, tanto em massa específica como em

resistência.

CHOONG et al. (1989) encontraram, para *Pinus palustris* e *Pinus elliottii*, contração tangencial e radial menor em corpos de prova obtidos de lenho próximo da medula, comparadas aos de corpos de prova retirados de lenho intermediário e mais afastado da medula.

Diversas pesquisas têm demonstrado modificações nas propriedades da madeira em função do rápido crescimento e da maior proporção de lenho juvenil, o que, segundo BENDTSEN (1978), justifica um questionamento a respeito da aplicabilidade das tensões admissíveis até agora utilizadas para madeiras de povoamentos naturais em madeiras de florestas manejadas.

A mudança das características de lenho juvenil para adulto não se dá de forma abrupta, mas sim gradativa, de maneira que sua demarcação não é muito clara. O período de formação de lenho juvenil varia segundo a espécie e condições de crescimento, conforme as observações de BENDTSEN (1978).

PEARSON & GILMORE (1980) consideram que as árvores de rápido crescimento utilizadas em seu estudo, deveriam ser enquadradas como subespécies distintas, com suas próprias características e propriedades, devido à produção de grande porcentagem de madeira com propriedades mecânicas inferiores à da madeira de *Pinus taeda* usada comercialmente nos Estados Unidos. Pela comparação entre as mudanças das propriedades do lenho central para o lenho externo, concluem que há indicações de que o lenho adulto das árvores de rápido crescimento tem,

provavelmente, propriedades similares às do lenho de árvores de crescimento normal ao atingirem idades maiores.

TOMASELLI (1979) estudando *Araucaria angustifolia*, *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* em reflorestamentos de 18 anos, encontrou grandes diferenças na resistência à flexão entre madeira juvenil e madeira adulta, o que não ocorreu com *Araucaria*. Na Tabela 2 são apresentados os valores de massa específica aparente (ME), módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR) e tensão no limite proporcional (TLP) para lenho juvenil e adulto destas espécies.

TABELA 2 - RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTATICA DA MADEIRA DE *Araucaria angustifolia*, *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* COM 18 ANOS: TORAS COLETADAS NA BASE. (TOMASELLI, 1979)

LENHO/ PROPRIEDADE	ESPÉCIE					
	<i>Araucaria angustifolia</i>		<i>Pinus elliottii</i>		<i>Pinus taeda</i>	
	JUVENIL	ADULTO	JUVENIL	ADULTO	JUVENIL	ADULTO
ME	0,466	0,536	0,421	0,537	0,436	0,545
MOR	808	984	512	989	497	1065
TLP	404	477	259	557	232	590
MOE	141900	163500	76100	163300	61200	153300

Dever-se-ia fazer um estudo interdisciplinar entre pesquisadores, silvicultores e tecnólogos para definir as diferentes linhas de pesquisa, tais como: comparação entre as

propriedades de lenho adulto e juvenil; decisões sobre espaçamento, fertilização e período de rotação com base na proporção de lenho juvenil e adulto na árvore, e o conhecimento para selecionar os processos de secagem, tipos de máquinas e acabamento baseados na porcentagem de lenho juvenil (BENDTSEN & SENFT, 1986).

- Inclinação da grã e nodosidade

A inclinação da grã é a medida de desvio dos tecidos componentes da madeira em relação ao eixo longitudinal da peça. Se uma peça contendo tecidos axiais em um determinado ângulo do eixo longitudinal é sujeita aos esforços de tração ou compressão, o efeito dos componentes da força acompanha a direção da grã e a madeira se torna mais fraca nesta direção do que ao longo do eixo longitudinal da peça. A inclinação excessiva da grã é também indesejável, porque torna a madeira mais frágil e aumenta sua tendência para o empenamento com a variação no teor de umidade (KOLLMANN & COTÉ, 1978; CURRY & COVINGTON 1974; GURFINKEL, 1973).

Considera-se normalmente que o efeito da inclinação da grã sobre as propriedades de resistência é maior em peças estruturais do que em pequenos corpos de prova. KNIGGE & SCHULZ (1966) afirmam que uma pequena modificação na inclinação da grã redundava em acentuada perda de resistência, sendo mais afetada a resistência à tração, seguida pela resistência à flexão estática e à compressão.

A variação das propriedades de resistência devido ao afastamento das fibras com relação ao eixo longitudinal da peça pode ser calculada através da fórmula de Hankinson, mencionada em MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD (1955).

$$N = \frac{P \cdot Q}{P \cdot \text{sen. } n0 + Q \cdot \text{cos. } n0}$$

onde:

N = propriedade de resistência a um desvio de ângulo 0 do plano longitudinal da peça;

Q = resistência perpendicular à grã;

P = resistência paralela à grã;

n = constante determinada empiricamente para cada propriedade.

A orientação da grã, excluindo-se os nós, e a massa específica, são responsáveis pela maior parte da variação da resistência da madeira. DINWOODIE, citado por BAMBER (1980), trabalhando com *Pseudotsuga menziensii*, reportou que a compressão axial foi 7 vezes maior que a perpendicular à grã e que a tração longitudinal foi 40 vezes maior que a transversal.

A grã espiralada é uma ocorrência comum em coníferas e usualmente segue uma espiral à esquerda, isto é, inclinada à esquerda em relação ao eixo axial da árvore. No gênero *Pinus* isto é comum, aparecendo em muitas espécies, porém, em algumas espécies como *Pinus taeda*, tem pouca importância (BAMBER & BURLEY, 1983).

Muitas espécies do gênero *Pinus* têm propensão para

produzir grandes e abundantes galhos, resultando na produção de madeira com muitos nós.

O nó é definido como a porção basal de um galho que tenha sido incorporado no tronco da árvore. A existência de nós na madeira implica em diferentes desvios dos seus tecidos componentes (grã) e da distribuição da massa específica. Desta forma, em madeiras com nós aparecem desvios da direção da grã, variação na massa específica, irregularidades nos anéis de crescimento e, com frequência, descontinuidade entre o nó e a madeira circundante, resultando, de maneira geral, em uma diminuição da resistência (THUNELL, 1958).

Há poucos estudos sobre as propriedades de galhos para *Pinus* spp; porém, BAMBER & BURLEY (1983) consideram que, embora as propriedades sejam distintas, o principal efeito dos nós é afetar a orientação da grã.

De acordo com KNIGGE & SCHULZ (1966), a nodosidade desempenha um papel tão importante para as peças de dimensões estruturais que sua menor resistência com relação aos corpos de prova livres de defeitos pode ser vista como consequência quase exclusiva da ocorrência e distribuição dos nós.

Em peças estruturais sujeitas à flexão estática, os esforços são maiores na porção média do comprimento e nas partes extremas da altura. Por esta razão, o efeito dos nós sobre a resistência é maior quando localizados nas partes mencionadas (LAVERS, 1974; KOLLMANN & COTÉ, 1968 e SUNLEY, 1974).

Para BAMBER & BURLEY (1983), o efeito dos nós na

resistência de peças estruturais depende de seu tamanho em relação à seção transversal da peça. Desta forma, é mais desejável a ocorrência de nós pequenos e freqüentes do que de nós grandes e menos freqüentes, particularmente se ocorrem em verticilos. Por esta razão, as árvores multinodais são preferidas às uninodais.

Os nós tendem a ser mais resinosos do que a madeira circundante, influenciando também as características superficiais da madeira, como por exemplo, o aparecimento freqüente de rachaduras. BROWN (1979), por este motivo, considerou os nós como o mais sério defeito para a madeira de *Pinus radiata*.

MAYER (1977) e LEIBUNDGUT (1966) são unânimes em afirmar que há necessidade de se estabelecer classes de qualidade da madeira que sirvam de base para direcionar algumas medidas silviculturais. Os mesmos autores salientam que estas classes devem basear-se em diversas características, dentre as quais destacam-se a nodosidade e a inclinação da grã.

- Outros fatores

A umidade, a temperatura, as dimensões do corpo de prova e a velocidade de ensaio têm influência sobre os resultados dos testes de resistência da madeira. Estas e outras características levaram à padronização dos métodos de teste, sendo que, atualmente, a maioria dos países possui normas para a execução de ensaios com madeira.

Segundo LANGENDORF & EICHLER (1979) e KOLLMANN (1951), quanto maior a temperatura e a umidade até o ponto de saturação das fibras, tanto menor é a resistência da madeira aos diversos esforços solicitantes.

A maioria das normas determina que os testes devem ser realizados a um teor de umidade de 12% e a uma temperatura de 20°C.

STAMM (1962) afirma que quase todas as propriedades mecânicas da madeira têm seus valores aumentados com o decréscimo no teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras, sendo que esse efeito se deve à contração da peça, pois, ao se remover a umidade, as unidades estruturais (microfibrilas) se aproximam, aumentando significativamente a quantidade de ligações por meio de pontes de hidrogênio. Acima do ponto de saturação das fibras, as mudanças no conteúdo de umidade não têm efeitos aparentes sobre a resistência da madeira (CURRY & COVINGTON, 1974; GURFINKEL, 1973; LAVERS, 1974; KOLLMANN & COTÉ Jr., 1968 e SUNLEY, 1974).

Segundo WILSON (1932), o aumento da resistência da madeira com o decréscimo no teor de umidade pode ser considerado resultado tanto do fortalecimento e rigidez dos elementos estruturais da madeira como da sua compactação, devida ao encolhimento que acompanha a perda de água.

GERHARDS (1982) procurou sumarizar o efeito que o teor de umidade exerce nas diferentes propriedades mecânicas da madeira, buscando, dessa forma, obter relações ajustáveis às condições ambientais de umidade relativa. Suas observações

levaram-no a concluir que o efeito da umidade é menor sobre as propriedades paralelas de módulo de elasticidade e resistência à tração do que sobre a resistência à compressão. O módulo de rigidez, a resistência ao cisalhamento paralelo e a elasticidade perpendicular mostraram comportamentos semelhantes entre si, o mesmo acontecendo entre a resistência à compressão perpendicular no limite de proporcionalidade e a resistência à flexão estática.

LIMA (1983), estudando a influência do teor de umidade nas propriedades mecânicas de *Eucalyptus saligna*, verificou que a umidade exerce um efeito exponencial nas propriedades mecânicas de resistência à compressão paralela, resistência ao cisalhamento paralelo (entre 11 e 22% de umidade), módulo de elasticidade à flexão, tensão no limite de proporcionalidade à flexão e trabalho, até o limite de proporcionalidade, sendo que os valores de resistência dessas propriedades foram sempre crescentes com a queda do teor de umidade.

LAVERS (1974) relata que, embora haja uma mudança na resistência com a alteração no teor de umidade e que siga uma tendência similar para a maioria das propriedades de resistência, a magnitude varia de uma para outra. Por exemplo, a resistência à compressão usualmente altera-se mais que à flexão, que por sua vez muda mais que o módulo de elasticidade à flexão.

De modo geral, a maioria das propriedades é afetada pelas mudanças de temperatura, havendo redução da resistência com sua elevação e aumento da resistência com sua diminuição, estando

a magnitude das alterações relacionada positivamente com o conteúdo de umidade na madeira (KOCH, 1972; KOLLMANN, 1951 e LAVERS, 1974.)

A velocidade de ensaio influi na resistência do material testado sendo que quanto maior a velocidade, menores serão os valores resultantes do teste. Para possibilitar a comparação de resultados, a velocidade de carga para os diferentes testes está normatizada.

Segundo KOLLMANN (1951) e BENDTSEN & SENFT (1986) entre outros, no dimensionamento dos corpos de prova para o flexionamento, é muito importante a relação vão/altura da peça. De conformidade com esses autores, uma relação mínima de 15:1 é necessária. Caso contrário, forças de cisalhamento começam a exercer influência sobre a resistência da madeira.

Tratando-se de peças estruturais com dimensões reais de utilização, é importante, também, considerar a altura da viga. Conforme CHUGG (1964) e U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (1958), com o aumento da altura da viga diminui o módulo de ruptura, diminuição esta obtida através de uma fórmula empírica usada para calcular o fator de correção.

O fator de correção para vigas de madeira serrada tem pouca importância, pois não é usual obter-se vigas com altura superior a 12 polegadas, porém é muito importante para vigas laminadas. Como o fator unitário é próprio para vigas de 12 polegadas, fica claro que, para peças de altura menores que esta dimensão, o esforço aplicado poderia ser aumentado sem afetar a segurança das mesmas.

2.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA E INTERRELAÇÕES

As interrelações entre composição química, massa específica, adsorção-dessorção de umidade e retração volumétrica têm sido objeto de estudo por parte de diversos autores.

ZOBEL (1961) considera que a composição química, sob certos aspectos, é uma das mais importantes, porém a menos estudada das características da madeira.

Tal fato se explica, pois os estudos pioneiros de química da madeira, relacionados com a tecnologia de celulose, foram feitos por pesquisadores do hemisfério norte, para os quais, as coníferas são as principais matérias-primas. E são justamente para as coníferas que são encontradas as menores variações das propriedades químicas. Daí, segundo DINWOODIE (1966), o porque da relativa ausência de estudos de composição química na determinação da qualidade da madeira e seus produtos.

De acordo com BROWNING (1967), a extração através de solventes orgânicos (éter, acetona, etanol, benzeno e álcool-benzeno) retira da madeira resina, ácidos graxos, seus esteres, ceras, substâncias insaponificáveis e matérias corantes. A extração em água retira sais inorgânicos, açúcares, polissacarídeos e algumas substâncias fenólicas. Alguns dos materiais solúveis em água são mais ou menos solúveis em solventes orgânicos. Conseqüentemente, o extrato solúvel em solventes orgânicos pode conter uma fração que é também solúvel em água.

Um fato amplamente conhecido é a tendência de aumento da massa específica básica com a idade da árvore, até que esta atinja a maturidade, a partir da qual a massa específica mantém-se praticamente constante. É de se esperar, portanto, uma alteração na composição química da madeira em função da idade.

TARAS e SAUCIER (1967), pesquisando 4 espécies de *Pinus* provenientes do sul dos Estados Unidos, constataram que a massa específica básica da madeira, livre de extrativos, está diretamente correlacionada com a massa específica básica da madeira bruta. WHITE e SAUCIER (1966), determinando a massa específica da madeira de *Pinus elliottii*, com e sem extrativos, determinaram uma menor variação dentro das unidades experimentais e dentro das árvores com o material extraído, tornando os testes significativamente mais sensíveis. Entretanto, VERMAAS (1975), trabalhando com *Pinus pinaster*, não encontrou nenhuma correlação entre a quantidade de extrativos e a massa específica da madeira a 10 % de umidade.

De acordo com HIGGINS et al. (1973), as características anatômicas que exercem a principal influência na massa específica básica da madeira das folhosas são o diâmetro e a frequência de vasos, a relação entre diâmetro da fibra e espessura da parede celular e o conteúdo e distribuição dos extrativos.

SMITH e MILLER (1964) demonstraram que, em madeira de *Sequoia sempervirens*, a massa específica básica é altamente

correlacionada com a espessura da parede celular, tanto para o lenho inicial como para o tardio, tanto em árvores de povoamentos jovens como antigos. Essa correlação é válida independentemente do método de determinação da massa específica (máximo teor de umidade ou imersão em água). A possibilidade de se estimar a espessura da parede celular a partir de determinações da massa específica básica é discutida por SMITH (1965).

A composição química é outro fator que altera a higroscopicidade da madeira. SKAAR (1972), reportando resultados obtidos por Christensen e Kelsey, estimou que a celulose contribui com 47,0% da capacidade total da madeira em trocar água com o ar, as hemiceluloses com 37,0%, e a lignina com 16,0%. O autor ressalta, porém, que as curvas de adsorção dos constituintes, quando isolados, não representam a atuação dos mesmos na madeira bruta, e que a capacidade adsortiva da madeira não corresponde à somatória de seus constituintes devido aos efeitos provenientes das técnicas usadas na separação e extração dos compostos e às possíveis inter-relações entre os constituintes quando na madeira.

BUCHANAN (1963) informa haver uma considerável variação na distribuição dos extrativos através da madeira. Açúcares e outros constituintes da seiva e as substâncias de reserva, como graxas e amido são encontrados no alburno. Materiais fenólicos, contudo, são usualmente depositados no cerne. Existe uma variação na quantidade de material depositado ao longo do tronco da árvore e entre este e os galhos.

Existe, também, uma variação dentro dos diferentes tecidos constituintes da madeira . As graxas são encontradas nas células parenquimáticas, especialmente do raio, ao passo que ácidos resinosos são secretados pelas células epiteliais e tendem a encher os canais resiníferos. Alguns materiais estão depositados nos vasos de certas folhosas. Os constituintes da seiva estão presentes no alburno da árvore viva e são depositados dentro dos capilares da madeira e nas superfícies da madeira quando esta é secada.

NEARN (1965) verificou que madeiras com quantidades maiores de extrativos solúveis em água apresentam maior estabilidade dimensional, menos umidade no ponto de saturação das fibras e umidade de equilíbrio mais baixa do que espécies que possuem pequenas quantidades de extrativos em sua composição química. O autor considera que esses componentes ocupam uma parte do espaço da parede celular que normalmente seria ocupado por água. Verificou também que a extração em água quente provoca um aumento na umidade de equilíbrio quando a umidade relativa é de 60 % ou mais, sendo que esse efeito não foi constatado quando a umidade relativa era de 40% e 20%.

Segundo SPALT (1958), o efeito da presença de extrativos na madeira é mais acentuado na adsorção polimolecular do que na adsorção monomolecular de umidade, exercendo ainda influência marcante na histerese.

Os resultados obtidos por WANGAARD e GRANADOS (1967) não só confirmam as observações de NEARN (1965) e SPALT (1958),

como também mostram que, de modo geral, os extrativos solúveis em solventes neutros são ligeiramente mais higroscópicos em termos de adsorção/dessorção monomolecular do que a parede celular estrutural.

CHOONG (1969), trabalhando com dez espécies de *Pinus* da região sul dos Estados Unidos, sugere que os extrativos solúveis em água encontram-se na sua totalidade dentro da parede celular, o que explica a influência na higroscopicidade e na estabilidade dimensional da madeira. Por sua vez, os extrativos insolúveis em água estão em boa parte confinados nos capilares grossos, como espaços intercelulares e canais resiníferos, afetando a massa específica da madeira, e a sua remoção afeta a higroscopicidade somente diminuindo o peso inerte da madeira.

Segundo MEYER e BARTON (1968), a ocorrência de colapso durante a secagem da madeira de *Thuja plicata* está relacionada com o conteúdo de extrativos, embora não seja possível fazer uma afirmação definitiva a respeito do seu mecanismo de atuação. Tanto os extrativos como a umidade inicial devem ser considerados na avaliação da suscetibilidade da madeira ao colapso.

Os resultados obtidos por TAYLOR (1974) mostram que a retirada dos extrativos provoca um aumento no volume de blocos de madeira, suficiente para causar um decréscimo de $0,02 \text{ g/cm}^3$ na massa específica aparente. O autor considera que o aumento

no volume deve-se à expansão da madeira causada pelas moléculas de água que ocupam locais de adsorção/dessorção de onde foram retirados os extrativos.

DEMARRE e ERICKSON (1976), pesquisando a correlação entre extrativos e retração volumétrica na madeira de *Sequoia sempervirens*, chegaram à conclusão de que existe uma interação com a temperatura utilizada durante a secagem. A temperatura ambiente e a 43,3°C, o teor de extrativos solúveis em água está inversamente relacionado com a retração volumétrica, ao passo que para temperaturas entre 54,4°C e 87,8°C as duas variáveis estão diretamente correlacionadas. A baixas temperaturas de secagem, os extrativos parecem atuar primeiramente como agentes de enchimento; a temperaturas mais altas, aumenta a plasticidade da parede celular, causando uma maior retração e colapso durante a perda de água livre. Acredita-se que os taninos sejam responsáveis por esse fenômeno.

JANKOWSKY (1979 c) concluiu que um acréscimo no teor de extrativos provocou um decréscimo na umidade de equilíbrio, independentemente da espécie e de variações de temperatura e umidade relativa; concluiu também que a redução da higroscopicidade para o pinho está mais relacionada com os extrativos solúveis em álcool-benzeno do que com os solúveis em água. O autor sugere pesquisas para estudar as relações água - madeira das espécies mais utilizadas em marcenaria e construção civil, visando a elaboração de tabelas que auxiliem a secagem racional dessa madeira.

2.4 SECAGEM DA MADEIRA

2.4.1 Considerações gerais

A secagem da madeira é um processo extremamente importante para sua melhor utilização e, durante as últimas décadas grande desenvolvimento foi alcançado, através de técnicas mais sofisticadas, como a utilização de métodos combinados com alta frequência (VERMAAS, 1975).

Praticamente todos os estudos sobre o tema foram conduzidos empiricamente e formam uma base sólida de princípios bem fundamentados, ainda hoje utilizados como ponto de partida para pesquisas nesta área. A complexidade deste assunto, produzida pela interação de vários fatores e pela variabilidade inerente ao próprio material, associada à importância do processo na utilização da madeira, fizeram com que a área de secagem fosse uma das mais estudadas dentro da tecnologia da madeira.

Devido a uma série de fatores, principalmente de ordem econômica, a técnica mais adotada é a da secagem em estufa convencional, utilizando temperaturas em torno de 80°C.

A secagem a altas temperaturas (acima de 100°C) foi testada pela primeira vez há mais de um século, tendo sido usada até a segunda guerra mundial (TIEMANN, 1971; KOLLMANN, 1951).

Nos últimos anos, os esforços foram concentrados na tecnologia de secagem, visando principalmente a secagem do

gênero *Pinus* (KOCH, 1972).

Para o caso específico do Brasil, segundo TOMASELLI (1981), a secagem de madeira a altas temperaturas é um processo com perspectivas de ampla utilização, principalmente devido ao fato de, na região Sul, predominarem os reflorestamentos de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, espécies que apresentam grande potencialidade de melhoria na qualidade da madeira juvenil (MACKAY, 1973).

Outro aspecto relevante é a possibilidade do processo de secagem a alta temperatura ser acompanhado de uma redução no consumo de energia, como já relatado em algumas pesquisas (KOCH, 1972, TOMASELLI, 1977, 1981).

A secagem da madeira desenvolve-se, basicamente, em duas fases simultâneas. Na primeira ocorre a remoção de água superficial e, na segunda, a movimentação de água do interior para a superfície das peças (GALVÃO & JANKOWSKY, 1985).

O processo pode ser influenciado pela própria madeira (fatores intrínsecos), constituindo a estrutura anatômica, fator limitante na saída de água, e pelo ambiente no qual a madeira está sendo secada (fatores extrínsecos), sendo a temperatura e a umidade relativa do ar como os principais fatores de influência na condução do processo.

Para melhor entendimento do processo de secagem da madeira é importante o perfeito conhecimento desses fatores e suas interrelações durante a secagem.

2.4.2 Formas de água existentes na madeira

A árvore, ao ser derrubada, apresenta uma grande variabilidade do teor de umidade em relação ao seu peso seco. Nestas condições, algumas espécies possuem 30%; outras, de 120 a 200% em relação a seu peso seco, significando assim que a massa de água em uma peça pode representar até duas vezes a massa da própria madeira (RASMUSSEN, 1961; JANKOWSKY, 1979a; PONCE e WATAI, 1985).

A medida que a madeira é exposta ao ambiente, essa umidade tende a diminuir com maior ou menor facilidade, conforme a estrutura anatômica e as condições ambientais.

De acordo com KOLLMANN e COTÊ Jr. (1968), na madeira recém cortada a água está presente em quatro diferentes formas ou tipos:

- Água capilar ou livre;
- Água higroscópica ou de adesão;
- Água de constituição, fazendo parte das moléculas de celulose, hemicelulose e lignina.
- Vapor d'água, localizado nas aberturas naturais da madeira e movimentando-se por difusão.

No processo de secagem interessa apenas a movimentação da água no sentido da desorção ou perda, que pode ser estudado sob dois aspectos principais: movimentação da água capilar e da água higroscópica (abaixo dos 100°C de temperatura, a difusão de vapor d'água não contribui significativamente para o

processo de secagem). A primeira é encontrada nos lumes celulares, espaços intercelulares e aberturas das pontoações. Na realidade, esta água não é completamente livre, pois existem forças capilares atuando do local mais úmido para o menos úmido, deslocando-a através das aberturas naturais das células (BROWN et al., 1952; STAMM, 1964; KOLLMANN & COTÊ, 1968; SIAU, 1971; SKAAR, 1972 e CECH & PFAFF, 1977). A segunda forma de água encontrada na madeira é adsorvida pelas paredes celulares principalmente pela celulose e hemicelulose, que constituem a maior parte da madeira, sendo removida através de fenômenos de difusão ou análogos e ligadas por forças elétricas dos átomos.

Alguns autores entre os quais BRAMHALL e WELLWOOD (1976) e SIMPSON, (1984), citam ainda a existência do vapor de água depositado nos lumes celulares e nos espaços ocupados primeiramente pela água livre, que se move pelo interior das cavidades das células e das aberturas que as ligam e também através do fenômeno da difusão que ocorre em consequência do gradiente de pressão de vapor. Sua contribuição para a quantidade de água movimentada pode ser também desprezada nas condições normais de secagem, pois a difusão de vapor de água à temperatura abaixo do ponto de ebulição (secagem convencional) é menos eficiente, em virtude do pequeno número de aberturas que ligam as células entre si (RASMUSSEN, 1961).

- Movimentação de água capilar

Inúmeros autores (BROWN et al., 1952; STAMM, 1964; KOLLMANN e COTÊ, 1968; SIAU, 1971; SKAAR, 1972, entre outros)

têm definido a água livre como sendo aquela existente na madeira quando o seu teor de umidade está acima do ponto de saturação das fibras. O movimento capilar pode ser definido como sendo aquele controlado por forças de tração determinadas pela tensão superficial do líquido e pelos raios dos capilares.

Uma vez que a movimentação da água capilar se realiza através das aberturas naturais, o fator limitante à sua retirada é a permeabilidade da madeira, que é caracterizada pela maior ou menor facilidade com que a água escoar através da madeira em uma determinada direção.

De modo geral, pode-se dizer que no primeiro estágio de secagem ocorre o movimento de água livre através das cavidades celulares sob a ação de forças capilares. O ponto de saturação das fibras situa-se, segundo SKAAR (1972), entre 25% e 35% de umidade em relação ao peso seco do material, variando com a espécie, teor de extrativos, temperatura, etc. Em termos práticos, considera-se como sendo de 30% para todas as espécies (BRAMHALL e WELLWOOD, 1976; RASMUSSEN, 1961).

O ponto de saturação das fibras (PSF) é de grande importância devido às alterações na resistência mecânica e nas propriedades físicas que ocorrem na madeira a partir desse ponto. Estas alterações são decorrentes da retirada da água presente nos espaços submicroscópicos da parede celular, fazendo com que as micelas se aproximem umas das outras, conferindo-lhes maior rigidez.

- Movimentação da água higroscópica

O movimento da água higroscópica através das paredes celulares também pode ser entendido como processo de difusão, que ocorre abaixo de ponto de saturação das fibras (PFS).

A água higroscópica ou de impregnação movimenta-se através da parede celular por um gradiente de umidade que ali se estabelece, evaporando e atravessando as cavidades celulares por um gradiente de pressão de vapor, tornando a se condensar e atravessar as paredes celulares, e assim sucessivamente até atingir a superfície da madeira (STAMM, 1962; KOLLMANN & COTÉ, 1968; HART, 1965; SIAU, 1971; SKAAR, 1972 e BRAMHALL e WELLWOOD, 1976).

As moléculas de água adsorvidas junto aos grupos hidroxila da parede celulósica requerem menor quantidade de energia para se moverem para locais de menor teor de umidade do que a requerida para se dirigirem para regiões de maior teor de umidade (SKAAR, 1972).

A difusão da água higroscópica ocorre em combinação com a difusão do vapor d'água. Durante o seu percurso para a superfície da madeira, a água no estado de vapor é novamente adsorvida na parede de outra célula, para então ocorrer o mecanismo de difusão da água higroscópica. Esta combinação de mecanismos será repetida até que a molécula de água atinja a superfície da madeira.

A água de impregnação está intimamente relacionada com o ponto de saturação das fibras, pois a saída desta provoca

modificações estruturais, aproximando as células lenhosas e conferindo maior rigidez às mesmas. Por esta razão, a água de impregnação exerce um papel importante na utilização da madeira e se manifesta normalmente entre o intervalo de 6 a 28 % do teor de umidade (KOLLMANN, 1951).

De acordo com SKAAR (1972), a energia potencial do vapor d'água é elevada quando comparada com a água livre ou com a água higroscópica. Porém, em condições normais de secagem, a quantidade de água removida da madeira, na forma de vapor, é desprezível.

- A relação entre a madeira e a água do meio ambiente.

A madeira, dependendo da umidade relativa, da temperatura e do seu próprio teor de umidade, pode retirar ou ceder água ao meio ambiente. Define-se a adsorção quando a madeira retira umidade do ar, e dessorção quando ela cede umidade ao ar. Sob condições de temperatura e umidade relativa constantes a umidade da madeira tende a atingir um teor em que ocorre o equilíbrio com a umidade relativa da atmosfera. Nesse ponto em que cessa a troca de água com o meio ambiente, a madeira atingiu a umidade de equilíbrio (UE).

Essa umidade de equilíbrio também é afetada pela composição química da madeira, segundo JANKOWSKI (1979 c). Trabalhando com *Araucaria angustifolia*, *Swietenia macrophylla* e *Eucalyptus citriodora* concluiu que um acréscimo no teor de extrativos ocasionou um decréscimo da umidade de equilíbrio nas

três espécies e que este efeito se acentuou em condições acima de 60% de umidade relativa.

A importância da umidade de equilíbrio da madeira, quando em uso, tem sido discutida por diversos autores, entre eles PECK (1955), ORMAN (1966), KOLLMANN e COTÉ (1968). A secagem em secadores ou estufas, onde se pode ter um controle melhor sobre a umidade de equilíbrio visada, é uma etapa obrigatória quando se deseja obter produtos de madeira com qualidade superior. Para se controlar ao máximo as variações dimensionais, a madeira deve ter seu teor de umidade reduzido a um valor intermediário entre a maior e menor umidade que ela irá atingir em uso. Defeitos comuns em produtos manufaturados da madeira, como rachaduras, empenamentos e aberturas de juntas podem ser evitados através da secagem controlada do material lenhoso antes de sua utilização até o teor médio da umidade que será atingida em uso.

De acordo com STAMM (1964), acredita-se que a água entra livremente nas regiões amorfas da celulose, onde é adsorvida pelos grupos hidroxila disponíveis. Na região cristalina a água é adsorvida somente na superfície devido à sua inabilidade em penetrar no entrelaçamento das moléculas cristalinas de celulose.

Segundo KOLLMANN e COTÉ (1968), o fenômeno de adsorção e dessorção da água pela madeira é influenciado por uma série de propriedades físicas e químicas. Muito provavelmente, a afinidade e o tamanho da superfície interna de adsorção

contribuem para essa relação entre a madeira e a água do meio ambiente.

Considerações sobre o que ocorre quando são utilizadas amostras de grandes dimensões (pode ocorrer também com tábuas e peças similares durante uma secagem industrial) são feitas por STAMM (1964), segundo o qual pode aparecer uma curva intermediária entre a adsorção e a dessorção devido ao fato de ocorrerem as duas formas de troca de umidade ao mesmo tempo. O aparecimento de um apreciável gradiente de umidade na amostra pode fazer com que a umidade dessorvida na parte central seja adsorvida na superfície. O referido autor relata que um coeficiente de histerese igual a $0,82 \pm 0,01$ pode ser usado com razoável confiabilidade para cálculos aproximados.

SKAAR (1972) define o coeficiente de histerese como a razão entre a umidade de equilíbrio atingida segundo uma adsorção e aquela alcançada pela dessorção para uma dada umidade relativa. Quando se considera o ciclo completo adsorção-dessorção, o coeficiente de histerese varia de 0,8 a 0,9, dependendo da madeira e da temperatura.

STAMM e LOUGHBOROUGH (1935) consideram que durante a primeira secagem, um número de grupos hidroxila da parede celular antes não plenamente saturadas pela água adsorvida perdem água e que, com a contração correspondente, ocorre uma aproximação desses grupos de modo que eles se satisfaçam mutuamente. Numa posterior adsorção de água, esses grupos hidroxila não estão disponíveis para a fixação das moléculas

de água, resultando na diminuição do teor de água adsorvida. Existe ainda o fato de que a rehidratação nunca é tão completa quanto a hidratação original.

Segundo SPALT (1958), a histerese pode ser descrita como uma série de equilíbrios atingidos pelo "gel" (celulose ou glucose anidra), em um caso partindo-se de um estado relativamente disperso (dessorção) e, no outro, a partir de um estado relativamente compacto (adsorção).

A adsorção da água pela madeira pode ser explicada através da teoria de Hailwood e Horrobin, que é discutida em detalhes por SPALT (1958), WANGAARD e GRANADOS (1967) e SKAAR (1972).

SPALT (1958) definiu a água de fixação polimolecular, ou a água de solução, não como a água fixada na madeira mas sim como a água que se condensava nos espaços vazios que existiriam dentro da parede celular. Essa definição foi contrariada por STAMM (1964), que mostra a existência da condensação de água em capilares dentro da parede celular apenas quando a pressão relativa de vapor estiver ao redor de 0,995 (correspondente a uma umidade relativa de 99,5%). Admitindo-se que ocorra a condensação capilar em uma faixa de pressão relativa de vapor entre 0,900 e 0,995, ela não excederá a 2,0 % do volume total da parede celular.

SIMPSON (1971), baseando-se na teoria de Hailwood e Horrobin e nos resultados experimentais obtidos pelo Forest Products Laboratory (1955) com madeira de *Picea sitchensis*,

determinou equações de segundo grau que permitem estimar os valores das constantes K1, K2 e M (peso molecular) a partir da temperatura. O desvio máximo encontrado pelo autor entre a umidade de equilíbrio calculada matematicamente e a determinada experimentalmente foi de 0,90%.

GALVÃO (1975) estimou a umidade de equilíbrio teórica para diversas cidades do Brasil através das tabelas do Forest Products Laboratory e da equação de Simpson, encontrando uma diferença máxima de 0,4 % entre as umidades calculadas pelos dois métodos.

Diversos modelos teóricos sobre a adsorção-dessorção de água foram testados por SIMPSON (1973) através de representação gráfica do modelo com auxílio de dados experimentais existentes na literatura; o autor concluiu que o modelo proposto por Hailwood e Horrobin é o mais acurado quando a umidade de equilíbrio é calculada como uma função da umidade relativa.

Deve-se ressaltar, porém, que os dados do FOREST PRODUCTS LABORATORY (1955) utilizados por SIMPSON (1971) representam a umidade de equilíbrio (para uma determinada temperatura e umidade relativa) intermediária entre a adsorção e a dessorção. Portanto, a isoterma obtida pela equação de Simpson através das tabelas do Forest Products Laboratory estará situada entre os dois extremos das curvas de adsorção e de dessorção, não considerando o efeito da histerese.

De acordo com JANKOWSKY (1985), através da secagem artificial, pode-se diminuir a higroscopicidade da madeira e a sua posterior movimentação quando em serviço.

2.4.3 Fatores que influem no processo de secagem

Segundo GALVÃO e JANKOWSKY (1985), quando uma peça de madeira verde é exposta ao ambiente, as fibras da superfície tendem a atingir a umidade de equilíbrio com o ar ao seu redor. Existindo circulação de ar que possibilite remover a água que continua a chegar à superfície, estabelece-se o movimento capilar de água do interior para o exterior da peça.

Para madeiras permeáveis, a taxa de secagem durante a remoção da água capilar é função da velocidade de circulação do ar e da sua capacidade de receber o vapor de água retirado da madeira, como mostraram claramente JANKOWSKY (1979 a) e JANKOWSKY e ZAPATA (1983).

Existindo condições ambientais adequadas que permitam a evaporação da água da superfície, as forças capilares determinam a movimentação inicial da água, do interior para o exterior da madeira, que passa a mover-se por difusão quando o teor de umidade cai abaixo do ponto de saturação das fibras (GALVÃO E JANKOWSKY, 1985).

Essa difusão da água higroscópica, segundo JANKWOSKY (1979 b), JANKWOSKY e ZAPATA (1983) e ZAPATA (1986), é sumamente demorada, não mais dependendo da velocidade de circulação do ar e sim da temperatura e do potencial de secagem.

Dada a variedade de fenômenos que estão envolvidos no processo de secagem, muitos são os fatores que afetam este

processo, tanto relacionados com a própria madeira, como com o meio de secagem. Assim, torna-se relevante discutir separadamente os principais fatores.

- Massa específica

Madeiras com baixa massa específica e, por esta razão, com grande volume de espaços nas cavidades celulares, secam mais rápido do que madeiras com alta massa específica. O motivo pelo qual o coeficiente de difusão é maior em madeiras de baixa massa específica é o pequeno volume de parede celular através da qual a água move-se lentamente como líquido e o grande volume de lumes por onde a água passa rapidamente na forma de vapor (BROWN et al., 1952).

HART (1966) cita que o tempo de secagem normalmente é diretamente proporcional à massa específica e à espessura da tábua, quando o fator limitante é a remoção da água capilar.

- Estrutura anatômica

SMITH e LEE (1958), trabalhando com folhosas, demonstraram que as espécies com maior permeabilidade são geralmente aquelas cujos vasos estão livres de tilos ou de depósitos de resinas; nestes casos, a permeabilidade depende diretamente do diâmetro e do número de vasos, como foi confirmado posteriormente por SMITH (1972).

Já no caso das coníferas, a permeabilidade está em função das pontoações areoladas dos traqueóides, que se transformam em uma via de fluxo eficiente, como afirmam BAILEY e PRESTON

(1960) e SMITH (1972). Se estas pontoações estiverem aspiradas, tornam-se um obstáculo ao fluxo do líquido, segundo ERICKSON et al. (1937) e BAILEY e PRESTON (1960).

A água movimenta-se na madeira no sentido longitudinal, tangencial e radial. Segundo COMSTOCK (1970, 1975), COMSTOCK e COTÉ (1968) e STAMM (1964), o fluxo de água capilar no sentido do comprimento dos traqueóides é pelo menos 50 vezes maior do que perpendicular ao mesmo. Nas *Pináceas* este fato deve-se em parte à presença de canais resiníferos que possuem diâmetros maiores que os demais elementos, enquanto que nas folhosas deve-se principalmente à presença de vasos com placas de perfuração que, da mesma forma, facilitam o movimento da água. SIAU (1971) considera ainda que nas coníferas o fluxo na direção tangencial é maior que na direção radial, uma vez que as pontoações intertraqueoidais se encontram nas faces radiais.

Abaixo do ponto de saturação das fibras, a velocidade de difusão no sentido longitudinal é cerca de 10 a 15 vezes maior que na direção transversal (RASMUSSEN, 1961). No sentido radial é, aproximadamente, 20 a 50 % maior do que no sentido tangencial. Para KOLLMANN & COTÉ (1968), este fato deve-se ao efeito dos raios, afirmando que em folhosas com grande proporção de células radiais a difusão nesse sentido pode ser até mais que o dobro da tangencial. Deve-se considerar que, dependendo da massa específica, as células do raio contribuem com apenas 2 % dos espaços disponíveis para o fluxo de água na madeira, o que é praticamente insignificante.

RIETZ e PAGE (1971) afirmam que nas coníferas o teor de

umidade do cerne é geralmente menor que o do alburno; entretanto, o alburno seca ao ar mais rapidamente que o cerne. Por outro lado, KOZLIK e WARD (1981), estudando madeira de *Tsuga heterophylla*, demonstraram que durante a secagem artificial o cerne alcançou o ponto de saturação na metade de tempo que o alburno (sendo que o cerne apresenta quase a metade do teor de umidade que o alburno); do ponto de saturação até 15% de umidade, o tempo de secagem para o cerne foi 30% menor que o para o alburno.

- Teor de umidade

De maneira geral, quanto maior for o teor de umidade inicial, maior será o tempo necessário para a secagem.

Para madeiras altamente permeáveis, quando o fator remoção de água capilar não é limitante, pode ser verificado que um maior teor de umidade inicial resulta em gradientes de umidade mais inclinados na superfície da madeira, ocasionando uma rapidez de secagem proporcionalmente maior, de acordo com HART (1966).

Assim, o tempo total de secagem pode ser praticamente independente do teor de umidade inicial. Se a remoção da umidade superficial for fator limitante, o tempo total de secagem aumenta com o aumento do teor de umidade inicial, mesmo para madeiras altamente permeáveis, pois um maior fluxo de água ocorre, sem que a água seja removida eficientemente da superfície (HART, 1966).

Este autor verificou, em madeiras altamente impermeáveis onde o fator limitante é a difusão, que o tempo de secagem até o ponto de saturação das fibras (PSF) é proporcional à quantidade de água capilar presente na peça. Porém, quando os centros das peças atingirem o ponto de saturação das fibras, ambas necessitam o mesmo tempo adicional para secar.

- Espessura da madeira

Segundo KOLLMANN & COTÊ (1968), a taxa de difusão é proporcional ao gradiente de pressão de vapor; o gradiente e a difusão da água higroscópica são inversamente proporcionais à espessura da madeira. Segundo HART (1966) e RIETZ e PAGE (1971), quando o fator limitante é a remoção da água higroscópica, o tempo de secagem é diretamente proporcional ao quadrado da espessura da tábua e ao quadrado da massa específica característica da espécie de madeira.

Evidentemente, o tempo de secagem de um material espesso é maior do que o de um material fino.

HILDEBRAND (1970) considera, como regra geral, o tempo de secagem da madeira diretamente proporcional à espessura da peça elevada à potência 1,5; alguns autores sugerem potências de 1,25 a 1,7. A mesma potência deve ser aplicada à massa específica da peça, uma vez que a espessura e a massa específica têm o mesmo efeito sobre o tempo de secagem. Para madeira de uma mesma espécie com duas diferentes espessuras sob mesmas condições de secagem, o tempo de secagem pode ser

calculado pela seguinte equação:

$$T2 = T1 \frac{C2^{1,25*}}{C1}$$

onde:

T2 = Tempo estimado para secar a tábua de espessura 2 (h)
 T1 = Tempo gasto para secar a tábua de espessura 1 (h)
 C2 = Espessura da tábua 2 (mm) C1 = Espessura da tábua 1 (mm)
 * = Há divergências com relação ao expoente que varia de
 1,25 a 1,7.

- Temperatura

O calor é a fonte da qual as moléculas de água na madeira adquirem a energia cinética necessária para provocar a evaporação. A temperatura também influencia a umidade relativa do ar aumentando a pressão de saturação do vapor de água, ou seja, aumentando a capacidade do ar em receber água evaporada da madeira (RASMUSSEN , 1961; HILDEBRAND, 1970 e CECH & PFAFF, 1977).

A secagem se processa do interior para a superfície; se a temperatura for constante, a taxa de evaporação diminuirá gradualmente à medida que diminui o teor de umidade da madeira e aumenta a pressão de vapor do ar. Por esta razão, para manter a taxa de secagem constante, deve-se aumentar progressivamente a temperatura para fornecer a energia adicional às moléculas de água ou reduzir a umidade relativa (menor pressão de vapor) da estufa.

De maneira geral, quanto maior a temperatura, menor o

tempo de secagem. Deve-se observar, porém, certos limites para não afetar as propriedades físicas e mecânicas ou para que não ocorra degradação da madeira.

- Umidade relativa e umidade de equilíbrio

A umidade relativa do ar é a relação entre a quantidade real de vapor de água contida no ar e a quantidade máxima de vapor de água que o ar poderia absorver a uma mesma temperatura e pressão, expressa em porcentagem. Com o aumento da temperatura de secagem sem adição de umidade, a umidade relativa do ar diminui porque aumenta a capacidade do ar em reter umidade (RASMUSSEN, 1961; HILDEBRAND, 1970 e GALVÃO & JANKOWSKY, 1985).

Entre a umidade da madeira, a umidade relativa do ar e a temperatura estabelece-se um equilíbrio higroscópico de grande importância para a secagem da madeira uma vez que, através desta relação, pode-se controlar e regular o processo de secagem (HILDEBRAND, 1970).

Aumentando a temperatura do ar numa câmara de secagem, a umidade de equilíbrio é reduzida, obtendo-se com isso uma redução no teor de umidade da madeira.

Assim, para que a umidade relativa do ar seja mantida constante durante o processo de secagem, é preciso que haja troca de ar úmido do ambiente de secagem por ar fresco (HILDEBRAND 1970).

Para manter a taxa de evaporação constante à medida que a

secagem progride, deve-se abaixar progressivamente a umidade relativa.

- **Velocidade do ar**

Segundo GALVÃO e JANKOWSKY (1985), a circulação de ar apresenta quatro finalidades básicas:

- transferir calor do meio de aquecimento para o ambiente de secagem;
- distribuir o calor uniformemente em todo esse ambiente;
- misturar e condicionar o ar (em termos de temperatura e umidade relativa) antes da sua passagem pela carga em secagem;
- remover principalmente a água da superfície da madeira.

A velocidade da circulação do ar é importante nos estágios iniciais da secagem, quando existem altos teores de umidade; esta importância decresce à medida que a madeira se aproxima da umidade de equilíbrio.

De maneira geral, quanto maior a velocidade do ar menor é o tempo de secagem. Porém, quando da escolha da velocidade do ar, deve-se considerar também outros fatores envolvidos no processo de secagem.

Segundo HILDEBRAND (1964/70), velocidades de circulação do ar iguais ou superiores a 3 m/s são economicamente vantajosas apenas para madeiras com teores de umidade muito acima do ponto de saturação das fibras.

2.4.4 Taxa de Secagem

A taxa de secagem refere-se à quantidade de água evaporada, num certo intervalo de tempo em relação à área de evaporação da peça de madeira. Através dela pode-se estimar o tempo de secagem de uma determinada espécie da condição de madeira verde, até um teor de umidade considerado a uma certa temperatura e umidade de equilíbrio.

VICK (1965) constatou que as curvas calculadas podem ser empregadas para determinar o tempo de secagem em função das condições reais de secagem e do teor de umidade inicial.

Para o caso de secagem a alta temperatura (acima de 100°C) há 3 fases distintas (HANN, 1964, TOMASELLI, 1976, 1977, 1981). Na primeira fase, a transferência de calor do sistema para a superfície da madeira é o fator limitante e a taxa de secagem é linear em função do tempo. Na segunda fase, a transferência de calor da superfície para o interior da madeira age como controlador da taxa de secagem, que é linear em função da raiz quadrada do tempo. A terceira fase se caracteriza por uma taxa de secagem decrescente à medida que o teor de umidade diminui, não tendo explicação matemática.

Pode-se determinar graficamente a taxa de secagem medindo-se periodicamente as perdas por evaporação e plotando-as em função do tempo de secagem; isto pode ser feito na primeira e na segunda fases.

RESCH e ECKLUND (1964) constataram que as propriedades físicas e a estrutura anatômica da madeira, unidas aos fatores

externos (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar), também influem na taxa de secagem.

Estes autores consideram que os fatores mais influentes na taxa de secagem são o teor de umidade, a massa específica e o número de anéis de crescimento por polegada. Entretanto, advertem que, para que se possa prever o tempo de secagem, é necessário conhecer o grau de associação entre algumas propriedades físicas da madeira e sua taxa de secagem.

Deve-se considerar que a secagem da madeira verde envolve tanto o fluxo de água livre acima do ponto de saturação das fibras (PSF) como a difusão da água de impregnação e vapor de água abaixo deste ponto. A permeabilidade afeta o fluxo de água livre, enquanto que a massa específica da madeira está mais relacionada com a difusão abaixo do ponto de saturação das fibras (HART e DARWIN Jr, 1971).

Estudando espécies indianas, SEKHAR e RAJPUT (1967), observaram que a contração depende tanto da massa específica como do ponto de saturação das fibras, sendo que a influência da primeira é mais pronunciada.

HANN (1964) verificou que na secagem a alta temperatura a contração em espessura é consideravelmente maior do que em largura, tanto para corpos de provas orientados tangencialmente como radialmente. A contração é menor à alta temperatura que na secagem a baixa temperatura, provavelmente devido ao alívio de esforços de crescimento pela alta temperatura.

SANTINI (1980) verificou em *Pinus elliottii* que quanto

mais elevado for o teor de umidade inicial, maior é a taxa de secagem. Isto também foi observado por TOMASELLI (1977, 1981). A causa disso provavelmente está relacionada à presença de corpos de prova de lenho adulto e lenho juvenil.

SANTINI (1980) observou que a taxa de secagem no intervalo de umidade de verde até 10%, aumenta linearmente com a temperatura. Estudo semelhante conduzido por TOMASELLI (1977, 1981), com metodologia direcionada para a determinação dos estágios de secagem, demonstraram aumentos significativos na taxa de secagem com o aumento da temperatura. O autor comenta que, no primeiro estágio, a taxa de secagem a 180^o C foi cerca de cinco vezes superior à obtida a 80^oC. Neste estágio foi observado que a taxa de secagem não aumenta linearmente com a temperatura, como constatado inicialmente por HANN (1964). Para TOMASELLI (1977/81), este fato pode ser explicado em função da diferença de metodologia empregada por HANN (1964), onde, entre outros aspectos, a transferência de calor foi feita principalmente por condução, enquanto que neste estudo a transferência de calor foi realizada principalmente por radiação, cuja emissividade varia com a quarta potência da temperatura.

SEVERO (1989), estudando a taxa de secagem em *Pinus elliottii* nos intervalos de umidade verde até 10% e de 30 até 10%, determinou-as pela equação $y = a \cdot x_b$, e no intervalo de umidade de verde até 30% pela equação $y = e_a \times bx$. Estas equações apresentaram excelentes ajustes de dados, com coeficientes de determinação variando de 0,90 a 0,99; portanto,

dentro das limitações experimentais do estudo, pode-se estimar a taxa de secagem em função das temperaturas para uma determinada velocidade do ar. Na Tabela 3 são apresentados os resultados médios das taxas de secagem obtidos pelo mesmo autor.

TABELA 3 - TAXAS DE SECAGEM MÉDIAS PARA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DENTRO DA VELOCIDADE DO AR DE 2,5 m/seg. (SEVERO, 1989)

TEMPERATURA (°C)	VERDE ATÉ 10%	VERDE ATÉ 30%	30% ATÉ 10%
50	0,9123	1,7588	0,1861
80	2,0614	2,6582	0,7398
110	3,9866	4,3864	1,9472

Outro fator que tem influência na taxa de secagem é a velocidade do ar, que foi estudada por vários autores (HART, 1966, KOLLMANN e SCHNEIDER, 1961; CECH e PFAFF, 1977; TAYLOR e MITCHELL, 1987 e SEVERO, 1989).

KOLLMANN e SCHNEIDER (1961) consideram que a influência da velocidade do ar sobre a taxa de secagem é mais significativa à alta temperatura do que em processos convencionais, pois na secagem convencional o efeito da velocidade do ar decresce rapidamente próximo ao ponto de saturação das fibras, enquanto na secagem a alta temperatura este efeito ainda é pronunciado para teor de umidade bem abaixo do ponto de saturação das fibras (PFS).

HANS (1974), trabalhando com *Liriodendron tulipifera*, verificou que abaixo de 40% de umidade não há aumento na rapidez de secagem com o uso de maior velocidade de circulação do ar e recomenda a utilização de velocidade menor que 1,2 m/s para umidades abaixo daquele teor. SALOMON e MCLNTYRE (1969), mostraram que uma combinação de velocidade do ar de 4,5 m/s até o PSF e cerca de 2 m/s abaixo do PSF reduzem o tempo de secagem na ordem de 15 a 25%, dependendo da espécie, além de trazer uma substancial economia de energia.

2.4.5 Efeitos das Condições de Secagem nas Propriedades da Madeira

2.4.5.1 Considerações gerais

Com aplicação da secagem, ocorrem, dependendo principalmente da temperatura e métodos utilizados, modificações nas propriedades da madeira (KOLLMANN E COTÊ Jr., 1968). A maioria das modificações nas propriedades da madeira ocorrem somente com a retirada da água de impregnação, ou seja, a secagem abaixo do ponto de saturação das fibras. Com a diminuição do teor de umidade abaixo deste ponto, dois aspectos de extrema importância são observados: o aparecimento da contração e o aumento da maioria das propriedades de resistência mecânica da madeira.

Os principais efeitos da secagem nas propriedades e características da madeira podem ser assim sumarizados (BROWN & BETHEL, 1965):

- diminuição das suas dimensões, principalmente no sentido radial e tangencial, devido à retirada da água absorvida na sua estrutura;
- aumento da maioria das propriedades de resistência da madeira;
- aumento da resistência ao ataque de fungos e insetos;
- diminuição de peso e, conseqüentemente, maior facilidade no manuseio e transporte do material;
- melhoria de suas propriedades de trabalhabilidade, tais como lixamento, usinagem, colagem, aplicação de acabamento, etc.;
- dentro de certos limites, principalmente considerando-se a secagem artificial, pode ser citado que a madeira aumenta sua estabilidade dimensional.

O efeito do método de secagem nas propriedades e, principalmente, o efeito da temperatura, têm sido de grande interesse nos últimos anos, principalmente com o desenvolvimento da secagem de madeira à alta temperatura (acima de 100°C). Os estudos conduzidos têm se dedicado principalmente à avaliar o efeito das propriedades mecânicas (flexão estática, compressão, cisalhamento, etc) e nas propriedades físicas (massa específica aparente, estabilidade dimensional, teor de umidade de equilíbrio).

2.4.5.2 - Efeito da Temperatura de Secagem nas Propriedades Físicas

O efeito da temperatura de secagem na massa específica,

contração e no teor de umidade de equilíbrio são discutidos separadamente.

- Efeito na Massa específica

A massa específica não é normalmente afetada pela temperatura da secagem (KOCH & WELLFORD, 1977; LOENT'EV et al, 1958; TOMASELLI, 1977 e 1981).

Algumas pesquisas têm demonstrado que a massa específica aumenta com o aumento da temperatura de secagem (COMBEM, 1955; LADELL, 1957). Isto é esperado devido ao aumento paralelo da contração do material com a temperatura.

- Efeito na Contração

De uma maneira geral, a contração da madeira aumenta com a temperatura de secagem (TOMASELLI, 1977, 1981; SANTINI, 1980). Existem várias explicações sobre a causa do aumento da contração com a temperatura. Uma das razões associadas poderia ser a diminuição do teor de umidade de equilíbrio, que será discutido no próximo item. Este fator, no entanto, causaria um aumento da contração menor do que 1% e, na realidade, o aumento de contração é bastante maior do que este valor (TOMASELLI, 1977, 1981).

Devem, portanto, existir outros fatores que contribuem, entre eles sugere-se:

- presença de colapso da parede celular, causado por forças

capilares que excedem a resistência à compressão da madeira no sentido perpendicular às fibras. Este fato leva a crer que o movimento capilar também contribui significativamente para movimento da água acima do ponto de saturação das fibras (TOMASELLI, 1977, 1981).

- Outro aspecto a ser considerado é a possibilidade de que parte da contração seja na realidade uma compressão residual, resultante das tensões desenvolvidas durante a secagem (CECH, 1964).
- Pode ser ainda considerado que a contração seja também acentuada pela degradação térmica parcial do material (WISE & JAHN, 1952).

Um dos aspectos importantes, observados por vários pesquisadores (TOMASELLI, 1977 -1981; SANTINI, 1980), é que a contração da madeira deixa de observar as regras normais de anisotropia quando a temperatura aumenta. Como é sabido, a contração tangencial é sempre maior que a radial. Com o aumento da temperatura, no entanto, esta regra não é observada e a contração em espessura é sempre maior do que em largura, independentemente da orientação (radial ou tangencial). Este fenômeno foi explicado por HANN (1964), e a sua teoria baseia-se no fato de que as células da superfície de um corpo de prova em secagem são restringidas a contrair em largura pelas células do interior (que estão com um teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras), enquanto que a contração em espessura se processa livremente.

- Efeito no Teor de Umidade de Equilíbrio

A medida que se aumenta a temperatura de secagem, diminui-se a higroscopicidade da madeira (KININMONTH, 1976). Comparando-se a madeira de *Pinus radiata* seca a 180°C com madeira seca a 70°C, reduções maiores do que 20% podem ser esperadas (TOMASELLI, 1977).

A redução de higroscopicidade causada pela temperatura é provavelmente resultante de pequenas modificações químicas, em especial a degradação parcial das hemiceluloses (STAMM, 1964). Esta redução depende, além da temperatura, do tempo que um determinado corpo de prova é submetido ao tratamento (STAMM et al, 1955; KOZLIK, 1973; KININMONTH, 1976).

A grande importância da redução de higroscopicidade é relacionada ao fato de que existe paralelamente um aumento na estabilidade dimensional. A estabilidade dimensional de uma madeira pode ser obtida através de vários tipos de tratamentos químicos (CHOONG, 1969), no entanto, a viabilidade econômica é sempre discutível. A aplicação de temperaturas elevadas não é o método mais eficiente, no entanto, qualquer melhoramento que se venha obter neste sentido sempre é desejável.

Madeiras secas a temperaturas elevadas apresentam menor umidade de equilíbrio. A este fato, juntamente com compactação da madeira, podem fazer com que a resistência da madeira seca à temperaturas elevadas, dentro de determinados limites, seja maior do que a seca em baixas temperaturas.

2.4.5.3 Efeito da Temperatura de Secagem nas Propriedades Mecânicas

Apesar deste tópico não estar diretamente ligado à pesquisa aqui apresentada, alguns pontos de importância devem ser levantados, a fim de que se possa realizar uma análise global do problema.

Analisando-se a literatura sobre o efeito de secagem a temperaturas elevadas, resultados contraditórios são encontrados, e uma conclusão desta análise é bastante difícil (MACKAY, 1976; HUBER, 1976; TOMASELLI, 1977). Esta variabilidade nos resultados é principalmente devida ao fato de existirem diferenças fundamentais no procedimento experimental.

Muitos experimentos foram dirigidos ao desenvolvimento de programas de secagem e, como avaliação paralela e secundária foi determinado o efeito do programa utilizado nas propriedades da madeira.

Um dos aspectos onde há concordância entre os autores é que a redução nas propriedades mecânicas é muito mais acentuada quando a secagem é conduzida em ambiente com alta umidade relativa do que em ambientes de baixa umidade relativa (SALOMON, 1963/69; STAMM, 1955). Isto deve-se provavelmente ao fato de que em altas umidades relativas a degradação térmica predominante é por hidrólise e a taxa de degradação por hidrólise é acentuadamente maior do que por pirólise (SKAAR, 1976).

Um estudo conduzido por TOMASELLI (1977) com *Pinus radiata*, comparando as propriedades da madeira seca a 70°C com madeira seca a 140°C e 180°C, mostrou que, em geral, as propriedades mecânicas da madeira não são afetadas pela temperatura de secagem dentro dos níveis estudados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ESPÉCIES ESTUDADAS

As amostras de madeira estudadas neste trabalho foram obtidas de árvores de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L., provenientes de plantios com 30 anos de idade, localizados na Floresta Nacional de Irati, Estado do Paraná. As espécies citadas foram escolhidas por se destacarem pelo ritmo e vigor de crescimento na região e pela necessidade de se conhecer a qualidade da madeira produzida nessa idade por serem as espécies mais importantes desse gênero no País.

3.2 LOCAL DE COLETA

A Floresta Nacional de Irati localiza-se no 2^o planalto paranaense, numa altitude média de 870 metros acima do nível do mar, em região de relevo suavemente ondulado, a 25^o 27' de latitude sul e 50^o 35' de longitude oeste de Greenwich.

Os solos predominantes na região são o Latossolo Vermelho-Escuro Alico, Cambissolo Alico e Podzólico Vermelho-Amarelo Alico, além de solos hidromórficos nas porções abaciadas e próximas a cursos d'água. O clima predominante é o Cfb - mesotérmico, subtropical úmido, com verões quentes sem estação seca e inverno definido, com geadas severas e frequentes.

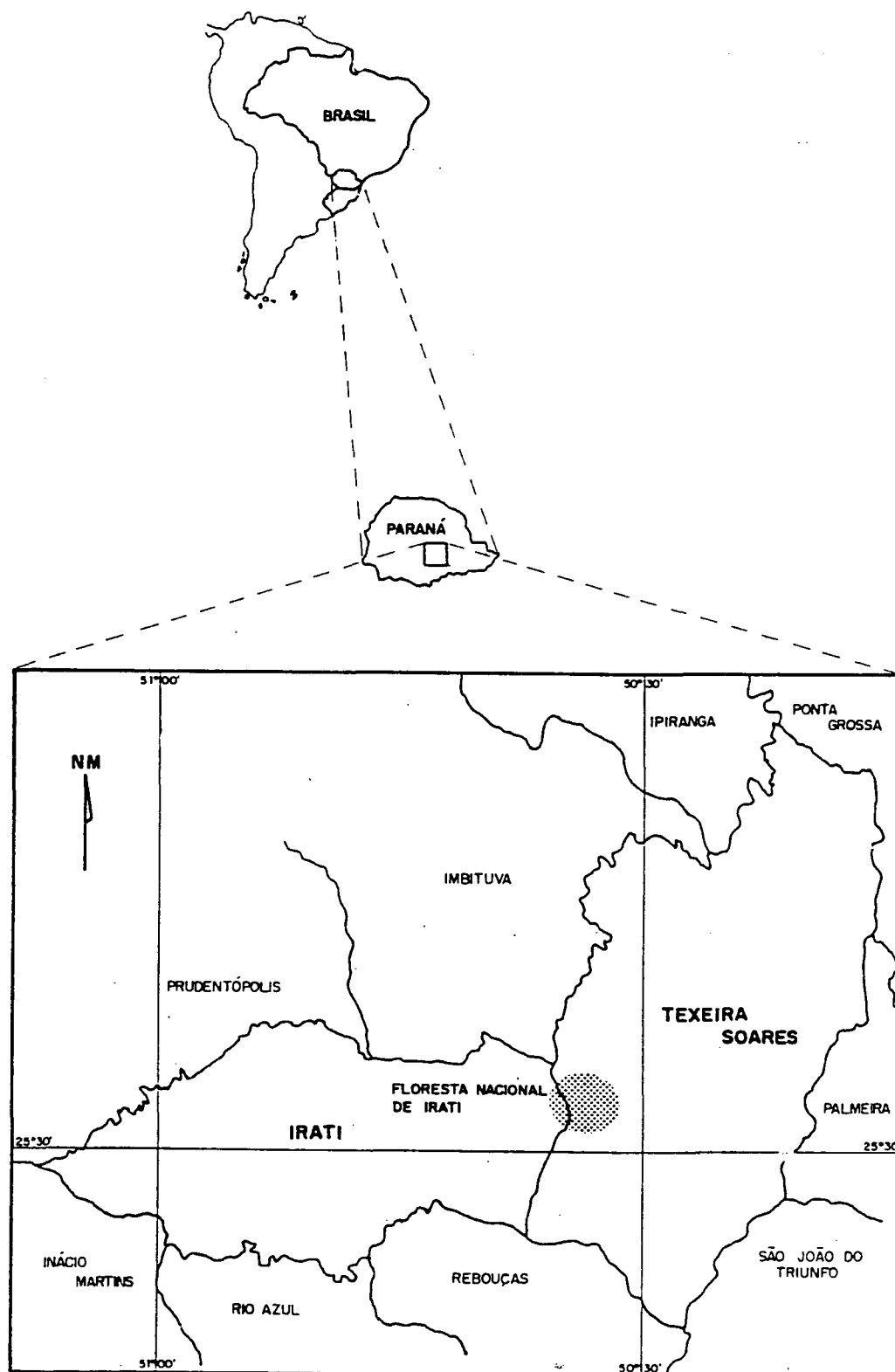


FIGURA 5 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE COLETA DO MATERIAL. FLORESTA NACIONAL DE IRATI - PARANÁ.

Localizada no município de Teixeira Soares, a 9 km da cidade de Irati, e a 200 Km da capital do estado, como mostra a Figura 5, a Floresta Nacional de Irati tem uma área de 3.495 ha., sendo 37,5% ocupados por povoamentos implantados, 57,7% por vegetação nativa com predominância de florestas de *Araucária* e 4,8% por infraestrutura geral. Este complexo é administrado pelo IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ex-IBDF).

Os povoamentos de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, com 30 anos de idade, foram plantados em espaçamento inicial de 2,0 x 2,5 m, sendo submetidos a três tratamentos de desbastes.

3.3 AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO DO MATERIAL

A seleção das árvores para o estudo, dentro de cada talhão obedeceu a critérios previamente estabelecidos quanto à classe diamétrica e aspecto visual do fuste.

Para o diâmetro à altura do peito (DAP) definiu-se classe de diâmetro de 47 ± 2 cm para se obter amostras médias de cada povoamento e evitar variações acentuadas devido às diferentes taxas de crescimento das árvores.

Quanto ao fuste, selecionaram-se árvores com troncos cilíndricos, retos, sem bifurcações ou defeitos, para se evitar a excessiva presença de lenho de compressão e defeitos que inviabilizassem a obtenção de corpos de prova ou que pudessem influir nos resultados.

Após a seleção, foram abatidas 5 árvores por espécie, procedendo-se às medições de diâmetro e altura comercial, cujas médias encontram-se na Tabela 4.

TABELA 4 - MÉDIAS DO DAP (cm) E DA ALTURA DO FUSTE (m) DE 5 ÁRVORES DE *Pinus elliottii* E DE *Pinus taeda*

ESPÉCIE	DAP (cm)		ALTURA (m)	
	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
<i>Pinus elliottii</i>	46.70	1.893	28.30	1.07
<i>Pinus taeda</i>	47.80	1.814	27.41	1.19

De cada árvore foram coletados 4 discos tomados à altura do peito (1,30m, 5%), 25%, 50%, 75% e um disco na altura comercial, a qual foi fixada na posição correspondente ao diâmetro de 5 cm. Os discos, após serem codificados, foram utilizados para a obtenção de material macerado para a determinação do comprimento dos traqueóides, com a finalidade de demarcar previamente os lenhos juvenil e adulto. Além disso, esses mesmos discos foram destinados aos estudos anatômicos e massa específica.

Coletaram-se também 4 toras por árvore de aproximadamente 1.30 m de comprimento, em quatro posições diferentes em relação à altura da árvore: 5% (DAP), 25%, 50% e 75% da altura comercial, conforme apresentado na Figura 6 A. As toras, depois de codificadas, tiveram os topos selados com JIMO PROTEPONTAS (Química Industrial L.T.D.A) para se evitar a perda da umidade. Completada a amostragem, as toras foram transportadas para a serraria da Fazenda Canguiri (Universidade Federal do Paraná) e desdobradas, obtendo-se, de cada amostra, um pranchão central com 9 cm de espessura por 1.30 m de comprimento. Tomou-se cuidado para que a medula permanecesse no centro da prancha. (Figura 6.B)

Os pranchões foram acondicionados em sacos plásticos para se evitar a perda da umidade e transportados para o Laboratório de Tecnologia da Madeira do Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais, da Universidade Federal do Paraná-UFPR, em Curitiba-PR, para a confecção de corpos de prova e execução do estudo.

O corte das toras foi realizado a partir de 1.30 m do nível do solo, para se evitar a influência do sistema radicular das árvores e a possível presença de lenho de compressão, e também para se obter resultados mais representativos da porção do tronco aproveitada comercialmente como madeira sólida.

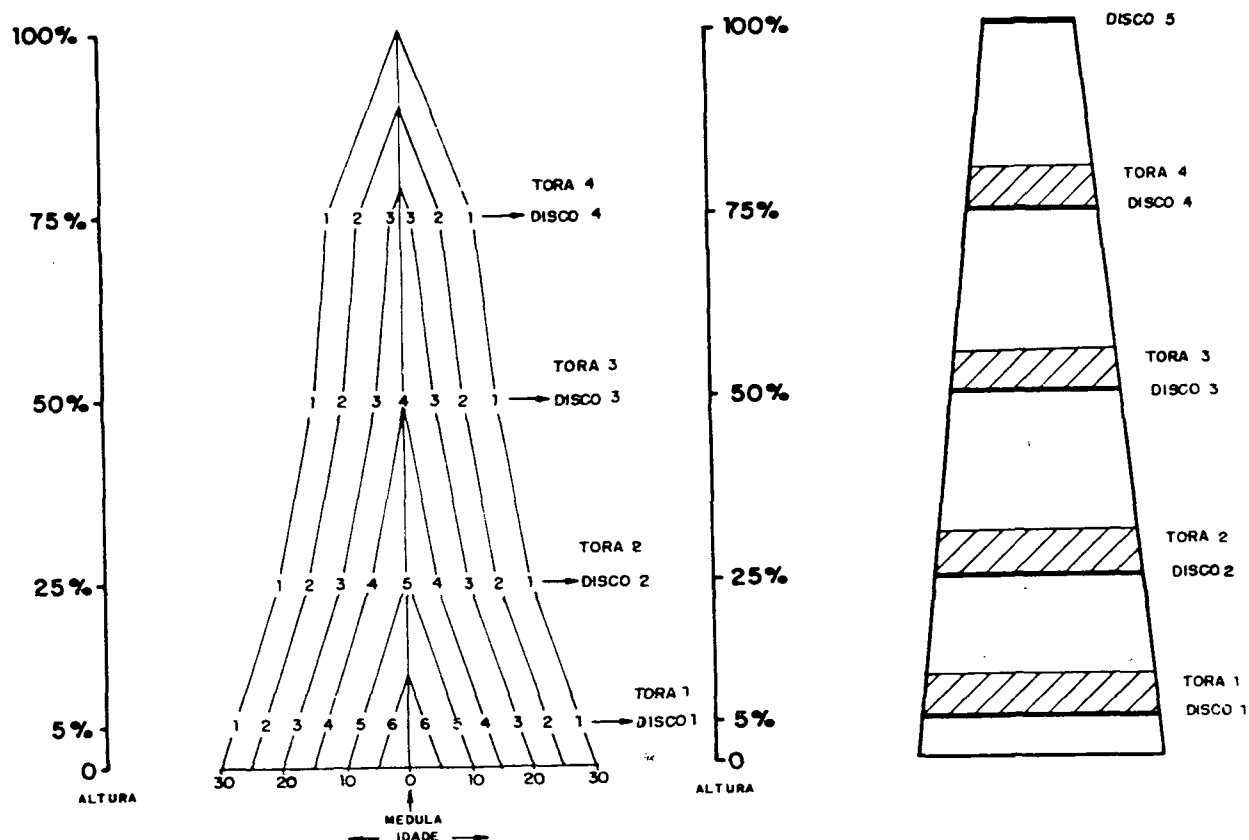
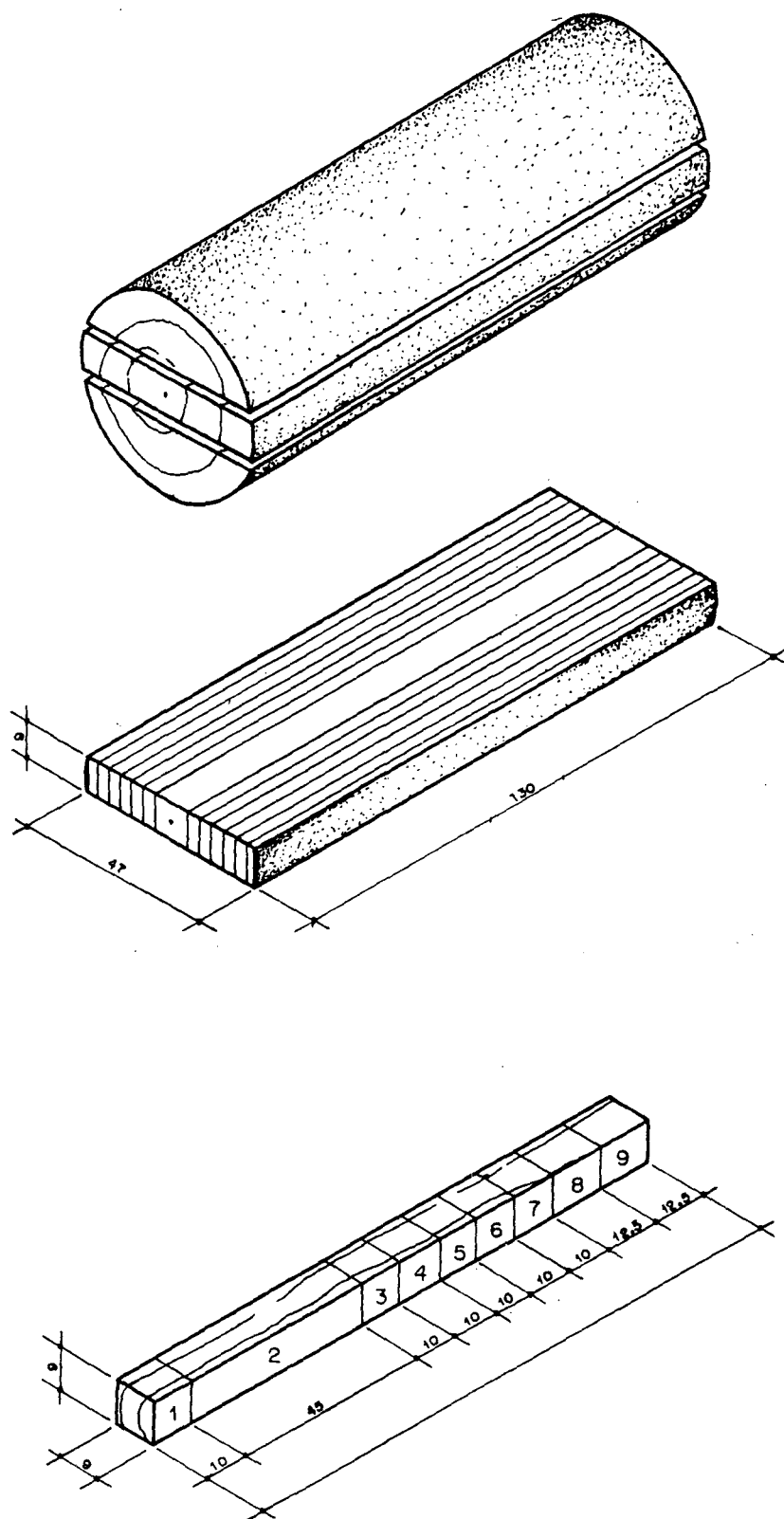


FIGURA 6 A - ESQUEMA DA RETIRADA DO MATERIAL PARA A OBTENÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS PARA O ESTUDO



ESTADO SECO
 1-Perdas
 2-Flexão estática
 3-Compressão paralela à grã

ESTADO VERDE
 4 a 7 -Taxa de secagem
 8-Anatomia
 9-Extrativos

FIGURA 6 B - ESQUEMA DA RETIRADA DO MATERIAL PARA A OBTENÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS PARA O ESTUDO

Cada pranchão foi dividido em duas partes; uma para a confecção de corpos de prova destinados à determinação da taxa de secagem e as propriedades físicas no estado verde; a outra metade para confecção de corpos de prova visando a determinação das propriedades mecânicas no estado seco (Figura 6B).

Os corpos de prova destinados às determinações das propriedades físicas e taxa de secagem no estado verde foram confeccionados logo após o corte dos pranchões, nas dimensões 2,5 x 2,5 cm de seção transversal.

Para as determinações no estado seco, os corpos de prova foram confeccionados após a secagem lenta das peças em estufa, até atingirem um teor de umidade em torno de 30%. Posteriormente foram submetidos as condições de ambiente controlado, a $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65 \pm 2\%$ UR, até atingirem cerca de 12 a 15 % de umidade.

Todos os cuidados foram tomados para que os corpos de prova fossem bem orientados em relação à disposição dos anéis de crescimento e para que as posições de amostragem fossem correspondentes nas outras alturas.

3.4 ESTUDO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA

As propriedades da madeira foram estudadas neste trabalho tanto no sentido medura-casca como em relação à altura, sendo as seguintes:

- características anatômicas;
- porcentagem de lenho tardio;

- extrativos solúveis em água quente e álcool-benzeno
- massa específica básica e aparente;
- teor de umidade;
- propriedades mecânicas de flexão estática e compressão paralela à grã;

Adicionalmente, foram estudadas as taxas de secagem e a retratibilidade a diferentes temperaturas.

3.4.1 Características Anatômicas

3.4.1.1 Descrição da Madeira e Características Morfológicas dos Traqueóides.

Tanto para a descrição microscópica, como para as mensurações dos elementos celulares individuais seguiram-se as recomendações de MUÑIZ (1986) e MUÑIZ & CORADIN (1991).

As amostras de madeira foram cozidas em água para amolecimento e os cortes, com espessura de 18 a 25 µm, orientados nos planos de corte transversal e longitudinais (tangencial e radial), foram obtidos em micrótomo de deslize, modelo Spencer AO, nº 860.

Para o tingimento das seções histológicas utilizou-se o método de dupla coloração, com safranina e azul de Astra. Posteriormente foram desidratadas em série alcoólica ascendente, colocadas em xilol e montadas em lâminas com Entellan.

As amostras destinadas à determinação das características morfológicas dos traqueóides foram submetidas a maceração pelo método de Jeffrey (FREUND, 1970). O material

macerado foi colorido com solução aquosa de safranina a 1%, desidratado em série alcoólica e, finalmente, conservado em xilol. Procedeu-se então à montagem em lâminas, utilizando-se o Entellan.

Na amostragem das lâminas, para se evitar erros de amostragem pela possível formação de concentração de material macerado na placa de Petri, procedeu-se à agitação do líquido para manter as células em suspensão.

Após a secagem das lâminas, procedeu-se às observações e medições, em número de 40 medições de cada corpo de prova de acordo com o número mínimo de medições exigidos para 5% de probabilidade, para o comprimento, diâmetro e espessura das paredes dos traqueóides axiais, através do analisador de imagens e microcomputador Videoplan, do Laboratório de Anatomia da Madeira da UFPR.

3.4.1.2 Determinação da Porcentagem de Lenho Tardio

A porcentagem de lenho tardio foi determinada em todos os corpos de prova destinados aos ensaios mecânicos e taxa de secagem, procedendo-se à demarcação dos lenhos tardio e inicial dentro de cada anel de crescimento, utilizando-se uma lupa quando necessário.

Mediu-se com escala graduada, a dimensão total do corpo de prova na face transversal na sua parte central, perpendicularmente aos anéis de crescimento e, em seguida, as faixas correspondentes ao lenho tardio, somando-se as medidas e calculando-se a porcentagem, em relação à medida total. O

procedimento foi realizado nas duas faces transversais, obtendo-se a média para cada corpo de prova.

A relação utilizada para o cálculo da porcentagem de lenho tardio foi a seguinte:

$$\% \text{ LT} = \frac{\bar{\delta} \text{ lt}}{\text{DT}} \times 100$$

onde:

% LT = porcentagem de lenho tardio (%)

$\bar{\delta} \text{ lt}$ = somatório do lenho tardio (cm)

DT = dimensão total da face transversal do corpo de prova no sentido perpendicular aos anéis de crescimento (cm).

3.4.2 Análises químicas da madeira

Para a análise da solubilidade da madeira em água quente e álcool-benzeno, as amostras de madeira foram transformadas em serragem, através de um moinho. A serragem utilizada na experimentação foi a que atravessou a peneira de malha Nº 16 internacional (40 mesh ASTM) e ficou retida na malha Nº 24 internacional (60 mesh ASTM). Procedeu-se então ao acondicionamento da serragem em sacos plásticos. Para a análise dos constituintes químicos da madeira foram realizadas duas repetições para cada corpo de prova.

As determinações químicas realizadas foram solubilidade de extrativos em água quente, de acordo com a Norma ABTCP (Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel)- M 4/68 , e solubilidade em álcool-benzeno ABCP M 6/68.

3.4.3 Propriedades físicas

3.4.3.1 Determinação do Teor de Umidade

O teor de umidade foi determinado, em todos os corpos de prova usados para determinar a taxa de secagem, pela pesagem da amostra no estado verde e após a secagem em estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$, até massa constante.

Utilizou-se a fórmula abaixo para o cálculo do teor de umidade:

$$U = [(Mv - Ms)/Ms] \times 100 (\%)$$

onde:

U = umidade da madeira (%)

Mv = massa da amostra úmida (g)

Ms = massa da amostra seca em estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$.(g)

3.4.3.2 Determinação da Massa Específica Básica e Aparente.

A determinação da massa específica básica (relação entre massa seca em estufa e o volume no estado completamente saturado), foi realizada com os discos sem casca, coletados em 5 posições ao longo do fuste da cada árvore. A massa específica básica foi calculada utilizando-se a relação:

$$Me = Ms / Vu \quad (\text{g/cm}^3)$$

onde:

Me = massa específica básica (g/cm³)

Ms = massa do corpo de prova seco em estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$
(g)

V_u = volume do corpo de prova em estado saturado (cm^3)

A determinação do volume foi feita pelo método de pesagem. Os discos foram inicialmente colocados em água para saturação, facilitando desta maneira a obtenção do volume. Após a determinação do volume os discos foram colocados em estufa em temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ para secagem, obtendo-se a massa seca.

Para o cálculo da massa específica básica da árvore levou-se em consideração a média ponderada da massa específica dos discos, uma vez que cada disco representava um valor correspondente a uma maior ou menor porção dentro do volume total da árvore, dependendo de sua localização.

A massa específica aparente básica foi determinada através dos corpos de prova usados na determinação da taxa de secagem e das propriedades mecânicas pela relação massa seca (M_s) em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ e volume (V_u) na ocasião do teste.

O volume foi determinado pelo método estereométrico, através da medição das dimensões do corpo de prova efetuada com micrômetro e paquímetro.

No caso dos corpos de prova utilizados para a determinação das taxas de secagem, o volume foi determinado no estado verde, quando todos os corpos de prova apresentavam teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras (30%).

A relação utilizada para o cálculo foi:

$$M_{ea} = M_s / V_u \quad (\text{g/cm}^3)$$

onde:

M_{ea} = massa específica aparente

M_s = massa do corpo de prova seco em estufa, a $103 \pm 2^\circ\text{C}$
(g)

V_u = volume do corpo de prova em estado verde (cm^3)

3.4.3.3 Determinação da Retratabilidade

Foram determinados os coeficientes de contração tangencial, radial, longitudinal e volumétrico, fator de anisotropia e coeficientes de retratabilidade tangencial e radial a diferentes temperaturas de secagem.

Os corpos de prova foram confeccionados nas dimensões de 2,5 x 2,5 x 10,0 cm, de acordo com a norma COPANT 30:1-005, sendo orientados nos planos transversal, radial e tangencial.

Após as medições iniciais no estado verde ($U > 30\%$); os corpos de prova foram divididos em quatro grupos e secos a diferentes temperaturas ($20 \pm 2^\circ\text{C}$, 50°C , 80°C e 120°C), até massa constante. Durante o processo de secagem foram feitas pesagens e depois de verificada constância nas mesmas, foram feitas medições periódicas para controle da secagem. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, até massa constante, oportunidade em que mediram-se as dimensões tangencial e radial com micrômetro e a longitudinal com paquímetro, sempre na mesma posição.

Os resultados foram obtidos através das seguintes fórmulas:

$$\beta(t,r,l) = (L_u - L_o) / L_u \cdot 100 (\%)$$

$$\beta_v = (V_u - V_o) / V_u \cdot 100 (\%)$$

$$CR = \frac{(L_{ac} - L_o) \cdot P_o}{L_o \cdot (P_{ac} - P_o)}$$

$$C.A. = \frac{\beta_t}{\beta_r}$$

onde:

- β = coeficiente de contração máxima (%)
- CR = coeficiente de retratibilidade (%/%)
- CA = coeficiente de anisotropia
- Lu = média das dimensões no estado verde (mm)
- Lac = média das dimensões após acondicionamento (mm)
- Lo = média das dimensões após secagem em estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (mm)
- Pac = massa do corpo de prova após acondicionamento (g)
- Po = massa do corpo de prova seco em estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (g)
- Vu = Volume do corpo de prova no estado verde (mm³)
- Vo = Volume do corpo de prova seco em estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$
- v = contração volumétrica
- t = contração tangencial
- r = contração radial
- l = contração longitudinal

3.4.4 Determinação das Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas estudadas foram flexão estática e compressão paralela à grã da madeira, determinadas em amostras com aproximadamente 12% de umidade, após acondicionamento em ambiente controlado a $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65 \pm 2\%$ de UR, até a obtenção de constância de massas nos corpos de prova.

Estes foram confeccionados a partir das pranchas serradas das toras de 1.30 m de comprimento, de cada árvore selecionada de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* segundo as prescrições das normas ASTM para os testes de flexão estática e compressão paralela às fibras, respectivamente. As condições de execução

dos ensaios são apresentadas na Tabela 5.

Para o corpo de prova utilizado nos ensaios de flexão estática, o vão foi de 41 cm, para se obter a relação vão/altura mínima de 15 : 1, minimizando, desta forma, o efeito de forças de cisalhamento sobre os resultados obtidos.

TABELA 5 - PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS ESTUDADAS, DIMENSÕES DOS CORPOS DE PROVA (cm) E VELOCIDADES DE TESTE (mm/min) PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

PROPRIEDADE	DIMENSÕES DO CORPO DE PROVA (CM)	NORMA	VELOCIDADE DE TESTE mm /min.
Massa específica	2,5 x 2,5 x 10,0	COPANT	————
Retratibilidade	2,5 x 2,5 x 10,0	COPANT	————
Flexão estática (TLP, MOR, MOE)	2,5 x 2,5 x 10,0	ASTM	1,0
Compressão pa- ralela às fibras (TLP, MOR, MOE)	2,5 x 2,5 x 10,0	ASTM	0,6

As deformações e cargas no limite proporcional foram obtidas de diagramas confeccionados automaticamente durante os ensaios.

O equipamento utilizado para execução dos testes foi a máquina de ensaio universal de marca TINIUS OLSEN, com capacidade de 0,3 a 30 toneladas, pertencente ao Laboratório de Tecnologia da Madeira, da Universidade Federal do Paraná. Os implementos necessários aos testes executados foram: defletômetros, suportes e equipamento auxiliar para medição automática da deformação e confecção de gráficos.

Com os resultados dos testes e os diagramas de carga-deformação procedram-se aos cálculos dos Módulos de Ruptura, Módulos de Elasticidade e Tensão no Limite Proporcional, através das fórmulas:

Flexão estática :

$$\text{MOR} = 3/2 (P.L) / (b.h^2) \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$\text{MOE} = 1/4 (P'. L^3) / (d'.b. h) \quad (\text{Kgf/cm}^2)$$

$$\text{TLP} = 3/2 (P'. L) / (b . h^2) \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

Compressão paralela às fibras:

$$\text{MOR} = P / (a . b) \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$\text{MOE} = (P'. L) / (a . b . d) \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$\text{TLP} = P' / (a . b) \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

onde:

MOR = Módulo de ruptura (kgf/cm²)

MOE = Módulo de elasticidade (kgf/cm²)

TLP = Tensão no limite proporcional (kgf/cm²)

P = Carga máxima (kgf)

P' = Carga no limite proporcional (kgf)

L = Comprimento do vão (cm)

d' = Deformação correspondente à carga no limite proporcional (cm)

a = h = Altura do corpo de prova (cm)

b = Largura do corpo de prova (cm)

3.4.5 Determinação da Taxa de Secagem

Os corpos de prova, de 2,5 x 2,5 x 10,0 cm, foram codificados e impermeabilizados através da aplicação de um selante nas suas extremidades, para minimizar as perdas de água

no sentido longitudinal.

Sortearam-se, aleatoriamente 90 corpos de prova para cada temperatura totalizando-se 360 amostras para cada espécie.

As temperaturas de secagem usadas foram 50, 80, 120°C e ambiente controlado a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 2\%$ de UR.

Para a secagem utilizaram-se estufas de laboratório com dimensões internas de 41,5 x 37,1 x 34,5 cm, sem circulação forçada de ar.

Os corpos de prova previamente pesados em balança analítica de precisão (0,01g), foram medidos em comprimento, largura e em espessura, com paquímetro e micrômetro, respectivamente. As estufas foram pré-aquecidas às temperaturas desejadas antes da introdução do material.

Os intervalos de tempo das medições e pesagens periódicas, variaram para cada tratamento. Utilizaram-se períodos de 4 horas para 50°C, 2h para 80°C, 1h para 120°C, e 24 horas no caso da câmara climatizada.

Após o início da secagem, as estufas foram abertas apenas o tempo necessário para a retirada ou reposição dos corpos de prova por ocasião das medições e pesagens periódicas.

A quantidade de água evaporada foi determinada pela diferença entre duas pesagens consecutivas. A secagem foi concluída quando a quantidade de água evaporada tornou-se desprezível. Obteve-se a massa seca de todos os corpos de prova a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, para a determinação da umidade .

As taxas de secagem foram calculadas para o intervalo de umidade a partir de madeira verde até 30% e 12% , e de classe de umidade de 30% a 12 % através da equação:

$$T_s = \frac{M \text{ \u00e1gua}}{t} \times \frac{1}{A}$$

onde:

T_s = taxa de secagem para um determinado intervalo de umidade ($\text{g/cm}^2 \cdot \text{h}$)

$M \text{ \u00e1gua}$ = massa de \u00e1gua removida da madeira (g)

t = tempo de secagem (h)

A = \u00e1rea de evapora\u00e7\u00e3o em cm^2

Deve-se ressaltar que esta equa\u00e7\u00e3o n\u00e3o \u00e9 necessariamente a mais apropriada, uma vez que considera a taxa de secagem como sendo linear em fun\u00e7\u00e3o do tempo durante todo o processo. No entanto, ela serve como par\u00e2metro de compara\u00e7\u00e3o entre as diversas temperaturas testadas.

Para verificar a quantidade de \u00e1gua evaporada em rela\u00e7\u00e3o aos teores de umidade de 50%, 30%, 20% e 12%, determinaram-se as massas correspondentes atrav\u00e9s da equa\u00e7\u00e3o:

$$Mdt = \frac{Mv \times (Tud + 100)}{Tui + 100}$$

onde:

Mdt = massa d'\u00e1gua a um determinado teor de umidade (g)

Mv = massa da amostra verde (g)

Tud = teor de umidade desejado (%)

Tui = teor de umidade inicial (%)

Atrav\u00e9s da diferen\u00e7a entre a massa das amostras verdes e as massas a 50%, 30% e 12%, e ainda a classe 30 a 12%, obteve-se a quantidade de \u00e1gua evaporada para os respectivos intervalos de umidade.

Para a determinação dos tempos de secagem nos intervalos de umidade de madeira verde até 30%, 12% e ainda de 30% a 12% elaborou-se um programa de computador.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise dos resultados das determinações das propriedades anatômicas, químicas, físicas, mecânicas e da taxa de secagem de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* foram calculados a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o intervalo de confiança. As análises de variância efetuadas seguiram o esquema da Tabela 6.

TABELA 6. MODELO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA UTILIZADO PARA A DETERMINAÇÃO DO EFEITO DA ALTURA E POSIÇÃO: ALTURA PARA AS PROPRIEDADES DA MADEIRA

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADOS MÉDIOS	F
ALTURA (A)	3	QM(A)	QM(A)/QM(PA)
POSIÇÃO:ALTURA (PA)	14	QM(PA)	QM(PA)/QM(R)
RESÍDUO (R)	72	QM(R)	
TOTAL	89		

Para a comparação de médias, do efeito altura, foi aplicado o teste de SCHEFFÉ (1959), ao nível de significância de 5%. A aplicação deste teste justificou-se porque as repetições de cada tratamento variaram de acordo com as posições amostradas. No tratamento posição dentro de altura, foi aplicado o teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Além dos testes mencionados, foram analisados os modelos da análise de regressão para as propriedades estudadas nas diferentes alturas e posições e as possíveis relações entre essas propriedades. Os modelos de equações de regressão utilizados para ajuste de curvas, para as relações entre as propriedades anatômicas, físicas, químicas, mecânicas e taxa de secagem da madeira foram:

- a) modelo linear ($y = a + bx$)
- b) modelo exponencial ($y = \exp[a + bx]$)
- c) modelo multiplicativo ($y = ax^b$) d) modelo polinomial de 2º grau ($y = a + b_1x + b_2x^2$).

Ajustaram-se modelos de regressão linear múltipla, através do procedimento denominado Passo a Passo (STEPWISE) que testa uma série de variáveis independentes simples, combinadas, transformadas, etc., como o raio, idade, altura relativa simples ou logaritmizada.

As propriedades anatômicas, físicas, químicas, mecânicas e taxa de secagem foram as variáveis dependentes. Os valores das idades, raios e alturas de amostragem e suas transformações quadrática, inversa e logarítmica natural foram as variáveis independentes dos modelos.

O modelo geral máximo resultou em todos os casos:

$$y = f(x_1 + x_2 + x_3 \dots \dots \dots x_{12})$$

onde:

$y =$ propriedade

$x_1 = r$	$x_2 = r^2$	$x_3 = 1/r$	$x_4 = \ln r$
$x_5 = i$	$x_6 = i^2$	$x_7 = 1/i$	$x_8 = \ln i$
$x_9 = hr$	$x_{10} = hr^2$	$x_{11} = 1/hr$	$x_{12} = \ln hr$

sendo:

$r =$ raio (cm)

$i =$ idade (anos)

$hr =$ altura relativa $[(h * 100)/hc]$ (%)

Também foi testado o seguinte modelo

$y = f(x_1 + x_2 + x_3 + x_4)$

onde:

$y =$ propriedade

$x_1 =$ raio (r) (cm)

$x_2 =$ idade (i) (anos)

$x_3 =$ altura relativa (hr) (%)

$x_4 =$ número de anéis por polegada (na)

A vantagem desta seleção é mostrar o modelo com o menor número de variáveis independentes, que são relacionados com as variáveis dependentes.

O objetivo final de testar vários modelos de regressão é obter um modelo que apresente condições de explicar as propriedades estudadas, com pequena possibilidade de erro. Na seleção de modelos gerados pelo procedimento passo a passo, utilizaram-se os coeficientes de determinação (R^2) e valores de F como critério de seleção.

Para os modelos selecionados foram determinadas as estatísticas de ajuste e representaram-se graficamente os resíduos com o objetivo de verificar a tendência dos dados.

Para a geração dos modelos de regressão e testes estatísticos, foram utilizados programas disponíveis no CNPF Florestas- EMBRAPA.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 FORMA DE APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Para melhor visualização dos resultados representou-se esquematicamente tronco de uma árvore. Os valores da base da árvore representam a idade e os valores da base de cada tora, correspondentes a 5, 25, 50 e 75% da altura comercial representam as médias das variações dos parâmetros estudados nas 10 arvores de cada espécie: propriedades anatômicas, físicas, químicas e mecânicas, em relação às posições. Para a determinação dos intervalos significativos, das variações das propriedades estudadas, em relação à posição no diâmetro, foi aplicado o teste de TUKEY, que indicou os limites destes intervalos que foram os usados nas Figuras 11, 15, 18, 20, 22, 24, 28, 31 e 33.

Os dados estatísticos e as análises de variância para cada espécie são apresentados nos Anexos 1 e 2.

São apresentados também modelos de regressão linear múltipla para estimar as características da madeira em função do raio, idade, altura relativa e suas transformações quadrática, inversa e logarítmica como variáveis independentes. Os ajustes das equações foram avaliados pelos coeficientes de determinação (R^2), o erro padrão da estimativa (sxy), o erro padrão da estimativa relativo à média estimada (sxy%), o valor

de F da análise de variância e a tendenciosidade de seus resíduos. A significância de cada uma das variáveis foi determinada pelo teste de t. Foi escolhida, como melhor modelo, aquela que apresentou menor índice de FURNIVAL (1961).

As análises de variância para detectar diferenças entre espécies não foi significativa a 5 % de probabilidade.

4.2 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS

4.2.1 Descrição das Características Microscópicas da Madeira

4.2.1.1 *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm.

Anéis de Crescimento: Distintos. Transição do lenho inicial para tardio brusca. Alguns anéis estreitos alternando com anéis mais largos.

Traqueóides axiais: De seção poligonal no lenho inicial, sem meatos intercelulares. No lenho tardio de paredes mais espessas, de seção retangular e com diâmetro radial menor. Comprimento dos traqueóides variando de 745,85 - 3702,32 - 5985,99 μm , diâmetros externos de 35 - 45,78 - 75 μm e diâmetros do lume de 25 - 29,82 - 60 μm , paredes de 4,5 - 7,95 - 13 μm de espessura.

Pontoações areoladas do lenho inicial, com média de 29,2 μm de diâmetro tangencial e com aberturas arredondadas de 5,5 μm de diâmetro; dispostos em fileiras principalmente unisseriadas, apresentando-se às vezes de forma oposta e alterna. No lenho tardio, as pontoações são mais escassas e menores, com 6 - 2,5 - 18 μm de diâmetro e abertura em forma

lenticular de 2,5 - 5 - 7,5 μm . Crássulas presentes.

Raios: unisseriados e fusiformes. Tecido radial heterocelular, constituído por dois tipos de células: de parênquima e traqueóides radiais marginais. Raios unisseriados predominantes, às vezes localmente bisseriados, com uma ou mais fileiras de traqueóides radiais marginais e intercalares e com abundantes indenturas, com forma pontiaguda, assemelhando-se a espessamentos espiralados. Traqueóides radiais providos de pares de pontoações areoladas, com diâmetro médio de 12,20 μm . Frequência de 2-5-9 raios por mm, de 40-141-330 μm de altura e 1 a 14 células (de altura). Células radiais de seção oval em plano tangencial, sem meatos no contato com traqueóides axiais. Campo de cruzamento com 1 a 6 pontoações do tipo pinóide. Raios fusiformes com canais resiníferos radiais (Figura 7), muito mais largos que os raios unisseriados, com média de 50 μm de diâmetro, 3 a 5 células de largura, 170-237,5-350 μm de altura e de 12 a 18 células de altura.

Canais resiníferos: axiais e radiais, de origem esquizógena. Canais axiais de 0,3-1,5-5,8 por mm^2 , envolvidos por uma camada de células epiteliais de paredes finas, mais frequentes próximo à medula.

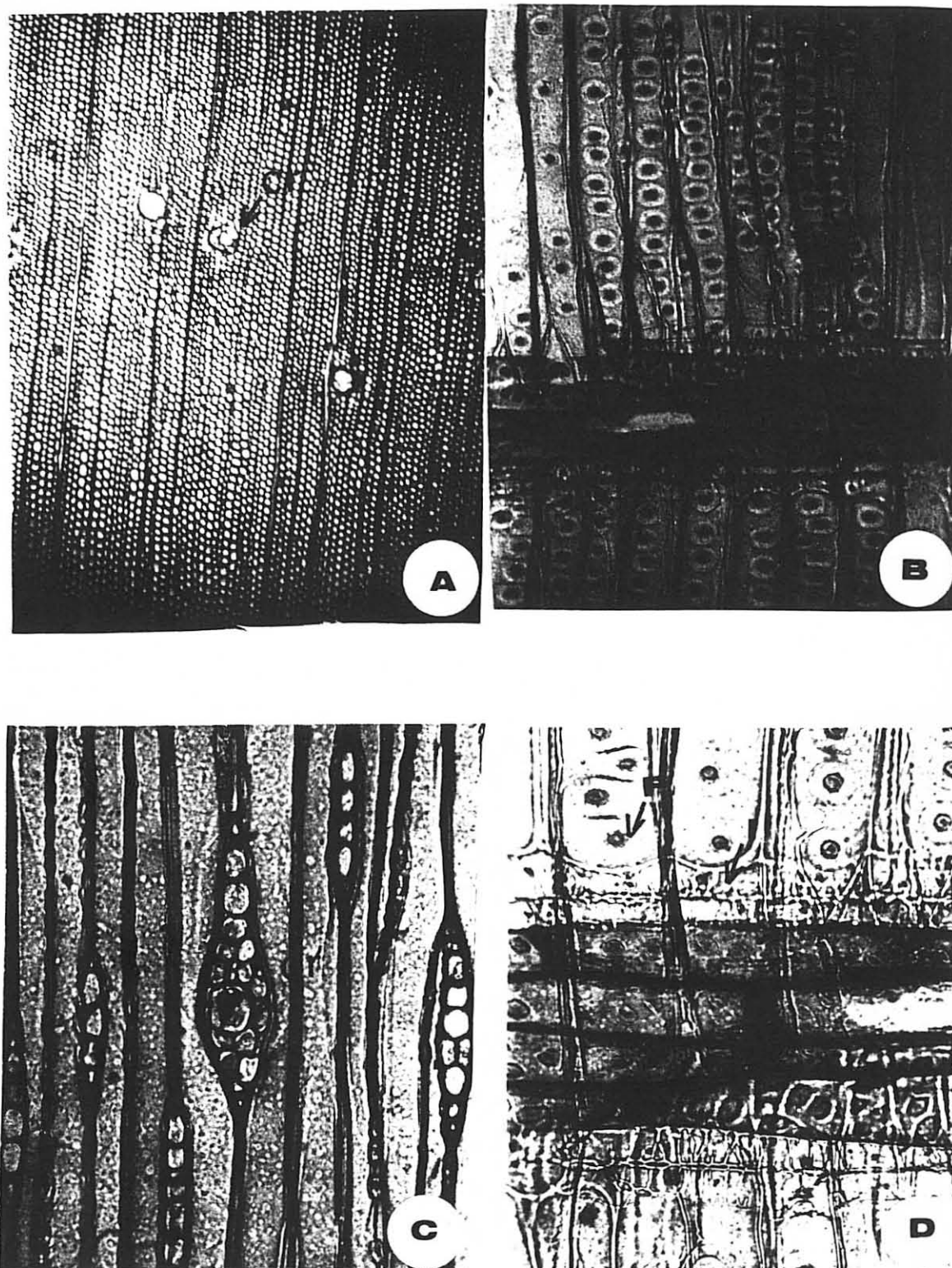


FIGURA 7 - FOTOMICROGRAFIAS DE CORTES HISTOLÓGICOS DE *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm.

A. SEÇÃO TRANSVERSAL COM CANAL RESINÍFERO (seta)-50X; B. SEÇÃO RADIAL- 50X; C. SEÇÃO TANGENCIAL, 50X MOSTRANDO CANAL RESINÍFERO; D SEÇÃO RADIAL, DETALHES MOSTRANDO OS TRAQUEÓIDES RADIAIS COM IDENTURAS (seta) E PONTOAÇÕES AREOALDAS.

4.2.1.2 *Pinus taeda* L.

Anéis de crescimento: Distintos . Transição de lenho inicial para tardio brusca. Alguns anéis estreitos alternando com anéis mais largos.

Traqueiídes axiais: No lenho inicial, de seção poligonal sem meatos intercelulares e com parede finas. No lenho tardio, de paredes mais espessas, seção retangular, com diâmetro radial menor; de 959,99 - 3742,04 - 6675,74 μm de comprimento, de 32,5 - 47,99 - 72,5 μm de diâmetro externo e de 15 - 31,53 - 60,03 μm de diâmetro de lume; paredes de 5,0 - 8,27 - 13,6 μm de espessura.

Pontoações areoladas do lenho inicial com média de 30,5 μm de diâmetro, com aberturas arredondadas de 6,5 μm de diâmetro médio, em fileiras principalmente unisseriadas, apresentando-se às vezes de forma opostas a alternas. Pontoações areoladas do lenho tardio mais escassas, com diâmetro menor, média de 15,3 μm e abertura de 2,5 - 5 - 8 μm , com forma lenticular, de 5,5 μm de diâmetro. Crássulas presentes.

Raios: unisseriados predominante, às vezes localmente bisseriados e fusiformes. Tecido radial heterocelular, de células procumbentes, com uma ou mais fileiras de traqueídes radial marginais e intercalares. Raios unisseriados com 3 - 6 - 9 raios por mm, 50 - 173-350 μm de altura e 1 a 14 células de altura. Traqueídes radiais com idênturas. Campo de cruzamento com 1 a 6 pontoações pinóides. Raios fusiformes com 51 μm de largura e 120 -254,28- 300 μm de altura.

Canais resiníferos: axiais e radiais, de origem esquizógena. Canais axiais de 0,2 -1,09- 4,7 por mm^2 , com uma ou mais camadas de células epiteliais finas, menos frequentes máximo perto à casca.

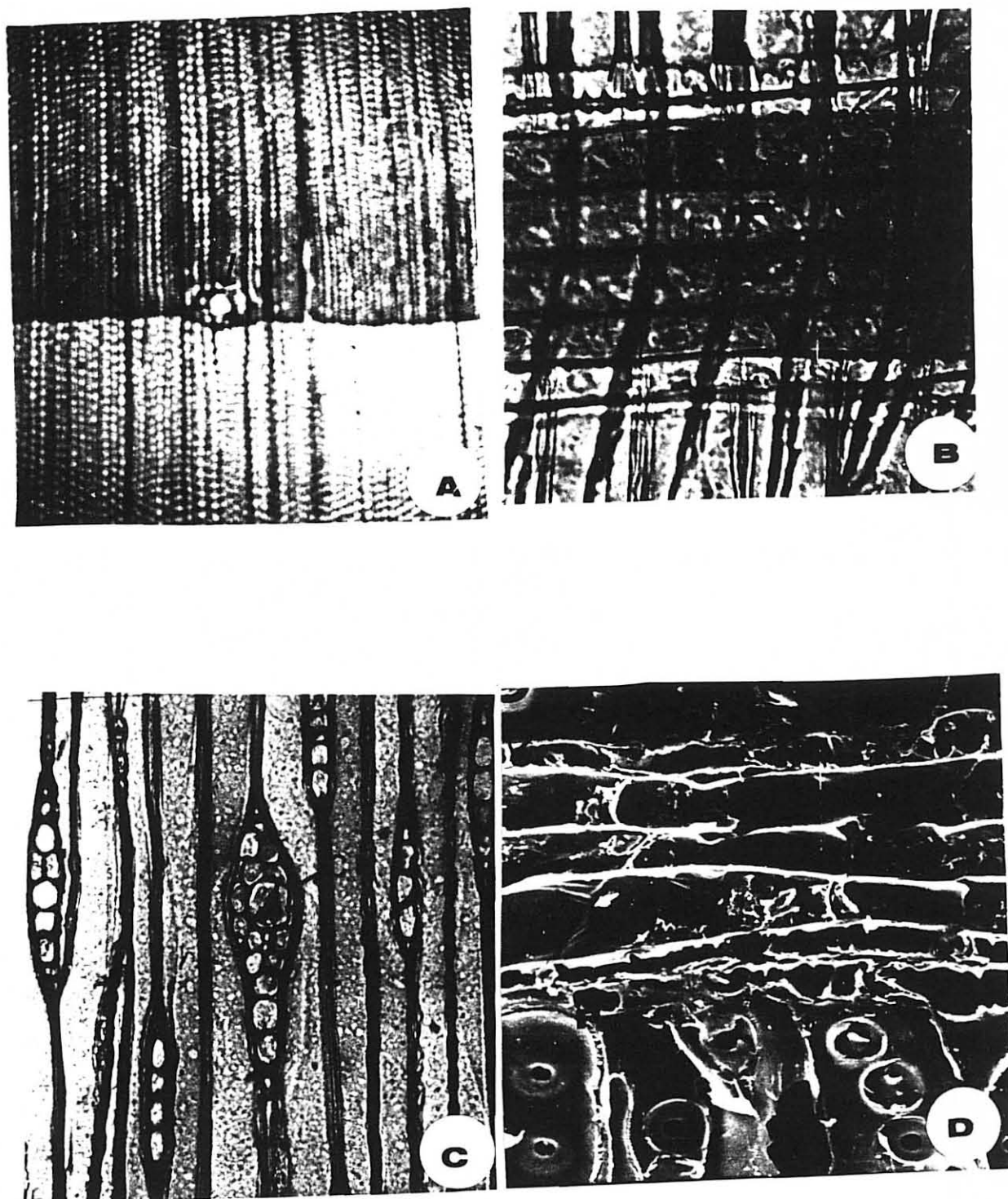


FIGURA 8 - FOTOMICROGRAFIAS (A,B,C) DE CORTES HISTOLÓGICOS E FOTO OBTIDA NO MEV (D) DE *Pinus taeda*. L.
 A. SEÇÃO TRANSVERSAL - 50X COM CANAL RESINÍFERO (seta); B. SEÇÃO RADIAL- 50X; C. SEÇÃO TANGENCIAL, 125X MOSTRANDO CANAL RESINÍFERO; D SEÇÃO RADIAL, DETALHES MOSTRANDO OS TRAQUEÓIDES RADIAIS COM ESPESAMENTO EM IDENTURAS (seta) E PONTOAÇÕES AREOALDAS.(400 X)

4.2.2 Características Morfológicas dos Traqueóides axiais

4.2.2.1 Comprimento dos traqueóides axiais

Na Figura 9 são apresentadas curvas com as tendências típicas para as duas espécies de *Pinus* estudadas, considerando-se o comprimento médio dos traqueóides axiais nas diferentes alturas e posições na árvore.

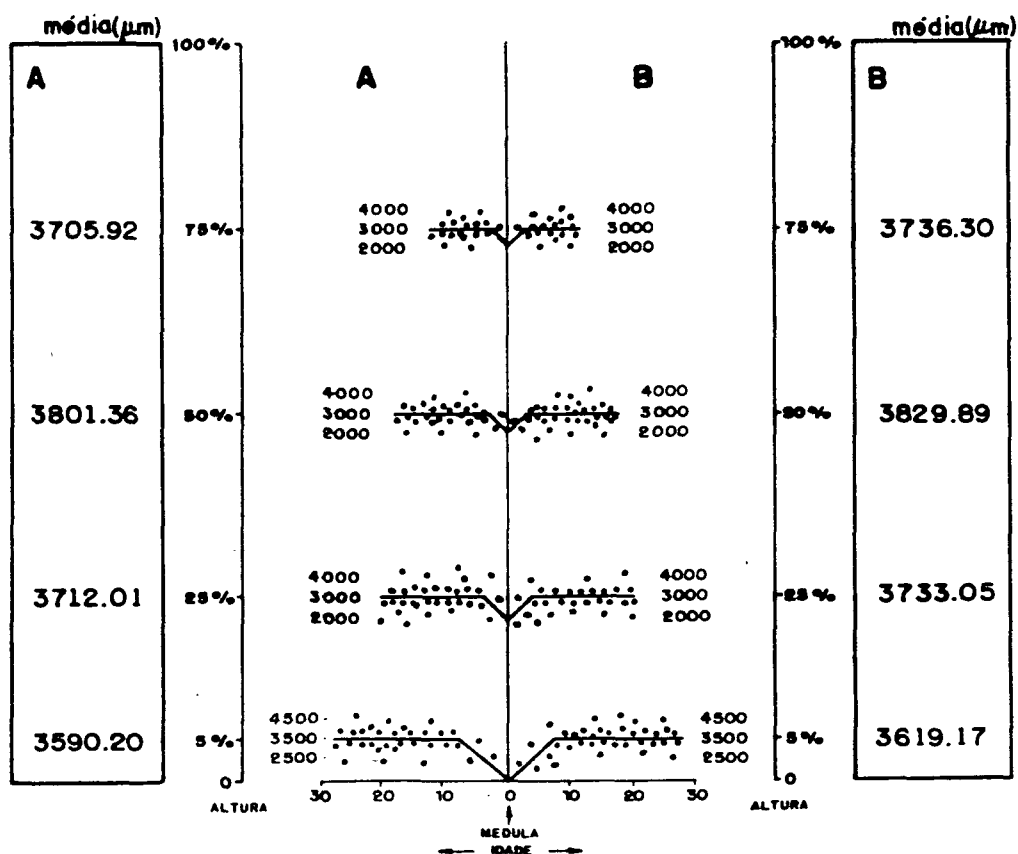


FIGURA 9 - VARIACÃO DO COMPRIMENTO MÉDIO DOS TRAQUEÓIDES NAS DIFERENTES ALTURAS E POSIOES NA ÁRVORE PARA *Pinus elliottii* (A) E *Pinus taeda* (B).

Os comprimentos dos traqueóides mostram um aumento acentuado e praticamente linear até o 50 ou 60 anel de crescimento, características típicas de formação de madeira juvenil, segundo ZOBEL et al (1959) e ZOBEL (1976). A partir do 70 anel o aumento do comprimento é menos acentuado, tendendo para um valor mais ou menos constante.

Observa-se uma tendência bem definida para as duas espécies: o comprimento aumenta com o aumento da altura na árvore até um determinado ponto, a partir do qual diminui. O ponto de máximo comprimento parece estar localizado aproximadamente no meio da altura comercial. Verifica-se que o incremento, aparentemente significativo, ocorre até 50% da altura comercial, para ambas espécies, como pode ser observado na Figura 10.

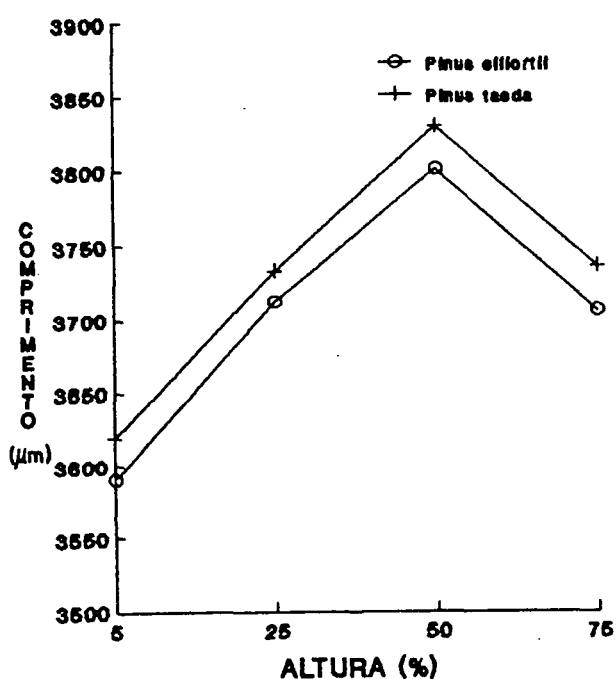


FIGURA 10 - VARIAÇÃO DO COMPRIMENTO DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS NAS DIVERSAS ALTURAS DO TRONCO PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

Observações similares foram feitas por DINWOODIE (1961), NICHOLLS & DADSWELL (1962), TOMASELLI (1979) e MENDONÇA (1982).

A tendência geral observada para as duas espécies de *Pinus* estudadas, é um aumento no comprimento dos traqueóides, da medula para a periferia, principalmente do 1º ao 10º anel, havendo uma redução gradativa no aumento para os anéis subsequentes. Essa estabilização a partir de um determinado ponto já era esperada, estando em concordância com o padrão estabelecido por SANIO (1872), em seu experimento clássico, confirmado por vários pesquisadores (DADSWELL, 1957; BURLEY, 1969; NICHOLLS, 1971 e BENDTSEN & SENFT, 1986). Na Figura 11 é apresentada a distribuição esquemática do comprimento dos traqueóides axiais ao longo do fuste e a diferentes posições para ambas espécies estudadas.

Para comparar estatisticamente os valores de comprimento dos traqueóides nas diversas alturas e posições dentro das alturas foram feitas análises de variância (Anexo, A2- 1 e A2 - 2). A comparação não apresentou diferença significativa com respeito a altura sendo, entretanto, significativa a 1% de probabilidade com respeito às posições dos traqueóides, na direção casca-medula, dentro de uma determinada altura.

A variação no comprimento dos traqueóides está associada com o diâmetro e a altura da árvore e resulta da diferença entre lenho juvenil, encontrado nos primeiros 10 anéis a partir da medula, e o lenho adulto.

Pelos dados dos comprimentos médios dos traqueóides dos lenhos juvenil e adulto para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*,

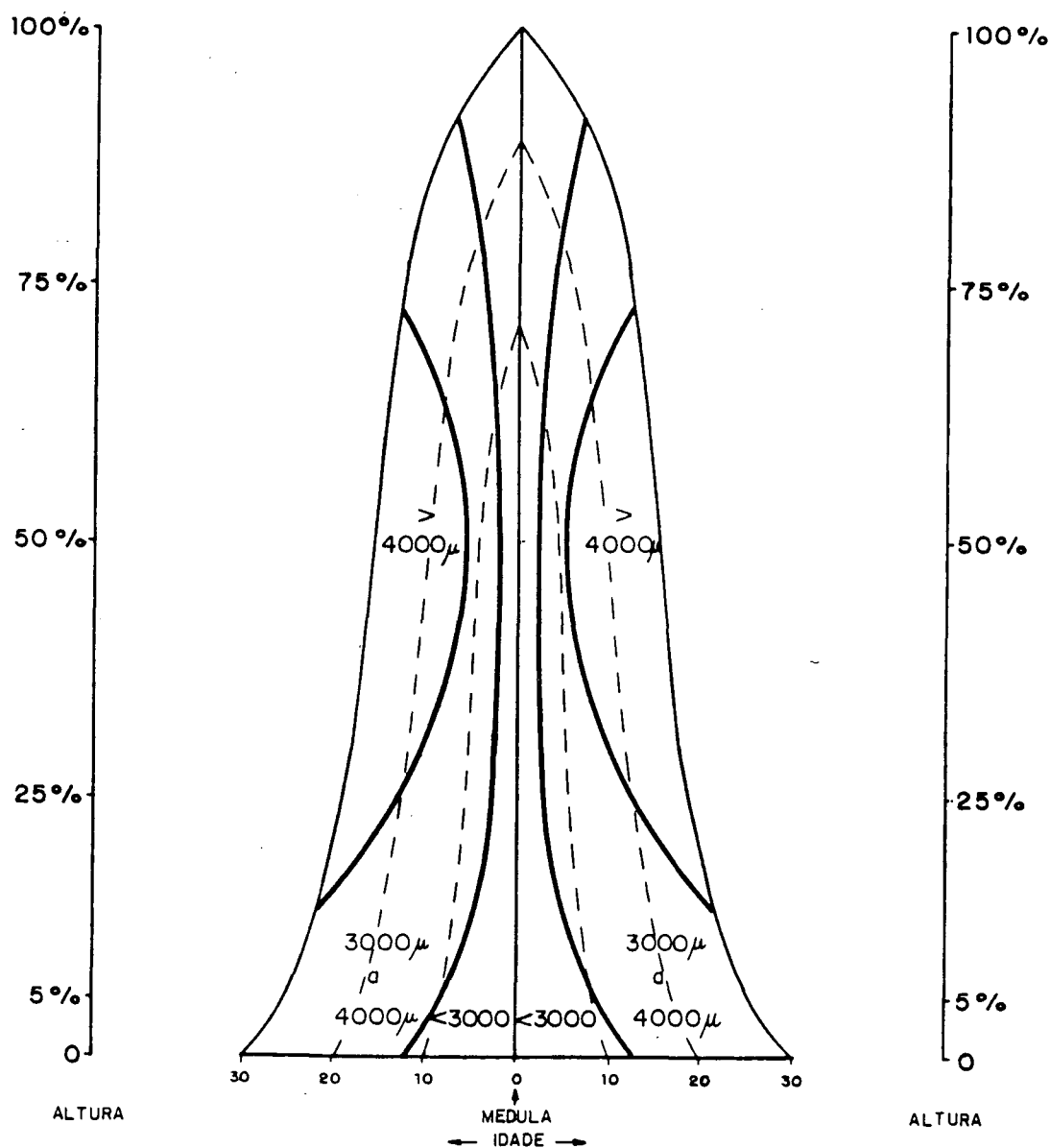


FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DO COMPRIMENTO DOS TRAQUEÓIDES (EM μm), AO LONGO DO FUSTE E A DIFERENTES POSIÇÕES, PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*.

apresentados na Tabela 7, observa-se uma diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade para os lenhos juvenil e adulto. Comparando-se as médias obtidas para as duas espécies, verifica-se que os traqueóides de *Pinus elliottii* apresentam, em média, 39,67 μm mais curtos que os de *Pinus taeda*, nas posições medidas, embora essa diferença não tenha sido significativa estatisticamente.

TABELA 7 - MÉDIAS DOS COMPRIMENTOS DOS TRAQUEÓIDES (EM μm) DO LENHO JUVENIL E ADULTO DE *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*

	<i>Pinus elliottii</i>		<i>Pinus taeda</i>	
	MÉDIA	F	MÉDIA	F
LENHO JUVENIL	3402,88	254,46 **	3415,87	247,15 **
LENHO ADULTO	4001,86		4002,26	
MÉDIA TOTAL	3702,37 ^{ns}		3742,04 ^{ns}	
DESVIO PADRÃO	86,57		86,23	

^{ns} não significativo

** significativo a 1% de probabilidade

Os resultados, no tocante ao padrão para espécies do gênero *Pinus*, concordam com vários pesquisadores (BURLEY, 1969; NICHOLLS, 1971 e BENDTSEN & SENFT, 1986). Esses autores afirmam que a taxa de incremento no comprimento dos traqueóides é bastante rápida até os primeiros 10-15 anéis, diminuindo gradativamente nos anéis subsequentes. Valores médios apresentados na literatura para espécies do gênero *Pinus*, mostram incrementos no comprimento dos traqueóides que variam de 1,2 - 2,5 mm a 3,5 - 4,2 mm, do 1º ao 10º anel de crescimento (COWN, 1975 e BISSET et al., 1951), concordando com os observados neste estudo. Os valores médios dos comprimentos dos traqueóides axiais verificados neste trabalho, comparados com os estudos conduzidos por MENDONÇA (1982), TOMASELLI (1979) e MORESCHI (1975) são maiores, devido provavelmente ao fato das árvores aqui estudadas serem de maior idade (30 anos).

4.2.2.2 Diâmetro dos Traqueóides e Espessura das Paredes

O diâmetro externo, interno e espessura das paredes dos traqueóides foram medidos para todas aquelas amostras em que foi tomado o comprimento. Na Tabela 8 são apresentados seus resultados médios, obtidos para as diferentes alturas e para os lenhos juvenil e adulto das 10 árvores das duas espécies.

Como pode ser observado, praticamente não há diferenças entre as duas espécies a 5% de probabilidade, havendo um leve aumento em *Pinus taeda*. Existe diferença significativa a 1 % de probabilidade para os lenhos juvenil e adulto de ambas espécies.

Por outro lado, a tendência parece indicar que o diâmetro dos traqueóides, com respeito à altura na árvore, apresenta um acréscimo até aproximadamente metade da altura da árvore, a partir de onde decresce rapidamente. Para uma melhor visualização, esta variação do diâmetro externo dos traqueóides axiais, com respeito à altura na árvore, é mostrada na Figura 12.

Ao se avaliar a variação no diâmetro externo dos traqueóides verificou-se um aumento com a idade e que é mais acentuado no lenho juvenil. Observações similares foram feitas por AHMAD (1970), KOCH (1972), TOMASELLI (1979) e MENDONÇA (1982). Trabalhando com folhosas, autores como SAUCIER & HAMILTON (1967), também observaram variações semelhantes.

TABELA 8 - MÉDIA DO DIÂMETRO EXTERNO, INTERNO E ESPESSURA DAS PAREDES DOS TRAQUEÓIDES (EM μm) NAS DIFERENTES ALTURAS E NOS LENHOS JUVENIL E ADULTO PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

ESPÉCIE ALTURA/ LENHO	DIÂMETRO EXTERNO (μm)	DIÂMETRO INTERNO (μm)	ESPESSURA DAS PAREDES (μm)
<i>Pinus elliottii</i>			
5% (DAP)	46,96	30,94	8,01
25%	47,82	32,02	7,90
50%	48,05	33,45	7,40
75%	46,28	31,58	7,25
F	0,89 ^{ns}	1,51 ^{ns}	0,56 ^{ns}
MÉDIA	47,27	31,99	7,64
DESVIO PADRÃO	0,81	1,06	0,37
LENHO JUVENIL(J)	44,77 (41,98 a 48,35)	31,69 (28,98 a 36,11)	6,54 (5,61 A 7,48)
LENHO ADULTO(A)	49,78 (44,64 a 54,05)	32,29 (27,03 a 38,60)	8,74 (7,78 a 10,04)
F (J:A)	225,4**	56,04**	234,21**
<i>Pinus taeda</i>			
5% (DAP)	47,96	30,84	8,56
25%	48,01	32,09	8,11
50%	49,13	33,65	7,74
75%	47,76	32,08	7,48
F	0,69 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,46 ^{ns}
MÉDIA	48,21	32,67	7,97
DESVIO PADRÃO	0,62	1,15	0,46
LENHO JUVENIL(J)	45,20 (43,12 a 48,80)	31,73 (28,60 a 36,43)	6,63 (5,69 a 7,60)
LENHO ADULTO(A)	51,23 (44,20 a 54,11)	32,44 (27,10 a 38,80)	9,40 (7,44 a 11,02)
F (J:A)	226,45**	58,35**	256,21**

** significativo ao nível de 1 % probabilidade.
^{ns} não significativo

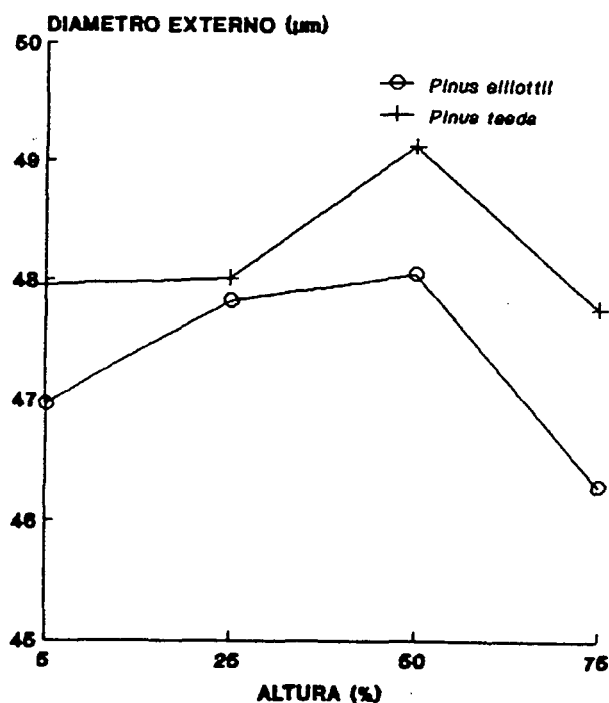


FIGURA 12 - VARIAÇÃO DO DIÂMETRO EXTERNO DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS NAS DIVERSAS ALTURAS DO TRONCO PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

O diâmetro interno ou diâmetro do lume dos traqueóides nas diversas alturas, também neste caso, aparentemente, apresenta uma tendência de aumento à medida que se dirige ao meio da altura comercial, a partir da qual há uma pequena redução (Tabela 8), que pode ser observada na Figura 13.

O diâmetro médio do lume apresenta um pequeno aumento nos traqueóides formados em anéis sucessivamente mais afastados da medula, constatando-se a inexistência de um modelo definido de variação no sentido medula - casca. Na mesma Tabela são mostrados os diâmetros internos dos traqueóides nos lenhos juvenil e adulto, observando-se diferença significativa entre eles para ambas as espécies.

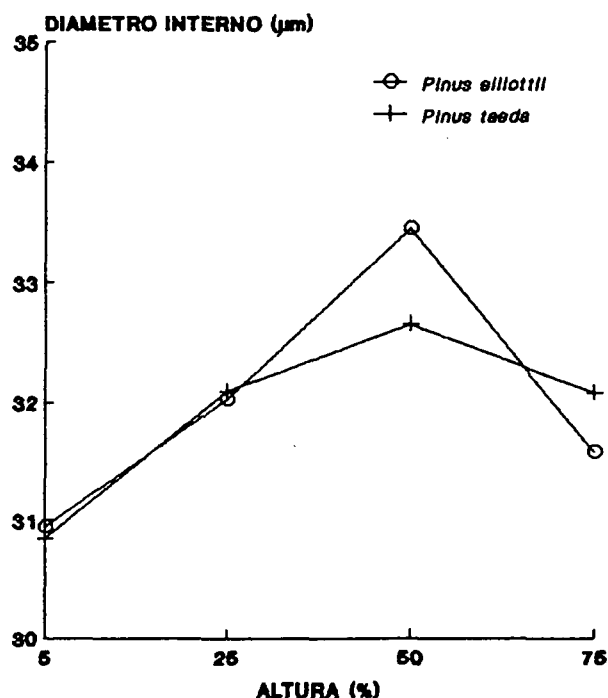


FIGURA 13 - VARIAÇÃO DO DIÂMETRO INTERNO DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS NAS DIVERSAS ALTURAS DO TRONCO PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

A espessura das paredes dos traqueóides apresenta a tendência de decrescer à medida que aumenta a altura na árvore (Figura 14) e de aumentar na direção do câmbio. Isto seria o esperado, uma vez que a massa específica diminui da base para o topo da árvore e aumenta na direção medula - casca, estando a espessura das paredes dos traqueóides diretamente correlacionada com esta variável. Isto concorda com as tendências observadas para coníferas, por COWN (1975); TOMASELLI (1979); MENDONÇA (1982), BAMBER & BURLEY (1983), entre outros.

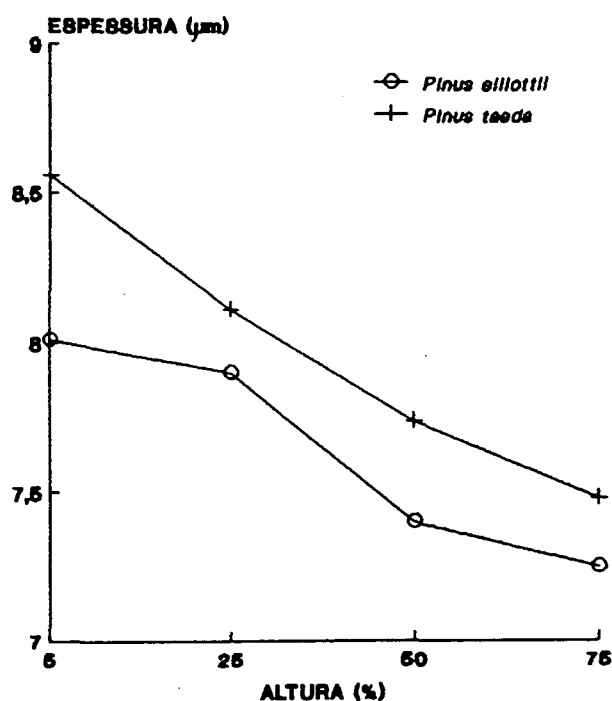


FIGURA 14 - VARIAÇÃO DA ESPESSURA DAS PAREDES DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS NAS DIVERSAS ALTURAS DO TRONCO PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

Também pode ser observado que todas as variáveis relacionadas às características morfológicas dos traqueóides mostraram diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade para o lenho juvenil e o adulto, sendo que estes se mostram semelhantes nas duas espécies.

Para comparar estatisticamente os valores das características morfológicas dos traqueóides, nas diversas alturas e posições dentro das alturas, foi feita uma análise de variância. A comparação não apresentou diferença significativa com respeito à altura, sendo significativa a 1% de

probabilidade com respeito às posições dentro de alturas, como pode ser observado nos Anexos (A2-1 e A2-2).

Os valores médios para as características morfológicas dos traqueóides das duas espécies estão, de maneira geral, em concordância com os valores apresentados para as mesmas espécies do gênero *Pinus* por vários pesquisadores, citados por KOCH (1972) e também entre outros por TOMASELLI (1979).

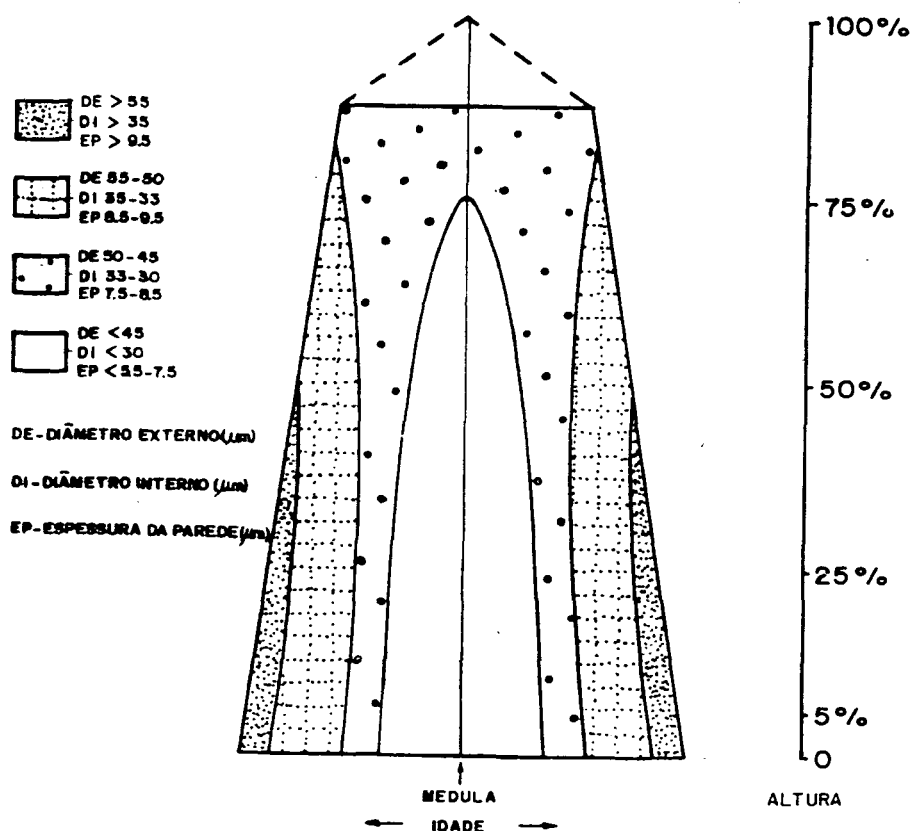


FIGURA 15 - DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DOS VALORES DE DIÂMETRO EXTERNO, INTERNO E ESPESSURA DAS PAREDES DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS PARA *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*

4.2.2.3 Modelos para Estimar as Características Morfológicas dos Traqueóides Axiais.

Na Tabela 9 são apresentados os modelos de regressão linear múltipla para estimar as características morfológicas dos traqueóides axiais para ambas as espécies. Todos os modelos apresentados nesta Tabela apresentam valores de F significativos a 1% de probabilidade. Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) dos modelos para estimar as características morfológicas dos traqueóides são altos, acima de 0,90, com exceção dos modelos obtidos para o diâmetro interno; neste caso os valores são mais baixos (0,40 a 0,75) devido provavelmente à menor variação no sentido radial, como se pode observar na análise de variância dos anexos 1 e 2. O valor do F, com respeito à relação posição: altura foi de 10,43 para *P.elliottii* e 8,79 para *P.taeda*. São valores relativamente baixos, se comparados com o diâmetro externo onde o F foi de 89,04 e 71,97 respectivamente.

Quando as variáveis dependentes foram estimadas com respeito à altura relativa na árvore, em todos os casos o coeficiente de determinação (R^2) e o F muito baixos, não sendo significativos, coincidindo com as análises de variância (Anexos A2-1 e A2-2, p.204), onde os valores de F não foram significativos.

Considerando-se que todas as variáveis independentes são de fácil obtenção, não existe nenhum limite para otimizar a quantidade destas variáveis nas estimativas das características

TABELA 9 - MODELOS PARA ESTIMAR AS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS, PARA *Pinus elliotii* E *Pinus taeda*.

ESPÉCIE	CARACTERÍSTICA MORFOLÓGICA	MODELO E COEFICIENTES	R ²	F (1%)
<i>P. elliotii</i>	COMPRIMENTO	$Y = 2853,687 + 50,71.R$	0,72	223,46**
		$Y = 2923,3 + 41,72.I$	0,67	179,97**
		$Y = 2859,8 + 58,78.R + 3,23.HR$	0,84	230,29**
		$Y = 2865,68 + 263,11.NA$	0,82	203,99**
		$Y = 3935,01 - 1442,11_2 (1/R) + 0,87.I^2 - 1778,167.(1/HR)$	0,96	720,78**
		* $Y = 2849,71 + 0,409.R^2 + 393,58.ln(R) - 1766,25.(1/HR)$	0,97	972,01**
	DIÂMETRO EXTERNO	$Y = 39,56 + 0,65.R$	0,88	654,69**
		$Y = 40,31 + 0,55.I$	0,87	586,55**
		$Y = 38,58 + 0,65.R - 0,0000901.HR$	0,88	323,63**
		* $Y = 38,37 + 0,41.R + 1,76.ln(I)$	0,92	501,87**
	DIÂMETRO INTERNO	$Y = 28,79 + 0,18.R$	0,41	60,71**
		$Y = 28,98 + 0,12.I$	0,40	59,86**
		$Y = 28,68 + 0,135.R - 0,0037.HR$	0,41	30,39**
		* $Y = 57,40 + 0,97.ln(I) + 0,0001.(HR)^2 - 85,71.(1/HR) - 7,94.ln(HR)$	0,75	64,87**
	ESPESSURA DAS PAREDES	$Y = 5,53 + 0,25.R$	0,95	1872,81**
$Y = 5,98 + 0,21.I$		0,92	1035,40**	
* $Y = 5,45 + 0,34.R - 0,0027.HR$		0,96	1040,61**	
$Y = 5,35 + 0,252.R_2 + 0,135.NA$		0,94	1035,40**	
* $Y = 5,14 + 0,004.R^2 - 0,217.I + 1,67.ln(I) + 0,0027.HR$		0,96	645,26**	
<i>P. taeda</i>	COMPRIMENTO	$Y = 2895,53 + 57,19.R$	0,74	253,30**
		$Y = 2981,02 + 46,36.I$	0,67	180,20**
		$Y = 2900,28 + 61,02.R + 3,77.HR$	0,80	172,28**
		* $Y = 2793,08 + 311,75.R - 213.I + 3,015.HR$	0,93	434,12**
		* $Y = 4107,54 - 1921,43.(1/R) + 0,61.I^2 - 1044,36.(1/HR)$	0,97	882,51**
		DIÂMETRO EXTERNO	$Y = 41,08 + 0,72.R$	0,88
	$Y = 41,97 + 0,61.I$		0,86	505,07**
	$Y = 41,11 + 0,72.R - 0,00048.HR$		0,88	321,44**
	* $Y = 40,06 + 1,69.R - 0,833.I$		0,90	374,15**
	* $Y = 38,93 + 0,29.R + 3,18.ln(I)$		0,90	409,88**
	DIÂMETRO INTERNO	$Y = 29,77 + 0,184.R$	0,40	58,91**
		$Y = 30,03 + 0,151.I$	0,39	54,41**
		$Y = 30,28 + 0,168.R - 0,0109.HR$	0,41	29,98**
		* $Y = 29,68 + 0,83.R - 0,57.I - 0,013.HR$	0,54	73,01**
		* $Y = 28,81 - 0,0051.R^2 + 1,96.ln(I) - 0,016.HR$	0,74	59,96**
ESPESSURA DAS PAREDES	$Y = 5,70 + 0,26.R$	0,96	1911,80**	
	$Y = 6,01 + 0,23.I$	0,93	1197,14**	
	$Y = 5,469 + 0,37.R - 0,0048.HR$	0,96	1070,88**	
	* $Y = 5,21 + 0,34.R + 0,145.NA$	0,97	1072,26**	
	* $Y = 5,002 + 0,0136.R^2 - 0,235.I + 1,87.ln(I) + 0,0042.HR$	0,97	696,26**	

R = RAIO (cm); I = IDADE (anos); HR = ALTURA RELATIVA (%); NA (número de anéis por polegada)

** significativo a 1% de probabilidade

* Melhor modelo

morfológicas dos traqueóides axiais, dentro das equações apresentadas na Tabela 9, mesmo quando realizado pouco ganho no ajustamento da equação por ocasião da admissão de uma nova variável.

Os coeficientes de determinação dos modelos para estimar a espessura das paredes dos traqueóides axiais são os mais altos variando de 0,93 a 0,97 para as duas espécies.

Comparando-se os resultados registrados na literatura (FOELKEL, 1973; BARRICHELO, 1979), observa-se que os valores encontrados neste trabalho são de maior magnitude para as características morfológicas dos traqueóides axiais. Algumas explicações podem ser consideradas, destacando-se entre elas: diferentes espécies, diferentes condições ecológicas (clima e solo), diferentes idades dos indivíduos e mesmo diferentes critérios de amostragem e equações diferentes. Frente ao exposto, esse tipo de comparação deve ser encarado com relativa cautela.

4.2.2.4 Canais Resiníferos

Estes ductos são sistemas de canais intercelulares interconectados, longitudinais e transversais, que podem ser de origem normal ou traumáticos.

Os canais resiníferos verticais encontram-se no lenho inicial e tardio principalmente nos primeiros 8 a 12 anéis de crescimento. Em ambas as espécies estes canais se encontram com maior freqüência no lenho tardio. No caso de *Pinus elliottii*, 65 % dos canais resiníferos verticais foram encontrados no lenho tardio.

Os canais resiníferos longitudinais traumáticos são geralmente arranjados em linhas tangenciais; usualmente eles são restritos ao lenho inicial. Os canais traumáticos transversais encontram-se confinados nos raios lenhosos como nos casos dos normais.

Observou-se que o número de canais resiníferos formados por unidade de área é maior no lenho juvenil (em anéis perto da medula) e decresce rapidamente a partir dos 17 anos, mantendo-se depois relativamente constante; a média do diâmetro dos canais resiníferos decresce linearmente com a idade. As médias do tamanho e do número de canais resiníferos aumentam com o incremento da espessura do anel de crescimento, decrescendo em frequência com a altura na árvore, tendo sido alta a variabilidade entre as árvores. Os canais são freqüentemente ocluídos, no cerne, pela formação de tilosóides, estruturas análogas às tiloses dos vasos de folhosas, concordando com as tendências citadas em KOCH (1972), FAHN (1970) e ZAMSKI (1970). Na Figura 16 observam-se, em seção transversal, canais resiníferos axiais e raio fusiforme na seção tangencial.

4.2.3 Porcentagem de Lenho Tardio

Na determinação da porcentagem de lenho tardio observou-se que, nos primeiros anéis de crescimento a contar da medula, o lenho tardio é pouco desenvolvido e freqüentemente é difícil distinguí-lo a olho nu; também há dificuldades em exame sob lupa ou microscópio, porque as células de lenho tardio não apresentam ainda espessamento marcante das paredes. Somente a partir do terceiro anel de crescimento, observou-se o padrão

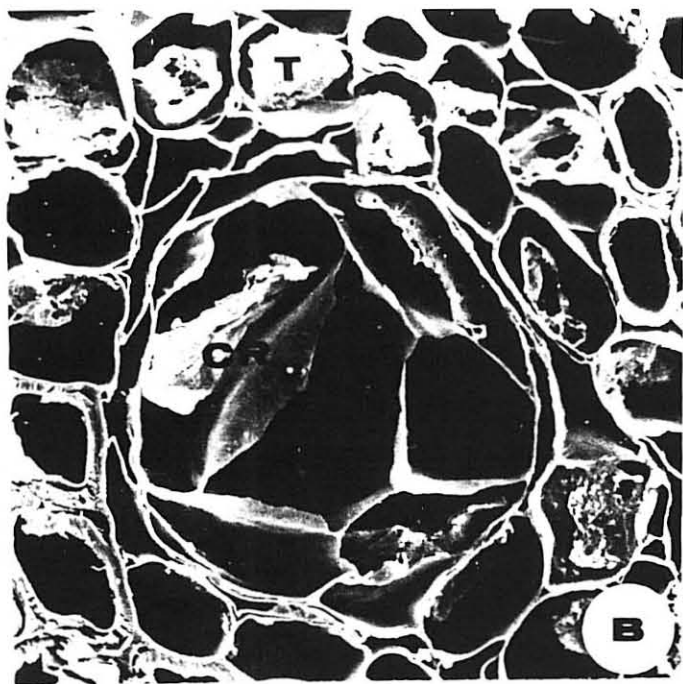
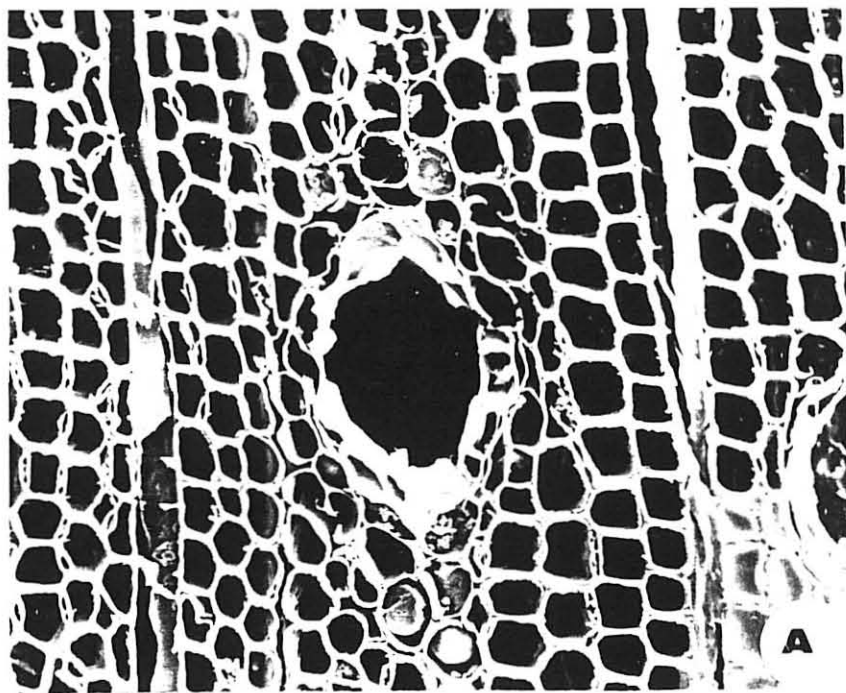


FIGURA 16 - FOTOMICROGRAFIAS DE CORTES HISTÓLOGICOS. A. SEÇÃO TRASVERSAL, CANAL RESINÍFERO AXIAL. MEV 5300 X.; B. SEÇÃO TRASVERSAL, DETALHE DA FOTO ANTERIOR. MEV 7500X; C. SEÇÃO TANGENCIAL, RAIOS FUSIFORME, CANAL RESINEFERO-MEV 3.150 X.

característico de lenho tardio nas duas espécies.

Os resultados médios da porcentagem do lenho tardio para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, obtidos para as diferentes alturas e para o lenho juvenil e adulto, são apresentados na Tabela 10.

TABELA 10 - MÉDIA DA PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO NAS DIFERENTES ALTURAS DA ÁRVORE E NOS LENHOS JUVENIL E ADULTO PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

ALTURAS/ LENHO	<i>Pinus elliottii</i> MÉDIA (%)	<i>Pinus taeda</i> MÉDIA (%)
5% (DAP)	50,78	51,99
25%	43,20	44,33
50%	37,08	38,35
75%	31,10	32,46
MÉDIA	40,54	41,78
DESVIO PADRÃO	5,65	6,34
LENHO JUVENIL (J)	21,31	22,75
LENHO ADULTO (A)	59,78	60,82
F (J:A)	219,3**	222,23**

** significativo a 1% de probabilidade

Como pode-se observar, a porcentagem de lenho tardio varia da base para o topo da árvore, ou seja, diminui à medida que aumenta a altura da árvore. Para uma melhor visualização, essa variação, com respeito à altura no tronco, em ambas as espécies, é apresentada na Figura 17. Os resultados médios

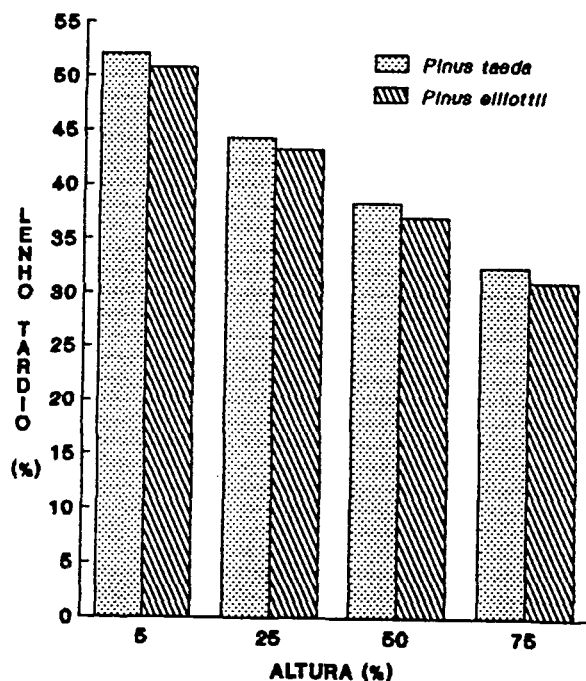


FIGURA 17 - VARIAÇÃO DA PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO NAS DIVERSAS ALTURAS ESTUDADAS PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

obtidos nas determinações da porcentagem de lenho tardio, na direção medula-casca apresentaram o comportamento esperado para árvores de rápido crescimento de espécies do gênero *Pinus*, nas quais os primeiros anéis, a partir da medula, são bastante largos e a faixa de lenho tardio estreita. À medida que se situa mais próximo da casca aumenta de maneira significativa a porcentagem de lenho tardio. É interessante observar que o aumento na porcentagem de lenho tardio é acentuado na base da árvore, devido esta parte representar a maior porcentagem em termos de volume dentro da árvore. Estas variações são mostradas esquematicamente na Figura 18, tendo sido usada a média para as respectivas espécies.

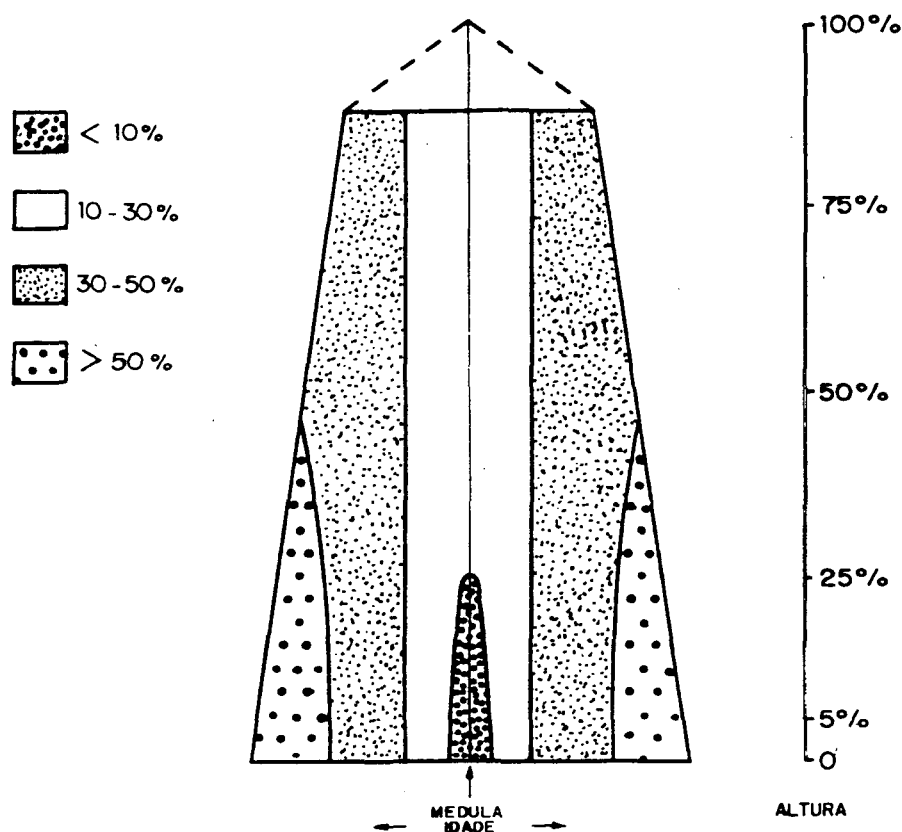


FIGURA 18 - DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DA PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO AO LONGO DO FUSTE E A DIFERENTES POSIÇÕES, PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

As análises estatísticas confirmam, ao nível de 1% de probabilidade, que existem diferenças significativas entre as posições dentro das alturas (Anexo A2-3, p. 204).

Observa-se que a tendência da variação na porcentagem de lenho tardio é similar à detectada por outros pesquisadores (LENHARDT et al., 1977 e MENDONÇA, 1982).

Segundo BROWN et al. (1952), o aumento da massa específica com a maior proporção de lenho tardio acontece por esta conter maior quantidade de material lenhoso por unidade de volume do que o lenho inicial. Observações semelhantes são descritas por BAMBER & BURLEY (1983) para *Pinus radiata*.

4.2.4 Modelos para Estimar a Porcentagem do Lenho Tardio

Os modelos de regressão linear múltipla para estimar a porcentagem do lenho tardio para ambas espécies são apresentados na Tabela 11. Todos os modelos apresentados nesta Tabela apresentam valores de F altamente significativos, ($p < 0,001$). Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) dos modelos para estimar a porcentagem de lenho tardio são altos, de 0,88 a 0,97, com exceção da altura relativa que, em ambas espécies não foi significativa. Isto era esperado uma vez que na análise de variância (Anexo A2-3, p. 204), com respeito a altura na árvore, também não foi significativa, sendo altamente significativo a 1% de probabilidade com respeito à relação posição:altura.

O melhor modelo para estimar a porcentagem de lenho tardio foi obtido para *Pinus elliottii* e para *Pinus taeda* com um coeficiente de determinação de 0,97, coincidindo com os obtidos para espessura da parede dos traqueóides axiais (Tabela 9) já que eles estão diretamente relacionados. Devido a esse fato, a porcentagem de lenho tardio é, normalmente, considerado um importante índice de qualidade da madeira, segundo BETHUNE (1968) e HAMILTON & MATTHEWS (1965).

Observou-se que em todos os casos estas equações de regressão desenvolvidas, possuíram boa afinidade com a variável dependente, que indiscutivelmente demonstra ser de grande validade para as estimativas da porcentagem de lenho tardio em toda a madeira industrializável produzida em uma determinada posição na árvore.

TABELA 11 - MODELOS PARA ESTIMAR A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO, PARA *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

ESPÉCIE	MODELO E COEFICIENTES	R ²	F (1%)
<i>P.elliotti</i>			
	Y = 9,30 + 2,45.R	0,91	840,27**
	Y = 10,30 + 2,14.I	0,88	673,92**
	Y = 34,89 - 0,0621.HR	0,0026	1,07 ^{ns}
	Y = 1,96 + 2,75.R + 0,163.HR	0,95	732,64**
	Y = -2,49 + 1,82.R + 0,0069.HR + 3,46.MA	0,96	665,42**
	* Y = 57,83 + 6,37.R - 11,185.ln(R) - 0,007.(I ²) + 0,0003.(HR ²) - 171,93.(1/HR) - 14,18.ln(HR)	0,97	363,21**
<i>P. taeda</i>			
	Y = 11,32 + 2,42.R	0,91	837,29**
	Y = 14,61 + 1,99.I	0,88	672,15**
	Y = 36,21 - 0,054.HR	0,0074	0,21 ^{ns}
	Y = 3,04 + 2,69.R + 0,176.HR	0,95	731,15**
	Y = -2,629 + 8,96.R - 5,39.I + 0,0014.HR	0,96	632,93**
	* Y = - 8,06 + 19,12.ln(I) + 0,139.(HR)	0,97	768,06**

Modelo que melhor se ajusta aos dados.

Y = PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO; R = RAIO (cm) I = IDADE (anos) HR = ALTURA RELATIVA (%); MA - Número de anéis por polegada

** significativo a 1 % de probabilidade

ns - não significativo

Comparando-se os resultados registrados na literatura (FOELKEL, 1973; BARRICHELO, 1979; MORESCHI, 1975) observa-se que os coeficientes de correlação são similares aos encontrados neste trabalho.

4.3 ANÁLISES QUÍMICAS DA MADEIRA.

4.3.1 Solubilidade dos Extrativos em Água Quente e Alcool-

Benzeno

Alguns dos materiais solúveis em água são mais ou menos solúveis em solventes orgânicos. Devido a isto foi realizada a

extração em água quente para obtenção de sais inorgânicos, açúcares, polissacarídeos e algumas substâncias fenólicas. O solvente orgânico álcool-benzeno foi usado para se obter resina, ácidos graxos, ésteres, ceras, substâncias insaponificáveis e materiais corantes.

Na Tabela 12 são apresentadas as porcentagens do conteúdo de extrativos nos lenhos juvenil e adulto, resultantes da extração em água quente e em álcool-benzeno das 10 árvores das duas espécies.

TABELA 12 - CONTEÚDO DE EXTRATIVOS (%) SOLÚVEIS EM AGUA QUENTE E ALCÓOL-BENZENO NO LENHO JUVENIL E ADULTO, PARA *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*

ESPÉCIE		ÁGUA QUENTE (%)	ALCOOL-BENZENO (%)
<i>P. elliottii</i>	LENHO JUVENIL	5,01 (1,65 a 11,2)	4,65 (1,22 a 10,5)
	LENHO ADULTO	2,24 (1,07 a 2,65)	2,11 (1,01 a 2,32)
	MÉDIA	3,56	3,38
	DESVIO PADRÃO	0,50	0,48
	F	160,95**	147,50**
<i>P. taeda</i>	LENHO JUVENIL	4,71 (1,54 a 10,97)	4,41 (1,27 a 9,96)
	LENHO ADULTO	2,25 (1,07 a 2,63)	2,22 (1,05 a 2,55)
	MÉDIA	3,48	3,31
	DESVIO PADRÃO	0,48	0,55
	F	157,64**	142,34**

** significativo ao nível de 1 % de probabilidade.

Pode-se ter uma melhor visualização dos resultados na Figura 19, onde são apresentados o modelo de variação dentro da árvore e a média obtida em relação à altura na árvore, pelos extrativos solúveis em água quente e álcool-benzeno de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

Os resultados encontrados para a composição química da madeira, mostram que a madeira de *Pinus elliottii* apresenta maior solubilidade sob diferentes solventes do que a madeira de *Pinus taeda*.

A tendência geral observada é de um acréscimo no conteúdo de extrativos à medida que se aproxima da medula, sendo que os maiores aumentos ocorrem no lenho interno, devido à formação do cerne, onde se acumula maior quantidade de extrativos e também se concentra uma maior quantidade de resina. Observa-se, igualmente, uma tendência bem definida para as duas espécies, quanto a altura na árvore, verificando-se que o conteúdo médio de extrativos diminui com o aumento da altura na árvore. Observando-se internamente, o conteúdo de extrativos do cerne decresce com a altura, tendendo depois a manter-se constante. Na parte externa do lenho esse conteúdo tende a aumentar com a altura. A causa, segundo QUIJADA (1967), poderia estar relacionada com a frequência de nós.

Estes valores são bastante razoáveis para as duas espécies, quando comparados com a literatura consultada (TOMASELLI, 1979; FOELKEL, 1976; ASSUMPÇÃO, 1977, REDKED & GUIMARÃES, 1969).

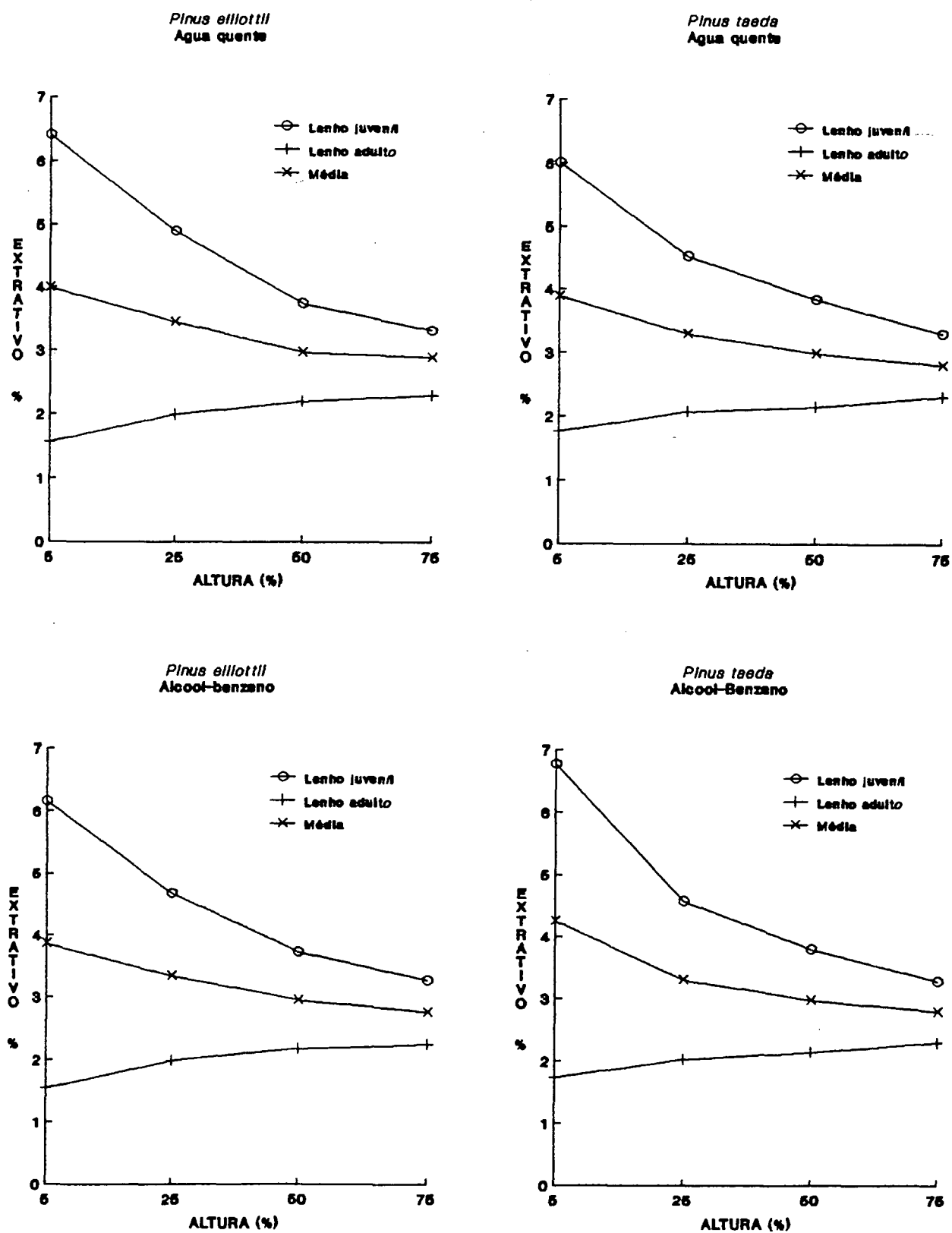


FIGURA 19 - VARIAÇÃO DOS EXTRATIVOS SOLÚVEIS EM ÁGUA QUENTE E ALCOOL- BENZENO AO LONGO DA ALTURA DA ÁRVORE PARA *Pinus elliottii* (A) E *Pinus taeda* (B).

Como pode-se observar, o conteúdo de extrativos varia com a localização na árvore, havendo uma acumulação no cerne devido a maior concentração de canais resiníferos nessa parte do tronco; contudo, no albúrnio aumenta com a altura.

O conteúdo de extrativos decresce no sentido medula-casca; no cerne (anéis de 0-10), 7 % em média; na parte central (10-20 anéis) 2,42 %, e na parte externa (20-30 anéis) 1,89 %. Na Figura 20 é mostrada a distribuição esquemática dos extrativos solúveis em água quente e álcool benzeno ao longo do fuste e a diferentes posições no sentido radial.

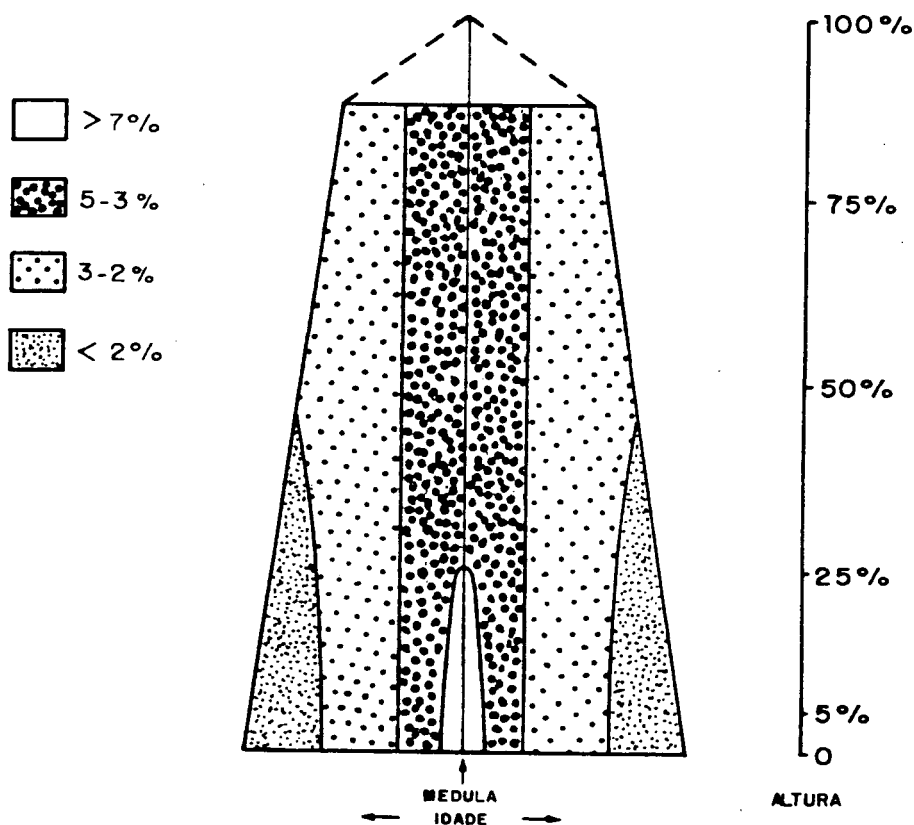


FIGURA 20 - DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DOS EXTRATIVOS (EM %) SOLÚVEIS EM ÁGUA QUENTE E ALCÓOL BENZENO AO LONGO DO TRONCO E A DIFERENTES POSIÇÕES NA ÁRVORE PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

Com referência à variação do conteúdo de extrativos, os resultados encontrados nesta pesquisa podem ser considerados satisfatórios, pois se encontram dentro das faixas de valores normalmente apresentados para madeiras de coníferas.

Para comparar estatisticamente os valores de extrativos solúveis em água quente e álcool-benzeno nas diversas alturas e posições, foram feitas análises de variância que indicaram diferença significativa a 1 % de probabilidade em relação à variação radial (Anexo A2-4, p.205).

4.3.2 Modelos para Estimar os Extrativos da Madeira Solúveis em Água Quente e Alcool-benzeno

Os modelos de regressão linear múltipla para estimar os extrativos solúveis em água quente e álcool-benzeno para ambas as espécies são apresentados na Tabela 13. Todos os modelos apresentam valores de F altamente significativos, ou seja, com apenas 1% de probabilidade de não acontecer o fenômeno (regressão). Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) dos modelos para estimar os extrativos solúveis em água quente e álcool benzeno são altos, de 0,67 a 0,95, com exceção da altura relativa na árvore que, para ambas espécies não foi significativa, coincidindo com a análise de variância (Anexo A2-4) onde o F também não foi significativo em relação a altura.

Observa-se uma relação inversa com respeito ao raio e a idade comprovando-se uma vez mais, como anteriormente discutido, que as maiores concentrações de extrativos solúveis em água quente e álcool-benzeno encontram-se no cerne, diminuindo no sentido da casca.

TABELA 13- MODELOS DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA PARA ESTIMAR OS EXTRATIVOS SOLÚVEIS EM ÁGUA QUENTE E ALCÓOL BENZENO, PARA *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

ESPÉCIE	SOLVENTES	MODELO E COEFICIENTES	R ²	F (1%)
<i>P. elliottii</i>	Água quente	Y = 6,99 - 0,25.R	0,68	165,15**
		Y = 6,92 - 0,24.I	0,67	158,90**
		Y = 7,97 - 0,26.R - 0,027.HR	0,74	119,10**
		* Y = 2,689 - 0,00208.R ² + 11,78.(1/I) - 0,0195.HR	0,94	459,57**
		Y = 9,538 - 2,238.R + 1,541.I - 0,02885.HR + 0,381.NA	0,91	260,50**
<i>P. elliottii</i>	Alcool benzeno	Y = 6,89 - 0,26.R	0,69	182,84**
		Y = 6,79 - 0,25.I	0,66	153,04**
		Y = 7,61 - 0,354.R - 0,0238.HR	0,75	121,34**
		* Y = 1,99 - 0,00317.R ² + 11,58.(1/R) - 0,0002.HR ²	0,92	313,46**
		Y = 9,202 - 1,903.R + 1,575.I - 0,02.HR	0,91	260,50**
		* Y = 4,649 - 1,19.LnR + 7,79.(1/I) - 0,0002.HR ²	0,92	328,69**
<i>P. taeda</i>	Água quente	Y = 5,66 - 0,239.R	0,68	160,97**
		Y = 5,26 - 0,193.I	0,65	149,55**
		Y = 6,53 - 0,268.R - 0,019.HR	0,73	110,12**
		* Y = 2,11 - 0,00155.R ² + 9,66.(1/HR) - 0,012.HR	0,95	494,49**
		Y = 7,872 - 1,7508.R + 1,275.I - 0,01401.HR	0,93	361,77**
<i>P. taeda</i>	Alcool benzeno	Y = 5,87 - 0,236.R	0,68	177,41**
		Y = 5,09 - 0,188.I	0,65	140,40**
		Y = 6,35 - 0,263.R - 0,0177.HR	0,73	118,85**
		* Y = 1,89 - 0,00199.R ² + 9,56.(1/R) - 0,00014.HR ²	0,91	313,46**
		Y = 7,468 - 1,649.R + 1,191.I - 0,01356.HR	0,91	266,54**

* Modelo que melhor se ajusta aos dados.

Y = TEOR DE EXTRATIVOS (%); R = RAIO (cm) I = IDADE (anos); HR = ALTURA RELATIVA (%); NA = número de anéis por polegada

** significativo a 1 % de probabilidade

As equações de regressão desenvolvidas para as estimativas do conteúdo de extrativos da madeira poderão ser de grande importância, pelo conhecimento de prováveis valores indicativos a serem utilizados no controle da qualidade do papel, na otimização do excesso de resina no processo industrial e, também, na extração comercial da resina.

Comparações com a literatura não foram possíveis, devido a diferenças entre espécies, condições ecológicas (clima e solo), idades dos indivíduos e mesmo critérios de amostragem e

modelos de equações. Frente ao exposto, esse tipo de comparação deve ser encarado com relativa cautela.

4.4 PROPRIEDADES FÍSICAS

4.4.1 Teor de Umidade

4.4.1.1 Variação do Teor de Umidade no Fuste.

Os resultados médios obtidos na determinação do teor de umidade nas várias posições radiais em relação a diferentes alturas da árvore são apresentados na Tabela 14 e Figura 21. Observou-se que o alto conteúdo de extrativos associa-se a baixo teor de umidade. Nas duas espécies, considerando-se a altura do peito (DAP) na árvore, o teor de umidade varia no

TABELA 14 - TEOR DE UMIDADE (%) DO LENHO JUVENIL, INTERMEDIÁRIO E EXTERNO, POR ALTURA NA ÁRVORE, PARA *Pinus elliotii* E *Pinus taeda*.

Altura (%)	<i>Pinus elliotii</i>			<i>Pinus taeda</i>		
	LENHO			LENHO		
	JUVENIL (%) Posições 5-6	INTERMEDIÁRIO (%) Posições 3-4	EXTERNO (%) Posições 1-2	JUVENIL (%) Posições 5-6	INTERMEDIÁRIO (%) Posições 3-4	EXTERNO (%) Posições 1-2
DAP	40,71	131,22	123,07	46,45	129,39	122,06
25	98,15	147,62	135,80	103,27	148,70	134,84
50	167,88	152,49	144,66	169,24	154,72	144,79
75	172,70	156,83	148,85	173,64	158,49	149,31
MÉDIA TOTAL	119,86	147,04	138,09	123,15	147,83	137,75
DESVIO PADRÃO	62,80	11,19	11,39	60,41	12,93	12,08

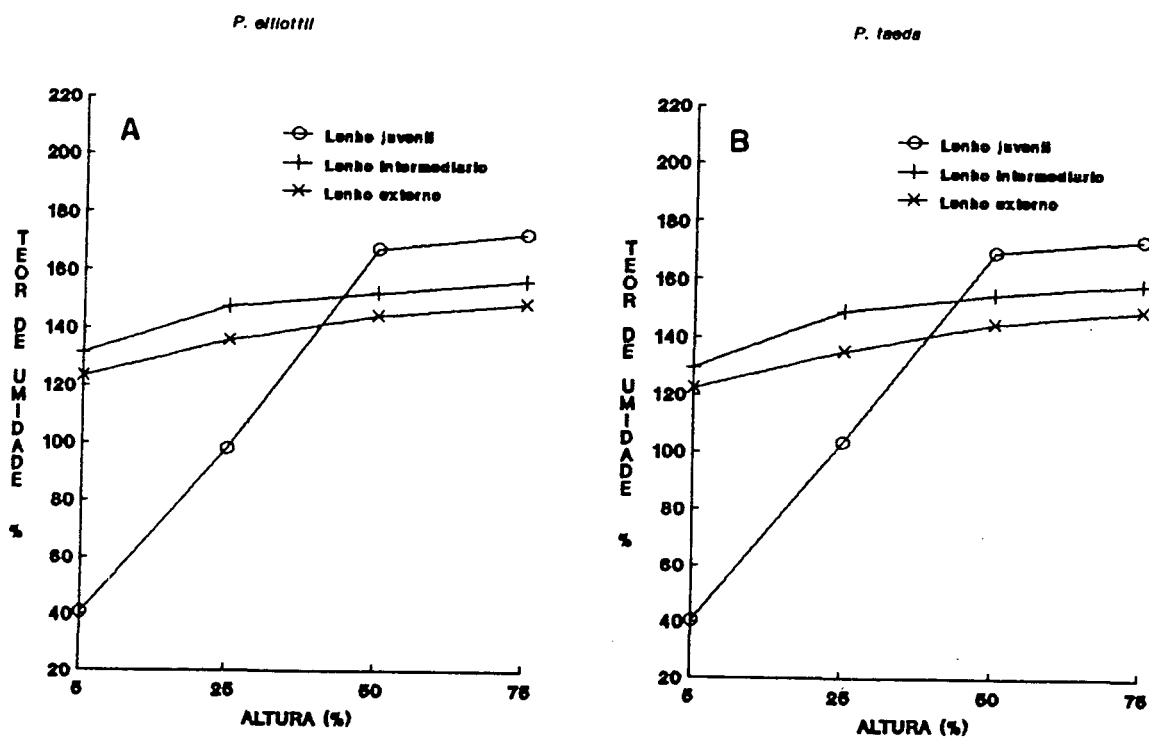


FIGURA 21 - TEOR DE UMIDADE (%) DO LENHO JUVENIL (5-6), INTERMEDIÁRIO (4-3) E EXTERNO (2-1), POR ALTURA NA ÁRVORE, PARA *Pinus elliottii* (A) E *Pinus taeda* (B).

cerne de 30 - 60% e no alburno em média 120%. À medida que aumenta a idade diminui o conteúdo de umidade.

O fator dominante que afeta a variação da umidade no tronco de árvores vivas é o alto conteúdo de umidade do lenho juvenil comparado com o do lenho adulto. Observou-se, em ambas as espécies que, após a formação do cerne, esta relação é inversa, fato confirmado por autores como COLE et al. (1966), QUIJADA (1967) e ZOBEL et al. (1968).

O teor de umidade do *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* é muito variável e tem sido relacionado com a relação alburno/cerne, com a posição sentido medula-casca, com a idade da árvore e com a massa específica básica.

A variação mais significativa foi encontrada durante a transição do alburno para o cerne. Os teores de umidade variam consideravelmente na árvore, tanto radialmente como longitudinalmente (Figura 22). Observou-se que o teor de umidade do alburno aumenta e a massa específica diminui, quando aumenta a altura. Na variação radial foi observado que, no alburno, essa taxa é maior do que no cerne, de acordo com as apreciações de FIELDING (1952).

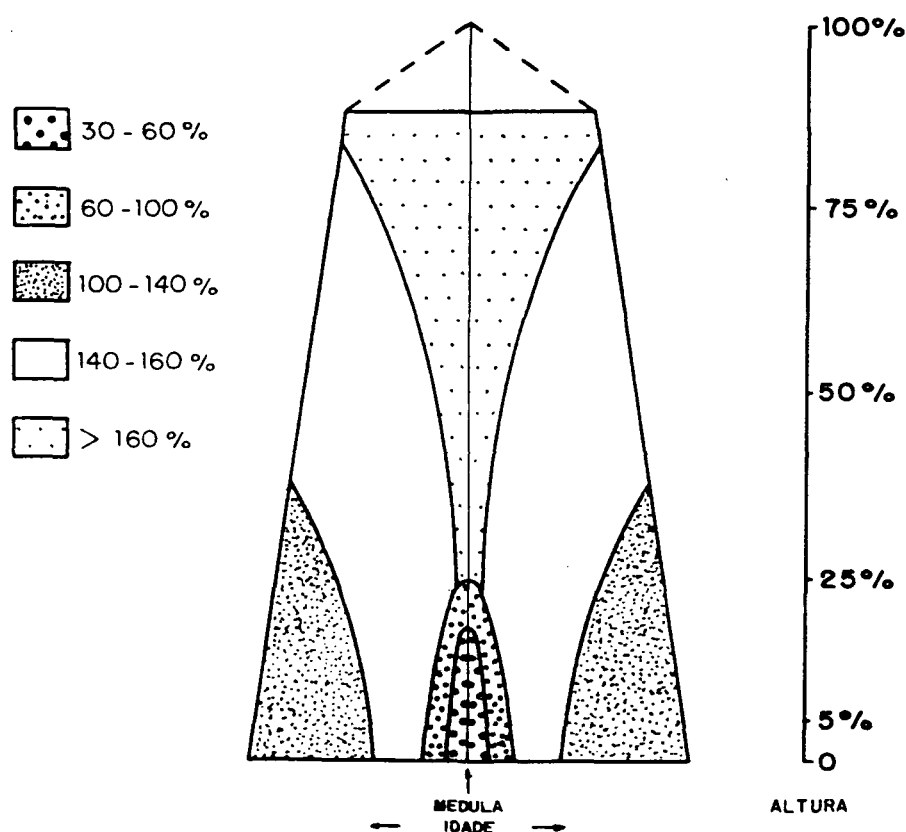


FIGURA 22 - DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DO TEOR DE UMIDADE (%), AO LONGO DO FUSTE E A DIFERENTES POSIÇÕES, PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

As diferenças, em média, do teor de umidade entre as espécies são relativamente pequenas. A maior diferença é de 14,1% e ocorre entre *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* com 30 anos de idade. O teor de umidade geralmente aumenta com a altura no tronco, permanecendo relativamente constante, contudo, a partir da metade (50 %) da altura total.

4.4.1.2 Modelos para Estimar o Teor de Umidade da Madeira

Os modelos para estimar o teor de umidade da madeira para ambas espécies são apresentados na Tabela 15. O coeficiente de determinação (R^2) encontrado para o melhor modelo foi de 0,86 para *Pinus elliottii* e 0,87 para *Pinus taeda*, sendo estes ajustes aceitáveis para determinar a média da umidade da madeira a diferentes alturas e posições.

TABELA 15 - MODELOS PARA ESTIMAR O TEOR DE UMIDADE (EM %), PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*.

ESPÉCIE	MODELO E COEFICIENTES	R^2	F (1%)
<i>P.elliottii</i>	$Y = 167,536 - 1,1287.R$	0,66	169,78**
	$Y = 170,114 - 1,243.I$	0,65	153,79**
	$Y = 131,085 + 0,486.HR$	0,14	62,45**
	* $Y = 197,956 - 174,875 (1/R) - 3,996(I) + 8,919 (Ln.HR)$	0,86	230,29**
<i>P. taeda</i>	$Y = 183,29 - 1,62.R$	0,65	165,68**
	$Y = 171,96 - 1,38.I$	0,67	176,90**
	$Y = 132,59 + 0,456.HR$	0,15	65,12**
	* $Y = 199,69 - 90,36 (1/R) - 3,78(I) + 0,00461(HR^2)$	0,87	242,58**

* Modelo que melhor se ajusta aos dados.

Y = TEOR DE UMIDADE (%); R = RAIO (cm) I = IDADE (anos) HR = ALTURA RELATIVA (%)

** significativo a 1 % de probabilidade

Como podemos observar, a umidade da madeira também está correlacionada positivamente com a altura da árvore e negativamente com o raio e idade, confirmando o já discutido anteriormente.

Os resultados registrados na literatura (ZOBEL et al, 1968; QUIJADA, 1967) de equações de regressão para estimar a média do conteúdo de umidade das madeiras de *Pinus* foram determinados somente para à altura de peito, comprova-se que os valores obtidos neste trabalho não podem ser comparados. Algumas explicações podem ser consideradas, destacando-se entre elas: diferentes espécies, diferentes condições ecológicas (clima e solo), diferentes idades dos materiais e mesmo diferentes critérios de amostragem e equações diferentes. Devemos considerar ainda que o conteúdo de umidade da madeira varia também com a estação do ano, localização geográfica e diferenças genéticas. Frente ao exposto, esse tipo de comparação deve ser encarado com relativa cautela.

4.4.2 Massa específica

4.4.2.1 Variação da Massa Específica Básica com a Altura no Fuste.

Os valores médios obtidos nas determinações da massa específica básica da madeira, a partir de discos coletados ao longo do fuste das árvores, são apresentados na Tabela 16.

TABELA 16 - RESULTADOS MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (g/cm^3) DE DISCOS COLETADOS EM 5 ALTURAS AO LONGO DO FUSTE, PARA *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*

ESPÉCIE	MASSA ESPECÍFICA BÁSICA				
	DAP	25%	50%	75%	100%
<i>Pinus elliottii</i>	<u>0,512</u>	<u>0,483</u>	0,469	0,458	0,420
CV%	3,90	2,7	5,2	<u>5,8</u>	<u>6,3</u>
<i>Pinus taeda</i>	<u>0,516</u>	<u>0,489</u>	0,475	0,460	0,422
CV %	5,0	6,4	5,5	<u>4,1</u>	<u>5,8</u>

* As médias sublinhadas não diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Scheffe ao nível de 5% de probabilidade.

Esses valores, representados gráficamente na Figura 23 mostram uma tendência da massa específica ser decrescente com a altura, para as duas espécies estudadas. Mudanças similares ocorrem com a espessura das paredes dos traqueóides axiais e porcentagem de lenho tardio, sendo sempre maior em *Pinus taeda* apesar de não haver diferenças significativas entre elas. Na Figura 23 se observa que a massa específica também maior nesta espécie, mostrando desta maneira a consistência dos dados obtidos neste trabalho.

A tendência da massa específica decrescer com a altura é ressaltada por vários pesquisadores como CHOONG et alii (1989), KLOCK (1989) MENDONÇA (1982), TOMASELLI (1979), ELLIOTT (1970), GOGGANS (1961), KOCH (1972), KOLLMANN (1951) e YAO (1972), entre outros.

O decréscimo da massa específica com o aumento da altura de amostragem, para espécies do gênero *Pinus*, é esperado e

decorre do efeito da idade, pois, a maiores alturas há menor número de anéis de crescimento. Eliminando-se o efeito da idade e comparando-se a madeira com o mesmo número de anéis de crescimento, a partir da medula, a massa específica permanece virtualmente constante a qualquer nível do tronco, o que concorda com o observado por COWN (1974/80).

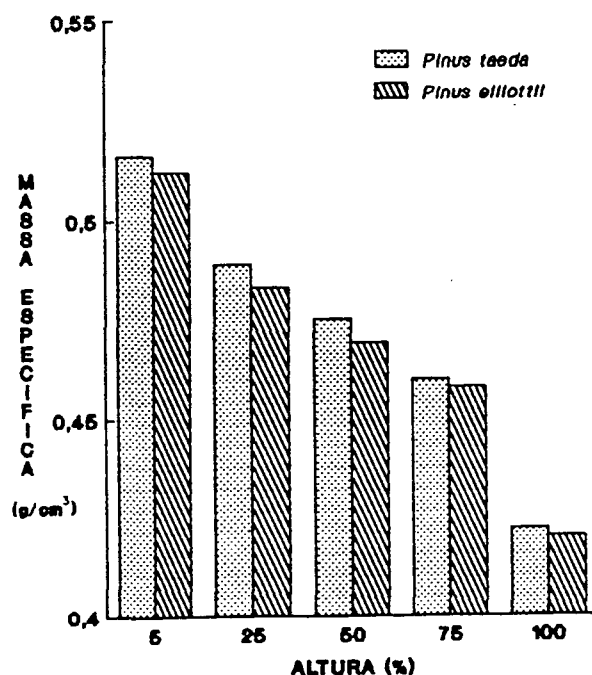


FIGURA 23 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA COM A ALTURA NO TRONCO, PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*.

Na comparação entre as médias da massa específica e para observar-se a que níveis de altura ocorreram as diferenças, verificou-se, com a aplicação do Teste de Scheffé, ao nível de 5% de probabilidade que, tanto para *Pinus taeda* como para *Pinus*

elliottii, ocorreram diferenças entre a massa específica à altura de 5% (DAP) e de 50 % da altura comercial e entre 25% e 100% da altura comercial.

Os valores obtidos, bem como a tendência de decréscimo da massa específica com o aumento na altura, para as duas espécies, estão em concordância com os resultados observados por TOMASELLI (1979).

4.4.2.2 Variação da Massa Específica Aparente no Fuste.

Os resultados médios obtidos nas determinações da massa específica aparente da madeira, ao longo do fuste das árvores e nas diferentes posições no sentido medula-casca, são apresentados na Tabela 17 e na Figura 24.

TABELA 17 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE MÉDIA (g/cm^3) DO LENHO JUVENIL E ADULTO, POR ALTURA NA ÁRVORE, PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*.

Altura (%)	<i>Pinus elliottii</i>				<i>Pinus taeda</i>			
	LENHO				LENHO			
	Juvenil (J) (g/cm^3)	Adulto (A) (g/cm^3)	Cerne (g/cm^3)	Média (g/cm^3)	Juvenil (J) (g/cm^3)	Adulto (A) (g/cm^3)	Cerne (g/cm^3)	Média (g/cm^3)
DAP	0,446	0,644	0,568	0,553	0,454	0,650	0,566	0,557
25	0,450	0,601	-	0,524	0,458	0,604	-	0,531
50	0,456	0,557	-	0,506	0,462	0,563	-	0,513
75	0,459	0,529	-	0,494	0,464	0,531	-	0,497
MÉDIA	0,453	0,583	-	0,518	0,460	0,587	-	0,524
DESVIO PADRÃO	0,0058	0,050	-	0,027	0,004	0,051	-	0,025
F (J:A)	240,78**				275,87**			

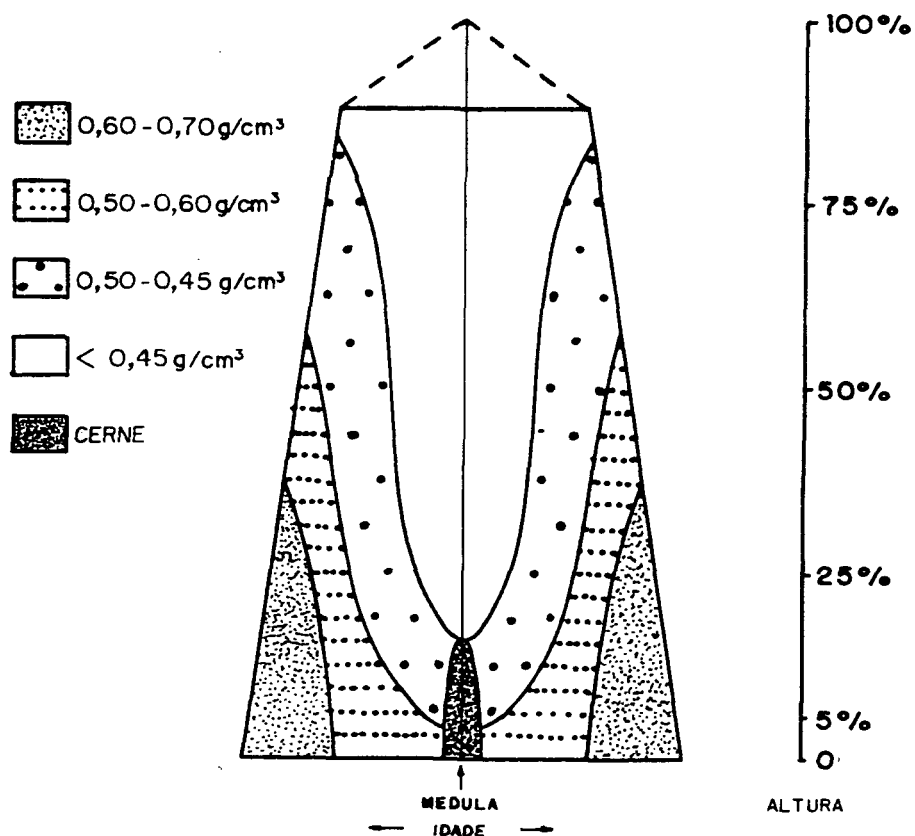


FIGURA 24 - DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE (g/cm³), AO LONGO DO FUSTE E A DIFERENTES POSIÇÕES, PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*.

No diagrama, vê-se uma faixa envolvente de madeira de massa específica mais elevada, partindo da base até aproximadamente a 25% da altura; logo abaixo há uma segunda faixa da madeira de menor massa específica, que se estende da altura de aproximadamente 1,30m até a metade da árvore. A madeira de massa específica mais baixa encontra-se na região central do tronco. Nas espécies estudadas observou-se, nos

corpos de prova do DAP, a formação incipiente do cerne; estes corpos de prova foram analisados isoladamente, uma vez que apresentaram maior massa específica e maior conteúdo de extrativos. Padrões semelhantes são descritos por KOLLMANN & COTÉ (1968) e COWN & McCONCHIE (1980), entre outros.

Analisando-se a variação referente a altura e considerando o número de anéis desde a medula, foram observados dois padrões: na área próxima a medula, chamada lenho juvenil, existe na direção vertical, um leve incremento com a altura; considerando-se a região externa do lenho adulto, os valores de massa específica decrescem com o incremento em altura, provavelmente, devido ao decréscimo do número de anéis de crescimento.

Os valores de massa específica variam consideravelmente no sentido horizontal do tronco, pela idade e afastamento da medula. Mudanças similares também ocorrem na largura do anel, porcentagem de lenho tardio e dimensões das células, como já foi discutido anteriormente. O lenho juvenil apresenta massa específica básica e porcentagem de lenho tardio inferiores e anéis de crescimento mais largos, quando comparado com o lenho adulto. Através de uma matriz de correlação simples, mostrou-se que, para o lenho juvenil, as variáveis mais importantes na massa específica são: a) a idade (relação negativa, significativa a 5% de probabilidade) e b) a porcentagem de lenho tardio (relação positiva, significativa a 5 % de probabilidade).

Para o lenho adulto as variáveis determinantes foram: a idade e a porcentagem de lenho tardio, existindo entre eles uma correlação positiva e significativa a 5 % de probabilidade.

As análises de variância realizadas, conforme resumo apresentado no anexo (A2-6, p. 205), mostraram que a tendência decrescente da massa específica nas duas espécies estudadas, em relação ao efeito da posição:altura na árvore, é significativa ao nível de 1% de probabilidade.

Na comparação entre as médias da massa específica e para observar-se a que níveis da altura ocorreram as diferenças, foi verificado, com a aplicação do teste de Scheffé, ao nível de 5% de probabilidade, que a análise de variância da massa específica ao nível do DAP até 50% da altura, para ambas espécies, não mostrou significância estatística, aceitando-se desta forma, a hipótese de igualdade entre as mesmas. A maior diferença de massa específica verificou-se entre DAP e a 75% da altura.

De maneira geral, os valores médios da massa específica básica, na faixa de 0,46 a 0,57 g/cm³, determinadas para as espécies de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* assemelham-se aos resultados apresentados na literatura para espécies do gênero *Pinus* por CHOONG et al. (1989) e KOCH (1972), entre outros.

A alta variação da massa específica na árvore e entre árvores é característica no gênero *Pinus* e é devida a fatores genéticos, ambientais, silviculturais e outros, podendo chegar a 30 % em relação à média da espécie, segundo TRENDELENBURG & MEYER-WEGELIN (1956).

Os resultados médios obtidos nas determinações da massa específica, na direção medula-casca apresentaram o comportamento esperado para as espécies do gênero *Pinus*, que é o de aumentar na medida que se aproxima da casca. É

interessante observar que o aumento na massa específica é mais acentuado no DAP devido à maior quantidade de lenho adulto.

A análise de variância das massas específicas do lenho adulto e lenho juvenil para ambas as espécies e entre espécies, apresentou diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade.

A massa específica do lenho adulto das duas espécies, foi de cerca de 12-13 % maior do que a do lenho juvenil.

As diferenças entre a massa específica na direção medula-casca, determinadas para as duas espécies, estão em concordância com a tendência observada por vários autores. PEARSON & GILMORE (1980), por exemplo, observaram diferenças de cerca de 23 a 15% entre as massas específicas (massa seca/volume à umidade média de 10,6%) de lenho interno e externo de *Pinus taeda* de 15 e 20 anos. Vários pesquisadores citam diferenças que chegam a cerca de 80%.

Segundo BENDTSEN (1978), a variação crescente da massa específica da medula para a casca ocorre pelas diferenças anatômicas entre o lenho juvenil e adulto; paredes mais finas e a baixa porcentagem de lenho tardio nos anéis de crescimento combinam e interagem, conferindo ao lenho juvenil uma massa específica mais baixa.

De maneira geral, os valores médios obtidos nas determinações da massa específica, com respeito à altura no tronco e no sentido medula-casca, assemelham-se aos apresentados na literatura, por exemplo, por CHOONG et al. (1989), PEARSON & GILMORE (1980) e TOMASELLI (1979), que observaram resultados de massas específicas distintas para lenho juvenil e adulto em *Pinus palustris*, *Pinus taeda* e *Pinus*

elliottii. As médias da massa específica, determinadas para as partes externas das duas espécies aqui estudadas, assemelham-se às apresentadas por KOCH (1972) para espécies do gênero *Pinus* do sul dos Estados Unidos.

4.4.2.3 Massa Específica Básica e suas Correlações

- Lenho tardio

O aumento da massa específica com a maior proporção de lenho tardio, acontece por este conter maior quantidade de material lenhoso por unidade de volume do que o lenho inicial, de acordo com BROWN et al (1952).

A Figura 25 mostra a relação entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio, através de equações de regressão linear simples, para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

As análises das equações de regressão linear revelaram alta correlação entre a massa específica aparente básica e a porcentagem de lenho tardio (LT). Quando analisado o lenho juvenil, foi verificada uma menor correlação, possivelmente devido aos corpos de prova apresentarem a massa específica influenciada pelo conteúdo de extrativos, que normalmente é maior na porção central do tronco.

Os erros padrões de estimativa (S_{xy}) para as equações foram bastante baixos e semelhantes entre si, indicando boa precisão na estimativa da massa específica básica a partir da porcentagem de lenho tardio.

A correlação significativa entre a massa específica e porcentagem de lenho tardio para espécies do gênero *Pinus* é

reconhecida por vários pesquisadores, como por exemplo, BROWN et al (1979), KNIGGE & SCHULZ (1966), entre outros.

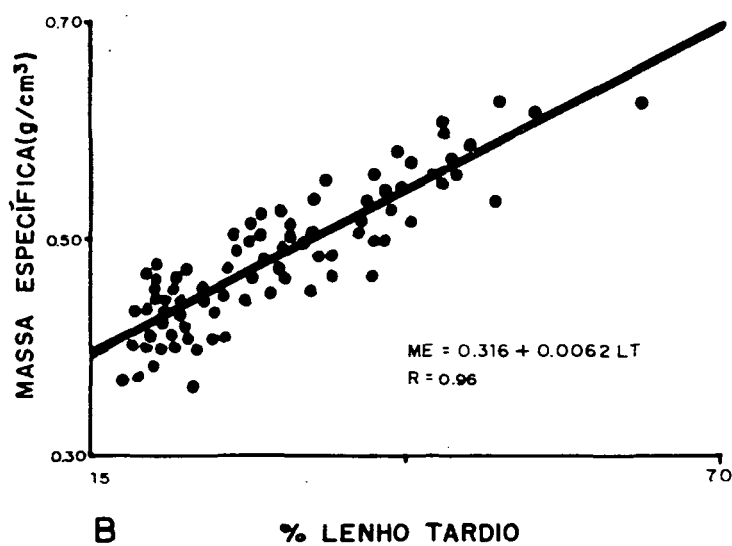
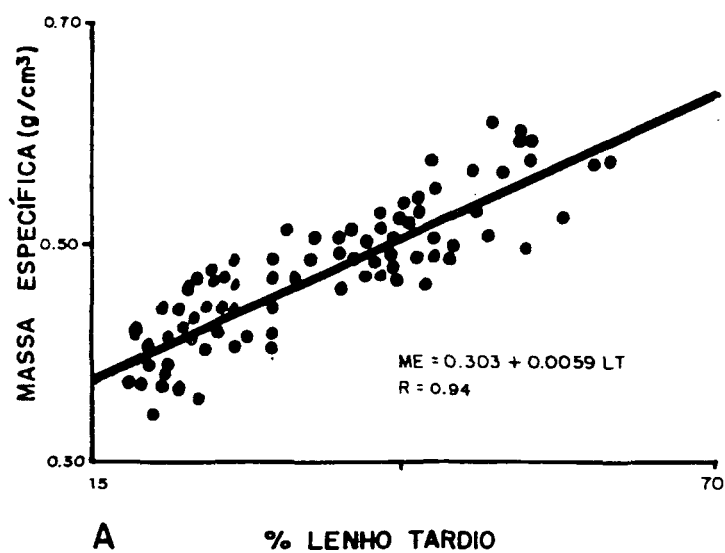


FIGURA 25 - RELAÇÃO ENTRE PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO E A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA *Pinus elliottii* (A) E *Pinus taeda* (B)

- Espessura da parede dos traqueóides axiais

A Figura 26 mostra a relação entre a massa específica e a espessura da parede dos traqueóides axiais, através de equação de regressão linear simples para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

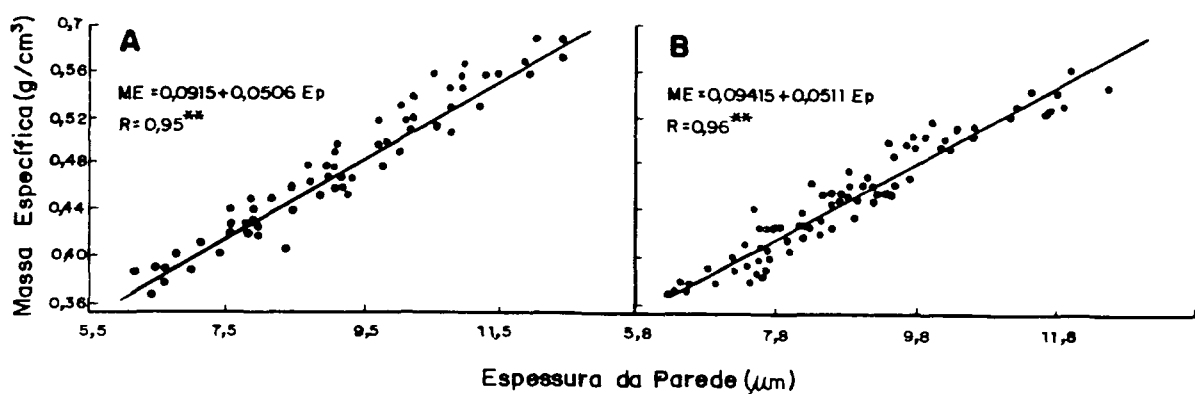


FIGURA 26 - RELAÇÃO ENTRE A ESPESSURA DAS PAREDES DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS E A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA PARA *Pinus elliottii* (A) E *Pinus taeda* (B)

As análises das equações de regressão linear, revelaram alta correlação entre a massa específica e a espessura da parede dos traqueóides. Quando analisado individualmente o lenho juvenil, obteve-se uma menor correlação em razão da espessura das paredes dos traqueóides axiais na parte central é menor.

A correlação significativa entre a massa específica e a espessura da parede dos traqueóides para espécies do gênero *Pinus* é reconhecida por vários pesquisadores, como por exemplo BROWN et al (1979) , TRENDELENBURG & MAYER WEGELIN (1956), entre outros.

- Conteúdo de Extrativos da madeira

Foi observado no cerne uma maior massa específica devido ao alto conteúdo de extrativos como já foi discutido na página 129. A correlação da massa específica em relação aos extrativos na parte interna foi relativamente baixa ($r = 0,46$) para as duas espécies. Analisando-se o conjunto de dados e, eliminando-se previamente os corpos de prova que continham cerne, os dados ajustaram-se ao modelo exponencial ($y = e^a + bx$) obtendo-se coeficientes de correlação negativos ($r = -0,78$ a $-0,81$) para ambas espécies. Isto pode ser explicado devido a que o conteúdo de extrativos na madeira diminui em direção a casca. Sabe-se pela literatura que o teor de celulose aumenta neste sentido e que, provavelmente isto influi positivamente na massa específica e na resistência da madeira mais que o conteúdo de extrativos.

4.4.2.4 Modelos para Estimar a Massa Específica

Para estimar a massa específica em função do raio, altura relativa, idade e suas transformações, são apresentados os modelos na Tabela 18. As equações obtidas neste trabalho apresentam valores de F altamente significativos ($p < 0,01$)

TABELA 18 - MODELOS PARA ESTIMAR A MASSA ESPECÍFICA BÁSICA, PARA *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

ESPECIE	MODELO E COEFICIENTES	R ²	F (1%)
<i>P. elliotti</i>	Y = 0,362 + 0,0132.R	0,88	714,92**
	Y = 0,399 + 0,00964.I	0,86	563,79**
	Y = 0,510 - 0,000739.HR	0,12	2,65 ^{ns}
	Y = 0,361 + 0,01144.I + 0,00000477.HR ²	0,90	356,24**
	Y = 0,35 + 0,01207.R + 0,0002955.HR	0,89	323,27**
	Y = 0,331 + 0,0144.R + 0,0923(1/I) + 0,00036.HR	0,92	376,54**
	* Y = 0,368 + 0,01649.R + 0,0305.HR + 0,01743.NA	0,94	495,16**
<i>P. taeda</i>	Y = 0,365 + 0,01368.R	0,89	730,38**
	Y = 0,400 + 0,0102.I	0,87	587,10**
	Y = 0,534 - 0,000571.HR	0,09	2,54 ^{ns}
	Y = 0,379 + 0,0132.R - 0,0576(1/I) + 0,000652.HR	0,93	390,61**
	Y = 0,3529 + 0,01476.R + 0,0006926.HR	0,93	562,30**
	* Y = 0,338 + 0,01206.R + 0,000405.HR + 0,01322.NA	0,95	514,16**

* Modelo que melhor se ajusta aos dados.

Y = MASSA ESPECÍFICA (g/cm³); R = RAI0 (cm); I = IDADE (anos); HR = ALTURA RELATIVA (%) NA = número de anéis por polegada

** significativo a 1 % de probabilidade

ns - não significativo

Os valores dos coeficientes de determinação (R²) são altos, entre 0,81 e 0,91, à exceção da altura relativa de amostragem que, para ambas as espécies, não foi significativa.

Considerando-se que todas as variáveis independentes são de fácil obtenção, não existe nenhum limite para otimizar a quantidade destas variáveis na estimativa da massa específica, dentro das equações apresentadas, mesmo quando se obtém pouco ganho no ajustamento da equação por ocasião da admissão de uma nova variável.

Como pode-se observar, apenas com a utilização de variáveis independentes de fácil determinação, as equações de regressão múltipla desenvolvidas para estimativa da massa

específica básica de toda a madeira produzida pela árvore, atingiram excelentes coeficientes de correlação múltipla. Sendo a massa específica, uma característica altamente correlacionada com as propriedades de resistência da madeira e com a quantidade de material lenhoso, com as equações para estimativa desta propriedade, poder-se-à estimar, com segurança a partir das variáveis independentes, a quantidade e qualidade de produtos de madeira maciça a industrializar, a quantidade determinada de produção de polpa e papel, a quantidade de matéria prima disponível de plantações próprias (atualmente madeira de desbaste), etc..

4.4.3 Retratabilidade

4.4.3.1 Variação da Retratabilidade no Fuste

A mudança de volume que se verifica entre o Ponto de Saturação das Fibras (PSF) e o teor de umidade em %, devido à desorção e adsorção, é considerada uma das propriedades físicas mais importantes da madeira, afetando e limitando consideravelmente o seu uso industrial em vários ramos de utilização. É necessário, portanto, o conhecimento das causas e a natureza de sua variação, para possibilitar o uso adequado das espécies.

Os resultados médios obtidos nas determinações das contrações volumétricas e lineares máximas, anisotropia de contração e coeficientes de retratabilidade tangencial e radial em corpos de prova a diferentes alturas e, também, no lenho juvenil e adulto de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, são apresentados na Tabela 19.

TABELA 19 - CONTRAÇÕES VOLUMÉTRICAS E LINEARES, ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO E COEFICIENTE DE RETRATIBILIDADE DE *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

ESPÉCIE/ ALTURA POSIÇÃO NA ARVORE	CONTRAÇÕES (%)				ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO Ac (T/R)	COEFICIENTE DE RETRATIBILIDADE	
	V	T	R	L		CRT	CRR
<i>Pinus elliottii</i>							
5 %	12,65	7,65	4,70	0,18	1,63	0,281	0,159
25 %	11,12	6,89	3,96	0,24	1,73	0,264	0,149
50 %	9,70	6,09	3,31	0,26	1,84	0,235	0,148
75 %	9,45	5,65	3,11	0,30	1,81	0,209	0,121
MÉDIA	10,73	6,57	3,77	0,245	1,75	0,247	0,144
DESVIO PADRÃO	1,47	0,88	0,72	0,05	0,09	0,031	0,016
LENHO JUVENIL (J)	9,15	5,78	2,88	0,34	2,01	0,223	0,125
LENHO ADULTO (A)	12,22	7,36	4,66	0,20	1,58	0,284	0,158
F (J:A)	261,26**	135,80**	386,83**	271,27**	92,34**	44,65**	54,34**
<i>Pinus taeda</i>							
5 %	12,87	7,98	4,76	0,19	1,67	0,292	0,163
25 %	11,25	6,93	3,98	0,23	1,74	0,274	0,151
50 %	9,95	6,19	3,46	0,25	1,79	0,256	0,149
75 %	9,52	5,89	3,25	0,29	1,82	0,234	0,135
MÉDIA	10,90	6,75	3,86	0,24	1,76	0,264	0,149
DESVIO PADRÃO	1,51	0,93	0,67	0,04	0,06	0,024	0,011
LENHO JUVENIL (J)	9,30	5,89	3,01	0,32	1,95	0,258	0,143
LENHO ADULTO (A)	13,38	7,61	4,77	0,18	1,60	0,291	0,169
F (J:A)	250,50**	118,32**	397,53**	292,65**	87,23**	43,14**	49,23**

OBS.: V = contração volumétrica (%)

T = contração tangencial (%)

R = contração radial máxima (%)

L = contração longitudinal máxima (%)

** significativo a 1 % de probabilidade (diferença entre lenho juvenil e lenho adulto)

Ac = anisotropia de contração (T/R)

CRT = coeficiente de retratibilidade tangencial(%/%)

CRR = coeficiente de retratibilidade radial (%/%)

Observa-se que existe uma tendência bem definida para as duas espécies: a contração volumétrica, tangencial e radial decresce na direção da base para o topo da árvore, porém, a contração longitudinal e a anisotropia de contração foram positivamente correlacionadas com a altura ($r = 0,25$). Estas tendências podem ser observadas na Figura 27, onde são mostradas as variações em relação à altura para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

De modo geral observa-se que as médias das contrações volumétricas máximas e lineares tangencial e radial e o coeficiente de retratibilidade foram menores no lenho juvenil, em comparação aos valores do lenho adulto. A contração longitudinal e anisotropia de contração apresentaram uma relação inversa. A diferença entre os lenhos adulto e juvenil de ambas espécies, em todos os casos, foi significativo a 1% de probabilidade, apesar que entre elas não foram se observou diferenças estatísticas, os valores de *Pinus taeda* foram em todos os casos maiores que em *Pinus elliottii*.

Observando-se a Figura 28, nota-se que há um aumento das contrações no sentido radial. Esta tendência está em concordância com as citações de pesquisadores como BENDTSEN (1978), BENDTSEN & SNEFT (1986) e KOCH (1972), que afirmam serem menores as contrações do lenho da porção interna das árvores de espécies do gênero *Pinus*. Isto ocorre devido às diferenças anatômicas entre os lenhos juvenil e adulto que, por sua vez influencia a massa específica e as propriedades físicas e de resistência.

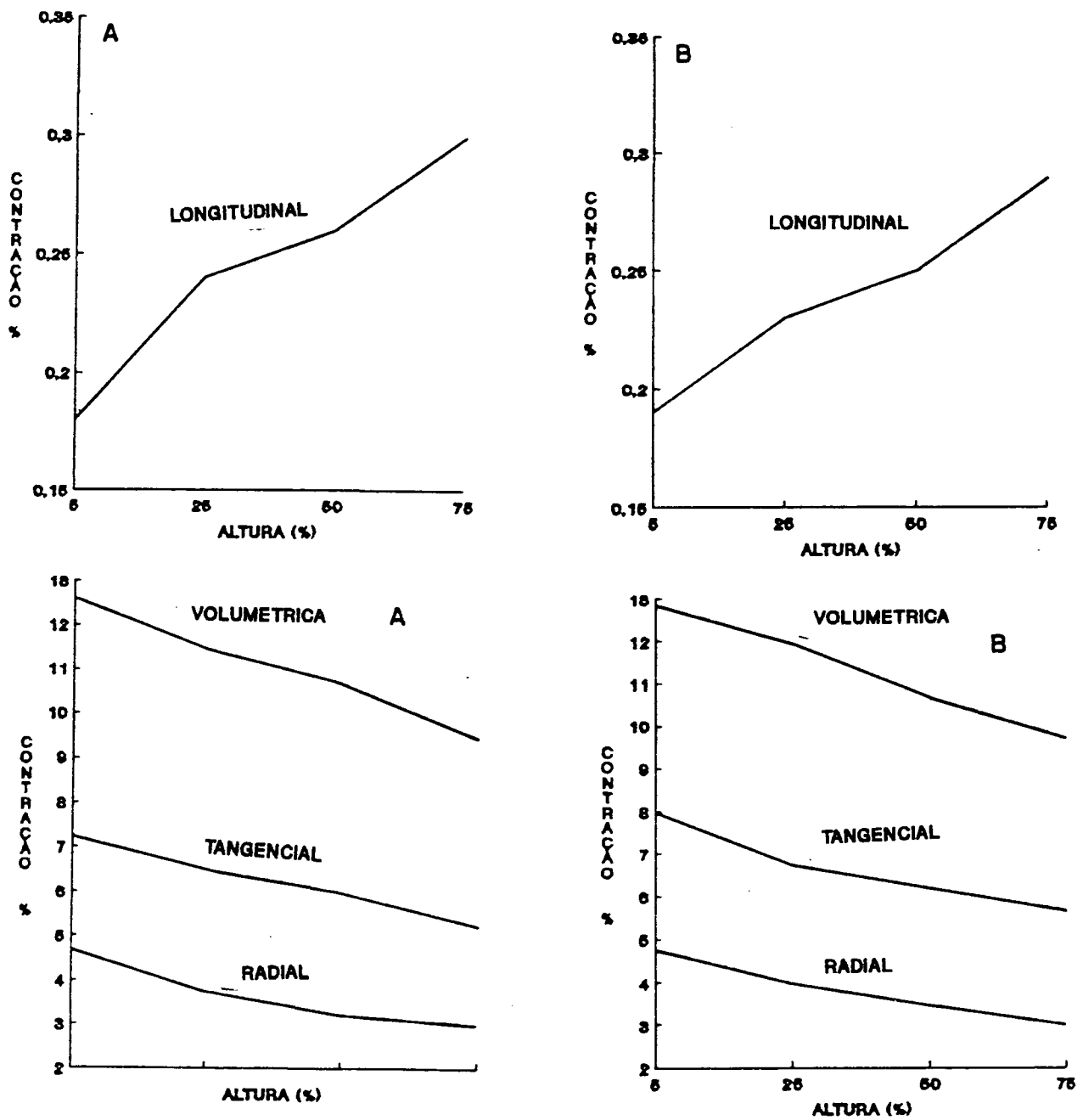


FIGURA 27 - VARIÁÇÕES DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA, TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL, COM RESPEITO A ALTURA NO FUSTE PARA *Pinus elliotii* (A) E *Pinus taeda* (B).

Os resultados médios de contração volumétrica, radial e tangencial máxima obtidos para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, concordam com as observações feitas por CHOONG et al (1989) e TOMASELLI (1979), para espécies do gênero *Pinus*, nas quais o lenho interno ou juvenil apresentou contração volumétrica menor que o lenho externo ou adulto. De forma geral, é comum a contração volumétrica, em espécies do gênero *Pinus*, apresentar valores entre 11 e 12 %, segundo KOCH (1972).

De acordo com o resumo apresentado no Anexo (A2-7 e A2-8, p. 206), as análises de variância apresentaram diferença significativa, a 1% de probabilidade, para diferentes posições com respeito a altura do fuste, nas duas espécies.

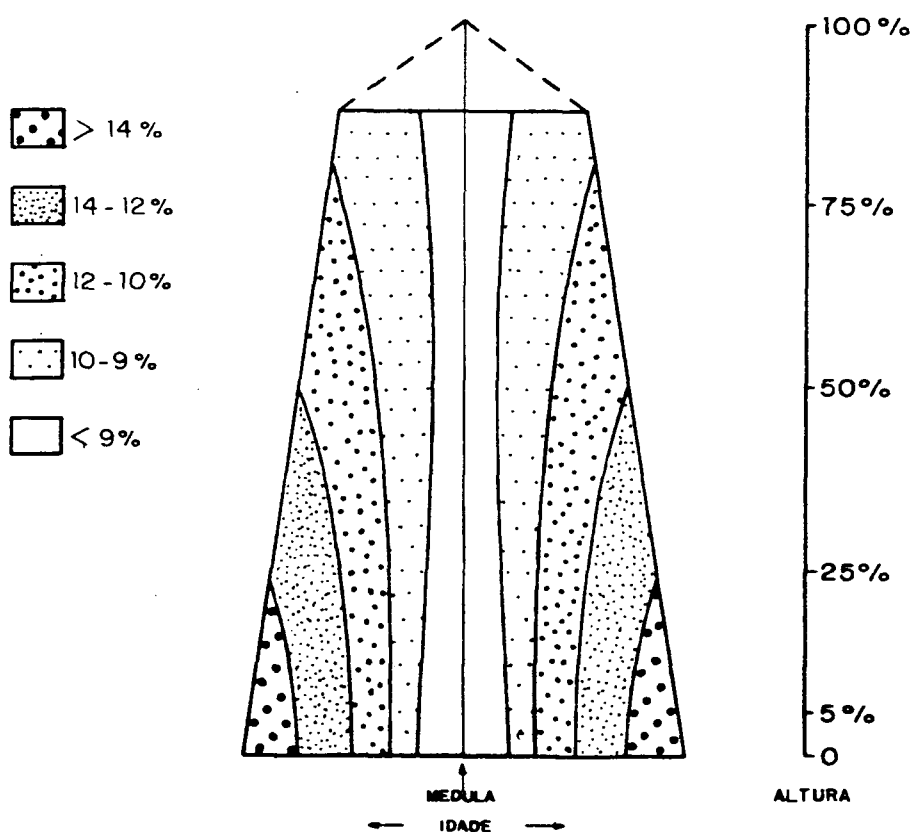


FIGURA 28 -- DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA AO LONGO DO FUSTE E POSIÇÕES DENTRO DA ÁRVORE.

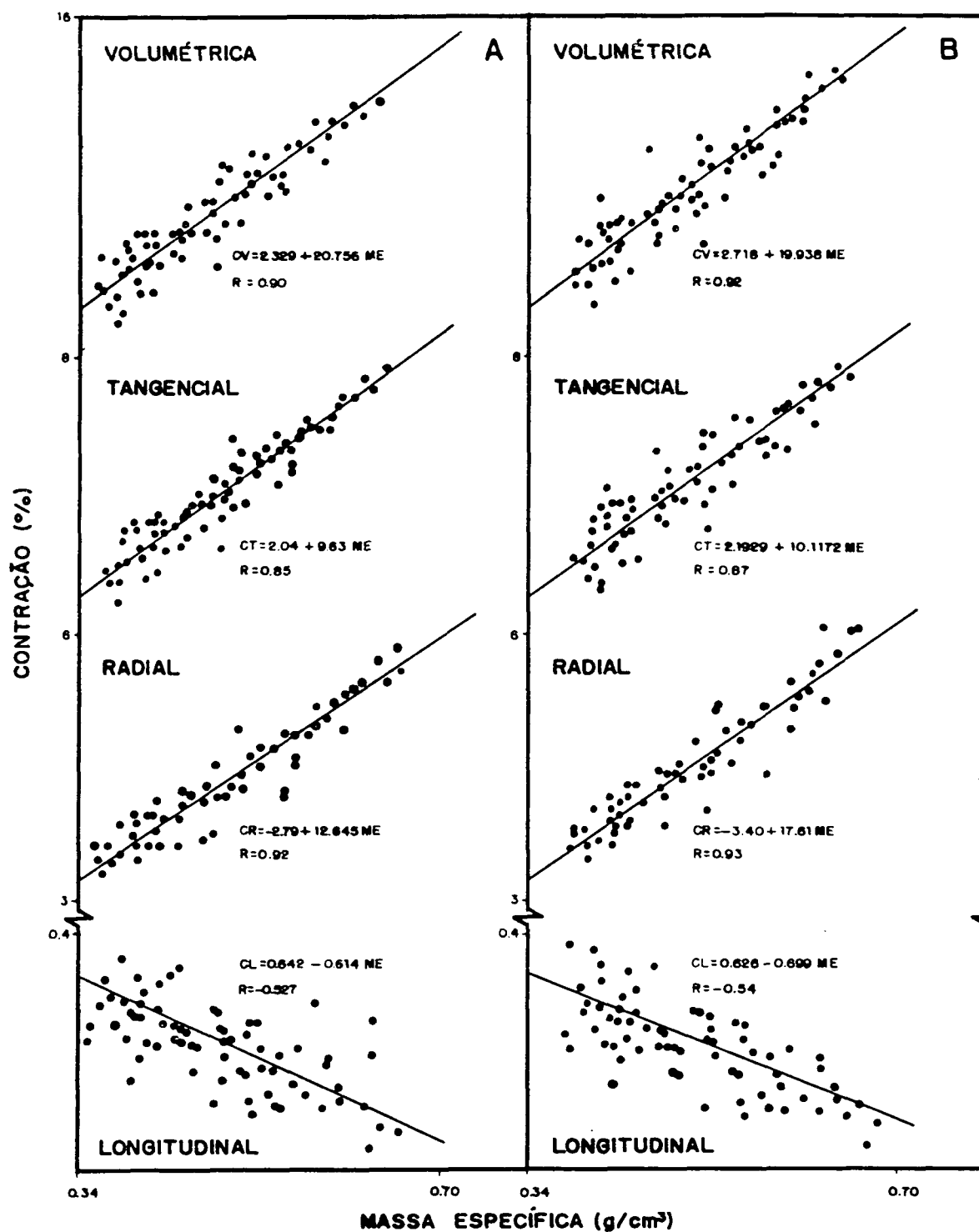
As diferenças significativas apresentadas pelas médias da contração volumétrica máxima na parte interna, possivelmente são devidas à presença de cerne e o conteúdo de extrativos que afetam a massa específica e também a contração.

A Tabela 20 e a Figura 29 apresentam o resumo da análise para regressão linear simples entre as contrações volumétrica máxima e lineares, coeficiente de anisotropia (Figura 30) com a massa específica.

TABELA 20 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLS AJUSTADAS PARA AS CONTRAÇÕES VOLUMÉTRICAS E LINEARES, ANISOTROPIA E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA.

<i>Pinus elliottii</i>				
PROPRIIDADE	EQUAÇÃO AJUSTADA	F	R	
VOLUMÉTRICA	$V = 2,329 + 20,756 \text{ ME}$	305,76	0,90	
TANGENCIAL	$T = 2,04 + 9,63 \text{ ME}$	267,87	0,85	
RADIAL	$R = -2,79 + 12,645 \text{ ME}$	354,94	0,92	
LONGITUDINAL	$L = 0,642 - 0,614 \text{ ME}$	57,82	-0,53	
ANISOTROPIA	$Ac = 3,576 - 4,412 \text{ ME}$	89,97**	-0,71	
<i>Pinus taeda</i>				
VOLUMÉTRICA	$V = 2,718 + 19,938 \text{ ME}$	349,86	0,92	
TANGENCIAL	$T = 2,129 + 10,1172 \text{ ME}$	296,05	0,87	
RADIAL	$R = -3,40 + 17,61 \text{ ME}$	372,98	0,94	
LONGITUDINAL	$L = 0,626 - 0,699 \text{ ME}$	60,12	-0,54	
ANISOTROPIA	$Ac = 3,35 - 3,244 \text{ ME}$	80,03**	-0,70	

R = coeficiente de correlação



A - *Pinus elliottii*

B - *Pinus taeda*

FIGURA 29 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO SIMPLES AJUSTADAS PARA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA, RADIAL, TANGENCIAL E LONGITUDINAL E MASSA ESPECÍFICA PARA *Pinus elliottii*(A) E *Pinus taeda* (B).

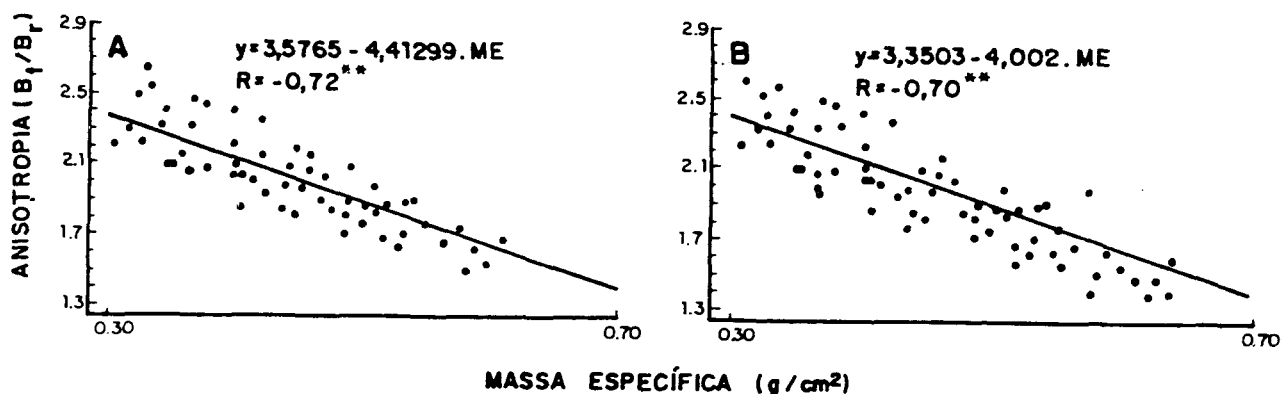


FIGURA 30 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS EQUAÇÕES DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES AJUSTADAS PARA ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO E MASSA ESPECÍFICA PARA *Pinus elliottii* (A) E *Pinus taeda* (B)

Os resultados apresentados pelas regressões lineares, ajustados entre a contração máxima e a massa específica, demonstraram a existência de alta correlação entre ambas. Porém, para o lenho juvenil das árvores das duas espécies não foi encontrada correlação significativa.

Resultado semelhante foi observado por CHOONG et alii (1989) para *Pinus palustris* e *Pinus elliottii*. O resultado foi atribuído à formação de cerne e ao alto conteúdo de extrativos na porção central do tronco, que não apenas elevam o valor da massa específica, como inibem a contração, por ocuparem a região amorfa na celulose constituinte da parede celular. A relação entre as duas variáveis aumentou significativamente

para os lenhos intermediários e externo.

A inexistência de correlação para a parte interna das árvores pode ser atribuída à influência da formação de cerne e ao conteúdo de extrativos, devido os corpos de prova terem sido confeccionados na porção de lenho com formação inicial de cerne e muito próximo à medula.

As altas correlações observadas para o lenho externo das duas espécies eram esperadas, visto que na porção exterior do tronco, o conteúdo de extrativos é menor e mais homogeneamente distribuído, em condições normais de crescimento.

As contrações tangencial e radial, bem como os coeficientes de retratibilidade apresentaram a mesma tendência da contração volumétrica, observando-se valores médios superiores para o lenho externo e aumentando com o acréscimo da massa específica. O inverso aconteceu com a anisotropia de contração e a contração longitudinal, que apresentaram decréscimo com o aumento da massa específica, dado que o lenho tardio contrae mais que o lenho inicial.

Foi observado, no cerne, uma contração menor que no alburno, em corpos de prova localizados à mesma distância da medula. Isto deve-se, provavelmente, ao alto conteúdo de extrativos. Contudo, na transição do cerne para o alburno a contração é maior do que no próprio lenho adulto.

A correlação negativa entre a anisotropia de contração e a massa específica, também foi confirmada por vários pesquisadores (KOLLMANN (1951) , BOUTELJE (1962) e KELSEY (1963)).

4.4.3.2 Modelos para estimar a retratibilidade

Para estimar a retratibilidade em função do raio da seção radial, altura relativa, idade e suas transformações quadrática, inversa e logaritmica como variáveis independentes são apresentados os modelos na Tabela 21.

As equações obtidas neste trabalho apresentam valores de F significativos e os coeficientes de determinação (R^2) dos modelos para a estimativa das contrações tangencial, radial e volumétrica podem ser considerados como relativamente bons para estimar estas propriedades. Devem ser levadas em conta, ainda, as vantagens da facilidade de medição das variáveis independentes usadas neste trabalho.

Comprova-se que as contrações radial, tangencial e volumétrica são inversamente proporcionais à altura na árvore, e diretamente proporcional ao raio transversal do tronco, como foi mostrado na Figura 27.

Estes modelos não foram comparados com a literatura dado que as variáveis e a metodologia usada neste trabalho difere das existentes.

TABELA 21 - MODELOS PARA ESTIMAR A RETRATIBILIDADE PARA *Pinus elliotii* e *Pinus taeda*.

ESPÉCIE CONTRAÇÃO	MODELO E COEFICIENTES	R ²	F (1%)
<i>P. elliotii</i>			
TANGENCIAL	Y = 5,488 + 0,1126.R	0,64	514,92 ^{**}
	Y = 5,520 + 0,1051.I	0,63	503,79 ^{**}
	Y = 6,796 - 0,013439.HR	0,12	2,65 ^{ns}
	* Y = 5,23 + 0,743.(LnI) - 0,006678.HR	0,72	323,27 ^{**}
	<hr/>		
RADIAL	Y = 2,289 + 0,1331.R	0,66	614,92 ^{**}
	Y = 2,457 + 0,1211.I	0,65	543,89 ^{**}
	Y = 4,378 - 0,007409.HR	0,04	16,65 ^{ns}
	* Y = 1,49 + 0,156. R + 0,00023.HR ² + 3.3869(1/HR)	0,73	334,56 ^{**}
	<hr/>		
VOLUMÉTRICA	Y = 7,689 + 0,2275.R	0,65	604,87 ^{**}
	Y = 7,907 + 0,1903.I	0,64	593,89 ^{**}
	Y = 10,20 - 0,013208.HR	0,03	7,09 ^{ns}
	* Y = 4,892 + 0,239.R + 0,04741.HR + 12.991(1/HR)	0,72	389,98 ^{**}
	<hr/>		
<i>P. taeda</i>			
TANGENCIAL	Y = 5,611 + 0,1159.R	0,65	630,38 ^{**}
	Y = 5,560 + 0,1064.I	0,64	617,10 ^{**}
	Y = 6,99 - 0,014601.HR	0,12	40,02 ^{ns}
	* Y = 5,379 + 0,776(LnI) - 0,00675.HR	0,73	390,61 ^{**}
	<hr/>		
RADIAL	Y = 2,478 + 0,1366.R	0,66	644,32 ^{**}
	Y = 2,647 + 0,1171.I	0,65	633,76 ^{**}
	Y = 4,548 - 0,009109.HR	0,06	18,64 ^{ns}
	* Y = 2,20 + 0,144.R + 0,08109.(Ln.HR)	0,74	376,89 ^{**}
	<hr/>		
VOLUMÉTRICA	Y = 7,698 + 0,2284.R	0,65	614,92 ^{**}
	Y = 7,954 + 0,1920.I	0,64	603,67 ^{**}
	Y = 10,43 - 0,011304.HR	0,04	10,43 ^{ns}
	* Y = 4,964 + 0,241.R + 0,04543.HR + 13.359(1/HR)	0,73	397,87 ^{**}
	<hr/>		

* Modelo que melhor se ajusta aos dados.

Y = RETRATIBILIDADE (%); R = RAIO (cm); I = IDADE (anos); HR = ALTURA RELATIVA (%);

NA = número de anéis por polegada

^{**} significativo a 1 % de probabilidade

ns - não significativo

4.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS

4.5.1 Resistência à Flexão Estática

Os resultados obtidos nos ensaios mecânicos de flexão estática, nas diferentes alturas e no sentido medula-casca de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, são apresentados nas formas de módulo de ruptura (MORf), tensão no limite proporcional (TLPf) e módulo de elasticidade (MOEf) (Tabela 22).

Os valores médios de resistência, obtidos para as duas espécies, mostram que o lenho externo apresenta-se sensivelmente mais resistente que a parte mais interna. A mesma tendência foi apresentada pela massa específica e porcentagem de lenho tardio, indicando que o aumento da resistência da madeira está relacionado com o aumento destas propriedades, que por sua vez ocorre com o aumento da idade da madeira.

As diferenças observadas para os valores de resistência à flexão estática, do lenho adulto em relação ao juvenil, para as duas espécies, no sentido medula-casca a diferentes alturas, situam-se de modo geral na faixa de 35 a 100 %, sendo que, as diferenças maiores foram observadas em *Pinus taeda*. Isto mostra novamente a consistência dos dados já que esta espécie apresentou maior massa específica, maior porcentagem de lenho tardio. Entre as propriedades, as maiores diferenças foram observadas para os módulos de elasticidade (MOE).

As diferenças entre lenho adulto e juvenil verificadas para as duas espécies apresentam-se na mesma faixa das observadas por PEARSON & GILMORE (1980) em árvores de *Pinus taeda* de 25 e 15 anos, provenientes de plantações de rápido

TABELA 22 - MÉDIA DOS VALORES DE FLEXÃO ESTATICA PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

ESPÉCIE/LENHO/ ALTURA	MOE	MOR	TLP
<i>Pinus elliottii</i>			
5% (DAP)	125635	805,77	420,30
25%	124567	793,43	410,07
50%	123240	770,52	406,90
75%	122041	769,15	391,05
MÉDIA	123870,75	784,72	407,08
DESVIO PADRÃO	15664,52	87,91	42,12
LENHO JUVENIL	86309,5	648,92	332,51
LENHO ADULTO	161432,0	920,52	481,65
F	232,21**	189,23**	223,12**
<i>Pinus taeda</i>			
5% (DAP)	126421	801,66	428,83
25%	124367	797,85	405,14
50%	123834	778,02	405,05
75%	122901	782,63	397,90
MÉDIA	124385,75	790,04	409,23
DESVIO PADRÃO	14789,06	71,48	43,50
LENHO JUVENIL	88333,35	638,18	335,50
LENHO ADULTO	160438,15	941,24	482,88
F	256,76**	198,65**	225,64**

: Módulo de elasticidade (kgf/cm²)MOR: Módulo de ruptura (kgf/cm²)TLP: Tensão no limite proporcional (kgf/cm²)

** : significativo ao nível de 1% de probabilidade

crescimento, para módulo de ruptura e de elasticidade , e por TOMASELLI (1979) em *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* de 18 anos de idade, em tora coletada na metade da altura comercial, considerando lenho juvenil e adulto, sendo maiores neste trabalho.

Verificaram-se ainda diferenças estatísticas entre o lenho juvenil e o lenho adulto.

Observa-se que, na comparação dos valores médios de resistência à flexão estática, para as espécies, de maneira geral, existe tendência semelhante - de aumentar no sentido medula-casca - à apresentada pelos valores médios da massa específica e porcentagem de lenho tardio. Na Figura 31 observa-se a distribuição esquemática da resistência à flexão estática.

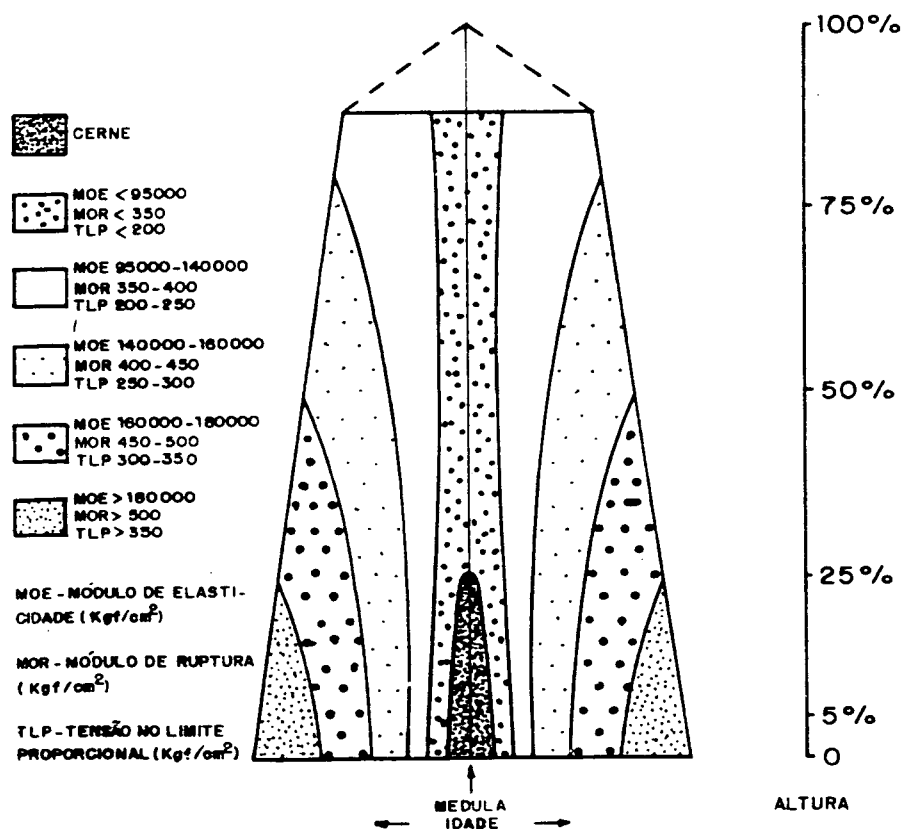


FIGURA 31 - DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DA RESISTÊNCIA DA MADEIRA À FLEXÃO ESTÁTICA.

Na Figura 32 são apresentadas as regressões lineares de primeiro grau ajustadas para estimar o módulo de ruptura e módulo de elasticidade em função da massa específica.

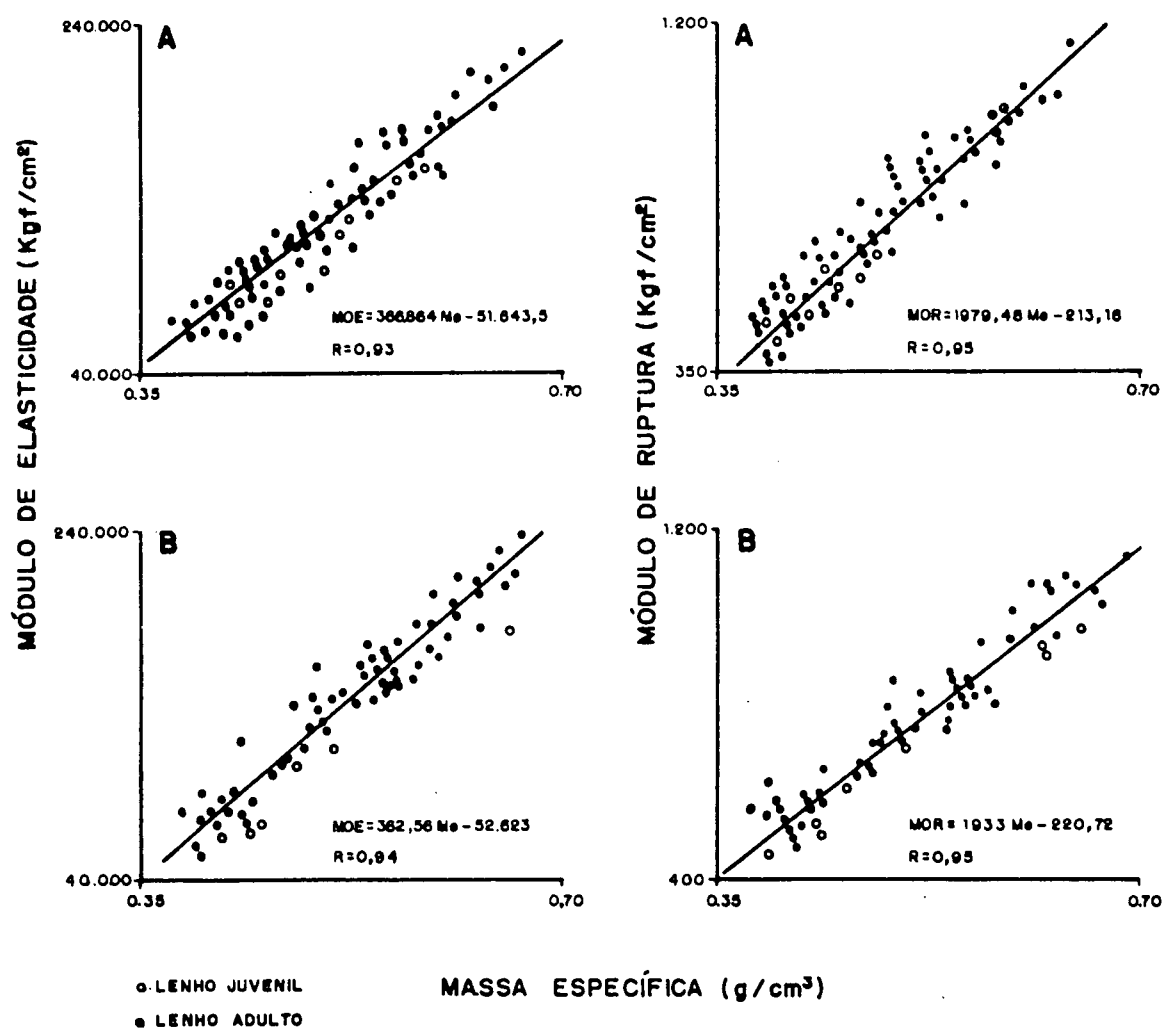


FIGURA 32 - MODELO DE REGRESSÃO LINEAR DO MÓDULO DE RUPTURA (MOR) E MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE) (EM kgf/cm^2), PARA *Pinus elliottii* (A) E *Pinus taeda* (B)

As correlações lineares entre as propriedades de resistência à flexão estática, na variação medula-casca apresentam aproximadamente a mesma tendência observada por vários pesquisadores que obtiveram boas correlações lineares entre as propriedades de resistência e massa específica. BENDTSEN & ETHINGTON (1972) e MANWILLER (1972), citados por KOCH (1972), observaram correlação linear positiva entre os módulos de ruptura e de elasticidade com a massa específica, em cinco espécies do gênero *Pinus*, variando os coeficientes de correlação (r) de 0,72 a 0,87 para a relação linear entre o módulo de ruptura e massa específica. PEARSON & GILMORE (1980) obtiveram correlações mais estreitas entre módulo de ruptura e massa específica ($r = 0,89$), e entre módulo de elasticidade e massa específica ($r = 0,81$), para a combinação dos resultados obtidos de lenhos juvenil e adulto de *Pinus taeda*.

SIMIONI (1981) obteve coeficientes de correlação bastante próximos, entre módulos de ruptura e de elasticidade com a massa específica a 12 % de umidade ($r = 0,74$ e $0,73$), para combinação de porções de lenho juvenil e adulto de *Pinus radiata*.

Os resultados médios de resistência à flexão estática, mostram-se, de maneira geral, semelhantes aos resultados médios observados por vários pesquisadores para espécies do gênero *Pinus* (KOCH (1972), TOMASELLI (1979) e DURLO (1988)).

A diferença dos resultados obtidos por TOMASELLI (1979), para madeira juvenil e adulta de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, aos 18 anos de idade a 12 % de umidade, e os resultados apresentados neste trabalho, onde os valores foram maiores, são

devidas à idade das árvores (30 anos).

Os módulos de ruptura e elasticidade médios, obtidos para *Pinus taeda*, mostraram-se semelhantes aos apresentados por PEARSON & GILMORE (1980) para árvores dessa espécie com 25 anos de idade, a 12% de umidade, provenientes de plantações de rápido crescimento.

A tendência dos resultados médios de resistência observados, mostrou a desuniformidade das características da madeira no sentido medula-casca, para as duas espécies. Segundo vários pesquisadores (BENDTSEN, 1978; BENDTSEN & SENFT, 1986; PEARSON & GILMORE, 1980; e ZOBEL et al., 1965), o lenho juvenil para as duas espécies do gênero *Pinus* apresenta reconhecidamente menor massa específica, menor porcentagem de lenho tardio e menor resistência. Com a formação de anéis de crescimento sucessivos, a madeira vai gradativamente assumindo as características de lenho adulto nas porções externas, nas quais a massa específica e a porcentagem de lenho tardio aumentam e, como conseqüência, as propriedades de resistência são superiores.

As correlações lineares observadas entre as propriedades de resistência à flexão estática dos lenho juvenil e adulto das duas espécies apresentaram a mesma tendência observada por vários pesquisadores, que obtiveram boas correlações lineares entre as propriedades de resistência e a massa específica. BENDTSEN & ETHINGTON (1972) e MANWILLER (1972), citados por KOCH (1972), observaram correlação positiva entre módulos de ruptura e de elasticidade com a massa específica, em cinco espécies do gênero *Pinus*.

4.5.2 Resistência à Compressão Paralela à Grã

Os resultados obtidos dos ensaios mecânicos de compressão paralela à grã de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, são apresentados na forma de módulo de ruptura (MORC), tensão no limite proporcional (TLPC) e módulo de elasticidade (MOEC), na Tabela 23.

Da mesma forma, como o observado na resistência à flexão estática e como era o esperado, o lenho adulto das duas espécies apresentou valores médios de resistência à compressão paralela à grã superiores ao lenho juvenil, variando na faixa de 30 a 40% para o módulo de ruptura e tensão no limite proporcional respectivamente e, para módulo de elasticidade, de 40 a 45%. Tal análise de variância, a diferença entre lenho adulto e juvenil foi significativa ao nível de 1% de probabilidade.

Da mesma forma, como o observado para as propriedades de resistência à flexão estática, os valores médios de resistência à compressão paralela à grã, obtidos para os lenhos adulto e juvenil das duas espécies acompanham a tendência observada na massa específica e na porcentagem de lenho tardio.

Observa-se que, na comparação dos valores médios de resistência à compressão paralela à grã, para as espécies, de maneira geral, existe tendência semelhante - de aumentar no sentido medula-casca - à apresentada pelos valores médios da massa específica e porcentagem de lenho tardio. Na Figura 33 observa-se a distribuição esquemática da resistência à compressão paralela à grã para as duas espécies.

TABELA 23 - VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA À GRÃ NAS ALTURAS ESTUDADAS E OS LENHOS JUVENIL E ADULTO, PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

ESPÉCIE/LENHO ALTURA	MOE	MOR	TLP
<i>Pinus elliottii</i>			
5% (DAP)	128249	438,60	274,16
25%	126990	436,51	263,58
50%	126253	433,11	257,50
75%	126275	430,00	254,85
MÉDIA	126691,75	434,56	262,52
DESVIO PADRÃO	16253,48	33,79	18,57
LENHO JUVENIL	92467,0	348,10	206,92
LENHO ADULTO	160916,5	520,42	318,12
F	187,45**	165,76**	199,45**
<i>Pinus taeda</i>			
5% (DAP)	129522	441,38	279,39
25%	127572	437,68	265,38
50%	127245	435,99	260,32
75%	126645	429,00	256,40
MÉDIA	127746,0	436,01	265,37
DESVIO PADRÃO	16244,68	34,83	16,01
LENHO JUVENIL	92725,32	364,92	207,59
LENHO ADULTO	162766,68	507,09	323,15
F	178,68**	171,14**	196,53**

MOE: Módulo de elasticidade (kgf/cm^2)

MOR: Módulo de ruptura (kgf/cm^2)

TLP: Tensão no limite proporcional (kgf/cm^2)

** : significativo a 1% de probabilidade

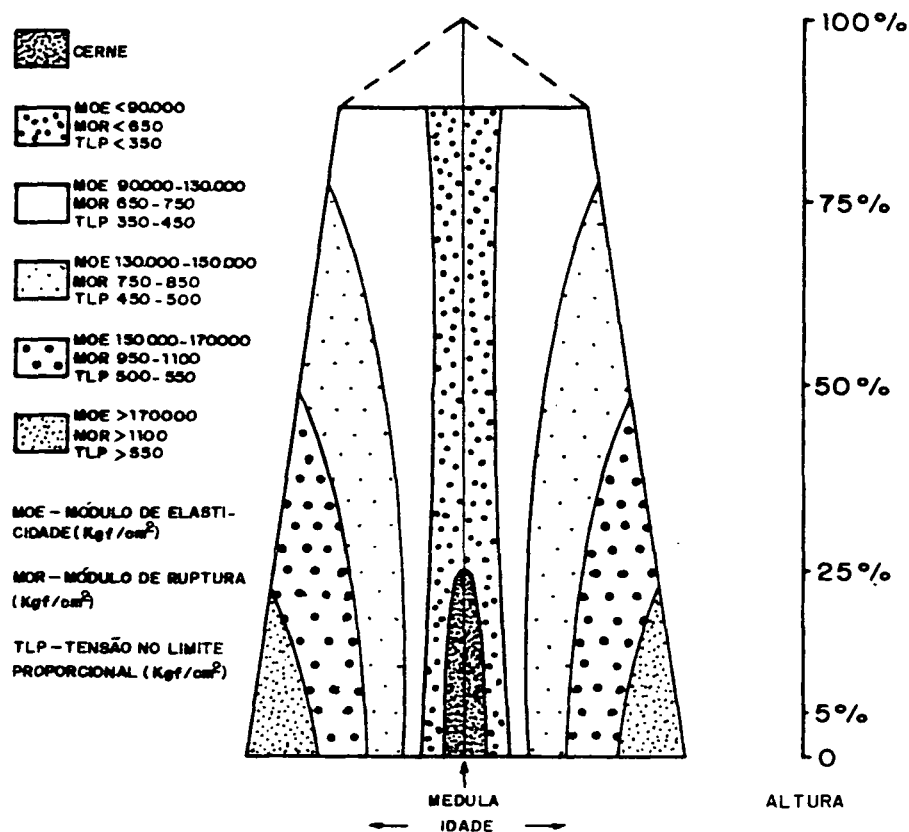


FIGURA 33 - DISTRIBUIÇÃO ESQUEMÁTICA DA RESISTÊNCIA DA MADEIRA À COMPRESSÃO PARALELA À GRÃ

Na análise de variância para detectar o efeito altura e posição da resistência à compressão paralela a grã (anexo A2-10, p.208) observou-se que não há diferenças com relação à altura sendo significativa a 1 % de probabilidade com respeito a posição:altura. Comprovando-se uma vez mais que as maiores variações sempre são no sentido radial.

A Figura 34 apresenta as correlações obtidas através de regressão linear, entre módulos de ruptura e de elasticidade, de compressão paralela à grã com a massa específica, determinada nos corpos de prova dos lenhos adulto e juvenil, para as duas espécies.

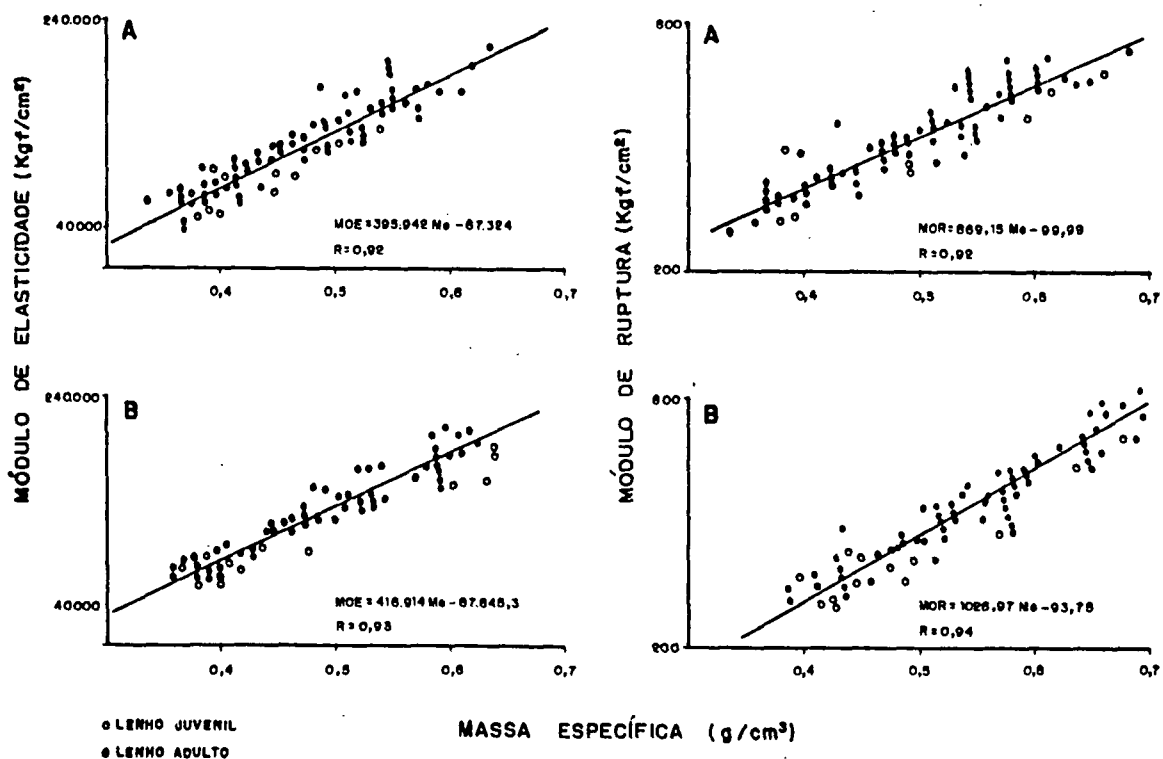


FIGURA 34- MODELO DE REGRESSÃO LINEAR PARA ESTIMAR O MÓDULO DE ELASTICIDADE E DE RUPTURA VERSUS MASSA ESPECÍFICA PARA *Pinus elliottii* (A) E *Pinus taeda* (B)

4.5.3 Modelos para Estimar as Propriedades Mecânicas

Com base nas correlações entre as variáveis para prognose da resistência, são apresentadas nas Tabelas 24 e 25 os modelos de regressão linear múltipla para estimar as propriedades mecânicas de resistência à flexão estática e à compressão paralela à grã para as duas espécies. Todos os modelos para estimar a resistência das duas espécies apresentados nesta Tabela apresentam valores de F significativos ($p < 0,01$). Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) dos modelos para estimar as propriedades mecânicas são relativamente bons.

Considerando-se que todas as variáveis independentes são de fácil obtenção, não existe nenhum limite para otimizar a quantidade destas variáveis nas estimativas das resistências à flexão estática e compressão paralela à grã, dentro das equações apresentadas nas Tabelas 24 e 25, mesmo quando se obtém ganhos pequenos no ajustamento da equação por ocasião da admissão de uma nova variável.

Estas equações são muito importantes uma vez que nos permite estimar estas propriedades que são trabalhosas de se obter no laboratório.

TABELA 24- EQUAÇÕES PARA ESTIMAR O MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE), MÓDULO DE RUPTURA (MOR) E TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

ESPÉCIE	PROPRIEDADE	MODELO E COEFICIENTES	R ²	F (1%)
<i>P. elliottii</i>				
Módulo de Elasticidade		Y = 75559,66 + 4390,24.R	0,64	157,14**
		Y = 80537,84 + 3625,84.I	0,62	141,91**
	*	Y = 53751,49 + 5141,09.R + 471,73.HR	0,75	119,57**
	*	Y = 46528,15 + 2635,94.I + 13474,99.ln(I) + 404,99.HR	0,75	95,05**
Módulo de Ruptura		Y = 509,86 + 23,59.R	0,72	248,43**
		Y = 537,80 + 19,97.I	0,70	209,48**
	*	Y = 344,50 + 27,06.R + 2,24.HR	0,81	188,04**
Tensão no limite proporcional		Y = 235,58 + 12,89.R	0,57	118,55**
		Y = 261,44 + 10,75.I	0,54	103,48**
	*	Y = 177,21 + 16,06.R + 2,09.HR	0,75	134,01**
<i>P. taeda</i>				
Módulo de Elasticidade		Y = 79369,74 + 4674,98.R	0,63	147,15**
		Y = 85357,46 + 3890,04.I	0,61	137,92**
	*	Y = 55620,93 + 5455,309.R + 505,62.HR	0,73	114,58**
Módulo de Ruptura		Y = 552,61 + 24,73.R	0,70	209,48**
		Y = 584,03 + 30,61.I	0,69	200,10**
	*	Y = 421,09 + 29,06.R + 2,80.HR	0,80	178,04**
Tensão no limite		Y = 268,62 + 14,48.R	0,58	121,54**
		Y = 287,96 + 11,98.I	0,55	109,03**
	*	Y = 137,88 + 16,95.R + 2,10.HR	0,76	126,55**

* Modelo que melhor se ajusta aos dados.

R = RAIO (cm); I = IDADE (anos); HR = ALTURA RELATIVA (%); NA = número de anéis por polegada.

TABELA 25 - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO MÚLTIPLA PARA ESTIMAR O MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE), MÓDULO DE RUPTURA (MOR) E TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA À GRÃ PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

ESPÉCIE	PROPRIEDADE	MODELO E COEFICIENTES	R ²	F (1%)
<i>P. elliottii</i>				
Módulo de Elasticidade		Y = 70526,07 + 5894,78.R	0,70	210,21**
		Y = 77719,95 + 4315,95.I	0,67	178,04**
		Y = - 65731,24 + 130146.(1/I) + 65259,58.ln(I) + 589,50.HR	0,87	179,97**
		Y = 32592 + 5857,05.R + 623,51.HR	0,85	257,00**
Módulo de Ruptura		Y = 286,51 + 11,71.R	0,71	191,90**
		Y = 299,37 + 9,99.I	0,66	164,79**
		Y = 230,63 + 14,55.R + 1,29.HR	0,81	174,44**
		Y = 200,08 + 5,93.I + 40,33.ln(I) + 1,13.HR	0,80	119,41**
		Y = 215,15 + 7,56.R + 0,87.HR + 18,23.NA	0,82	201,00**
Tensão no limite proporcional		Y = 167,72 + 8,56.R	0,73	249,89**
		Y = 175,48 + 9,57.I	0,70	219,67**
		Y = 108,79 + 10,54.R + 1,25.HR	0,83	211,43**
		* Y = 112,85 + 9,28.R + 1,11.HR + 9,01.NA	0,82	200,00**
<i>P. taeda</i>				
Módulo de Elasticidade		Y = 73526,25 + 5676,32.R	0,69	185,86**
		Y = 80870,03 + 4715,85.I	0,66	172,93**
		Y = - 70208,12 + 138232.(1/I) + 19998,21.ln(I) + 487,48.HR	0,84	168,41**
		* Y = 37663,24 + 7932,52.R + 557,62.HR	0,84	236,00**
Módulo de Ruptura		Y = 302,75 + 13,93.R	0,68	166,71**
		Y = 320,17 + 11,64.I	0,64	154,80**
		Y = 239,74 + 16,00.R + 1,341.HR	0,80	172,65**
		* Y = 208,83 + 10,24.R + 0,82.HR + 28,3.NA	0,81	199,00**
Tensão no limite proporcional		Y = 163,64 + 13,08.R	0,75	256,65**
		Y = 179,54 + 10,97.I	0,72	227,46**
		Y = 111,135 + 14,81.R + 1,12.HR	0,84	212,62**
		* Y = 67,89 + 14,73.R + 26,49.ln(HR)	0,84	213,12**

* Modelo que melhor se ajusta aos dados.

Y = RESISTÊNCIA; R = RAIO (cm); IDADE (anos); HR = ALTURA RELATIVA (%)

4.6 PROPRIEDADES DA MADEIRA E A SECAGEM

4.6.1 Taxa de Secagem a diferentes Temperaturas

Neste estudo adotaram-se os intervalos de umidade de madeira verde até 50%, de 50 a 30%, 30 a 20 % e 20 a 12%, madeira verde até 30% e 30 até 12%. Uma síntese dos resultados obtidos é apresentada na Tabela 26. Foram analisados com maiores detalhes os intervalos de verde até 30%, de verde até 12% e 30 até 12%; esses intervalos de umidade foram adotados em função dos fenômenos físicos que movimentam a umidade do interior para a superfície, acima e abaixo do ponto de saturação das fibras (30%).

Como se observa, a taxa de secagem aumenta com o aumento da temperatura para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*. Esta relação mostra claramente o efeito que a temperatura de secagem exerce sobre o movimento de umidade por difusão.

Este aumento da taxa de secagem com a temperatura é altamente significativo estatisticamente, como demonstra a análise da variância para todos os intervalos de umidade considerados (Anexo 4, p.214). Pode-se observar que qualquer aumento de temperatura proporciona um aumento significativo na taxa de secagem.

Foi levado também em consideração, através da análise de variância (Anexo A4-10, p.216 e 11, p. 217), o efeito da temperatura nas espécies e no lenho jüvenil e adulto. Observou-se que não houve diferença significativa na interação da temperatura com a espécie e, significativo a 1% de

TABELA 26 - TAXA DE SECAGEM MÉDIA PARA OS INTERVALOS DE UMIDADE DE VERDE ATÉ 50%, VERDE ATÉ 30%, VERDE ATÉ 12% , 50 ATÉ 30%, 30 ATÉ 20% , 20 ATÉ 12% E DE 30 A 12 % PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

TAXA DE SECAGEM (g/cm ² h) 10 ⁻²				
<i>Pinus elliottii</i>				
FAIXA DE UMIDADE	TEMPERATURA (°C)			
	20	50	80	120
VERDE ATÉ 50%	0,18043	0,76331	2,03353	5,38094
50 - 30%	0,13111	0,90076	1,56129	3,74061
30 - 20%	0,11668	0,56985	1,14779	3,00772
20 - 12%	0,02689	0,23967	0,78372	2,233795
30 - 12%	0,04001	0,25754	0,92521	2,57802
VERDE ATÉ 30%	0,12956	0,71488	1,90316	4,69090
VERDE ATÉ 12%	0,09721	0,61450	1,65065	4,08939
VERDE - 0%	0,08120	0,51555	1,106722	2,10106
<i>Pinus taeda</i>				
FAIXA DE UMIDADE	TEMPERATURA (°C)			
	20	50	80	120
VERDE ATÉ 50%	0,13993	0,81980	2,48509	5,04687
50 - 30%	0,13141	0,96820	1,58893	4,05448
30 - 20%	0,08043	0,48405	1,20312	3,26926
20 - 12%	0,03089	0,24362	0,92553	2,57230
30 - 12%	0,04337	0,29816	0,94406	2,75611
VERDE ATÉ 30%	0,13569	0,73275	2,07465	4,75978
VERDE ATÉ 12%	0,10305	0,60386	1,65883	4,21039
VERDE ATÉ 0%	0,09305	0,57504	1,06622	2,31742

probabilidade a interação entre temperatura e lenho juvenil e adulto. Isto sugere que seria conveniente a separação de madeira juvenil e adulta no processo de secagem.

A Figura 35 é mostrado o comportamento da taxa de secagem com relação à temperatura nos intervalos de umidade de verde até 12%, verde até 30 e de 30 até 12%, respectivamente.

As taxas de secagem podem ser determinadas pela seguinte equação: $y = ax^b$. No anexo A3 (1 e 2, p. 210 e 211) são apresentados os outros modelos testados. As equações apresentaram excelentes ajustes de dados, com coeficientes de determinação (R^2) variando de 0,89 a 0,96; portanto, dentro das limitações experimentais do estudo, podendo serem utilizadas para a estimativa das taxas de secagem de *Pinus elliotti* e *Pinus taeda*, em função das temperaturas.

Não foi observada, na Figura 35, a existência de uma mudança abrupta nas taxas de secagem obtidas em temperaturas imediatamente abaixo e acima do ponto de ebulição da água. Este fato já havia sido anteriormente observado por TOMASELLI (1981), sugerindo o referido autor que o fluxo hidrodinâmico está também presente abaixo do ponto de ebulição da água, e portanto, à medida que a temperatura aumenta, o fluxo hidrodinâmico tem uma maior participação no total da massa removida.

Um dos aspectos importantes mostrados na Figura é que o aumento da taxa de secagem não é totalmente linear em função do aumento da temperatura, como foi observado por HANN (1964).

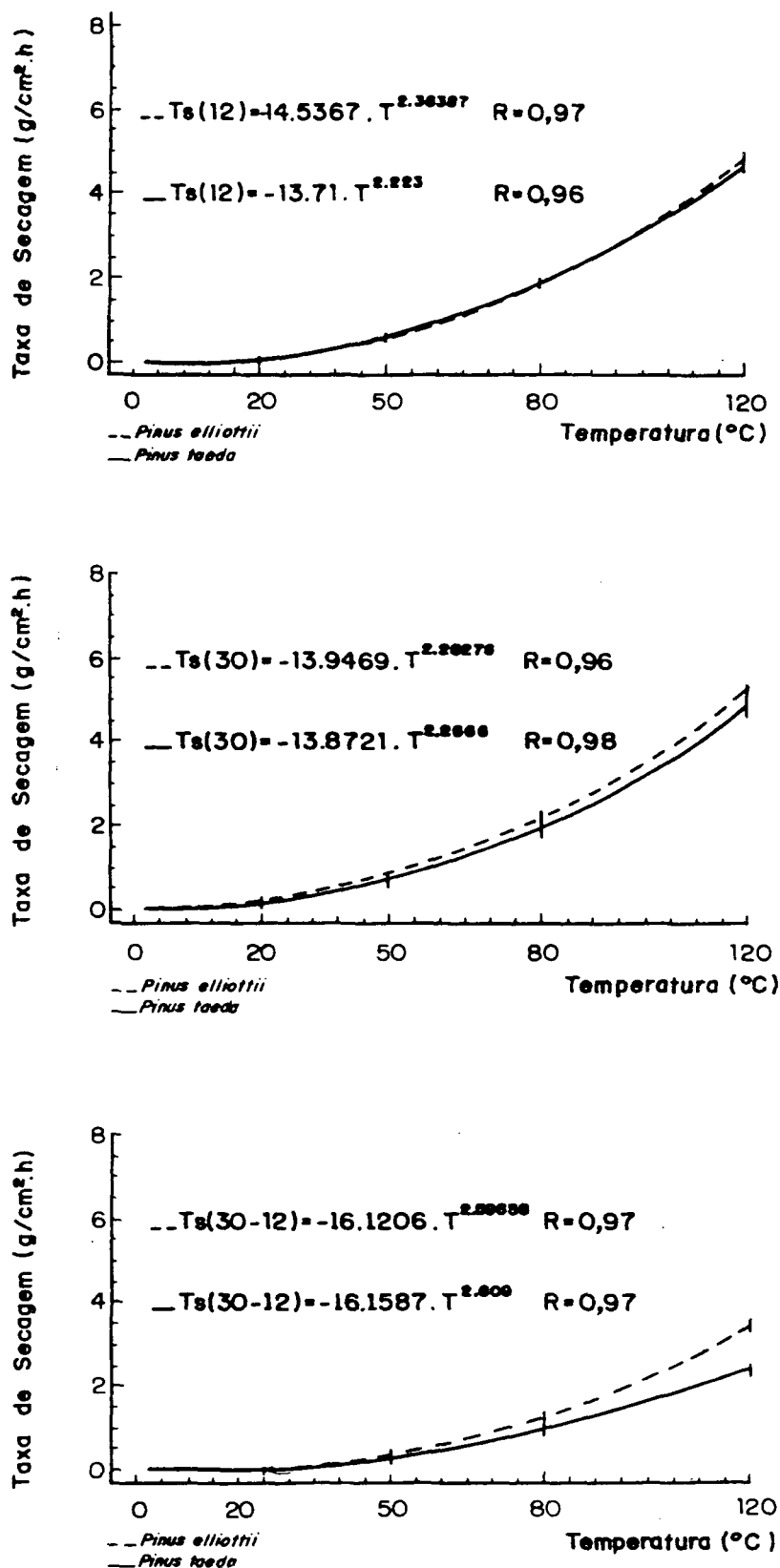


FIGURA 35 - COMPORTAMENTO DA TAXA DE SECAGEM COM A TEMPERATURA NOS INTERVALOS DE UMIDADE DE: VERDE ATÉ 12% (A) VERDE ATÉ 30% (B); E 30 A 12% (C) PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*.

Neste estudo, a transferência de calor, no caso dos experimentos conduzidos em estufa de laboratório, ocorreu primordialmente por radiação, embora a transferência de calor por convecção tenha também contribuído significativamente. Sabe-se que a transferência de calor, por radiação aumenta com a quarta potência da temperatura. Observações similares foram feitas por TOMASELLI (1981).

SEVERO (1989) também ajustou a função da equação multiplicativa aos dados para os intervalos verde até 30% e verde até 12%, na taxa de secagem de *Pinus elliottii*, em função das temperaturas e para uma determinada velocidade do ar. Para o intervalo de 30 a 12% o mesmo autor ajustou o modelo exponencial aos dados.

4.6.2 Efeito das Propriedades da Madeira na Secagem

4.6.2.1 Considerações gerais

Como foi analisada, no item anterior, a influência da temperatura na taxa de secagem para diferentes intervalos de umidade, é necessário agora considerar o grau de associação entre algumas características anatômicas, propriedades físicas e químicas da madeira e a taxa de secagem.

4.6.2.2 Características anatômicas

A estrutura anatômica da madeira de *Pinus*, como já foi discutido anteriormente, caracteriza-se especialmente por traqueóides axiais. A permeabilidade como se sabe, está em função direta das pontoações areoladas destes elementos, que se

transformam numa via de fluxo eficiente, como já foi afirmado por BAILEY & PRESTON (1960) e SMITH (1972). Se estas pontuações estiverem aspiradas, tornam-se um obstáculo ao fluxo de líquido. Os canais resiníferos, que possuem diâmetros maiores que os elementos traqueoidais, são os responsáveis pelo fluxo capilar.

No estudo da correlação entre as características anatômicas e a taxa de secagem foram observados coeficientes de determinação em torno de 0,50.

4.6.2.3 Propriedades Físicas

- Teor de umidade inicial

Um fator importante que deve ser levado em consideração é o teor de umidade inicial dos corpos de prova. Verificou-se nas quatro temperaturas estudadas (20, 50, 80 e 120°C) que, quanto mais elevado for o teor de umidade, maior é a taxa de secagem.

A correlação entre a taxa de secagem e o teor de umidade inicial, em função da temperatura de secagem, é mostrada na Figura 36, para ambas as espécies estudadas, nos intervalos de umidade de madeira verde até 30%, verde até 12% e a taxa de secagem ao teor de umidade final. Observou-se que os dados se ajustaram ao modelo $y = ax^b$, com bons coeficientes de correlação, indicando excelente ajuste das curvas.

É importante observar que os resultados desta pesquisa confirmam as suposições da teoria desenvolvida por TOMASELLI (1977), e mais tarde reafirmada por SANTINI (1980), sobre a correlação encontrada entre teor de umidade e taxa de secagem.

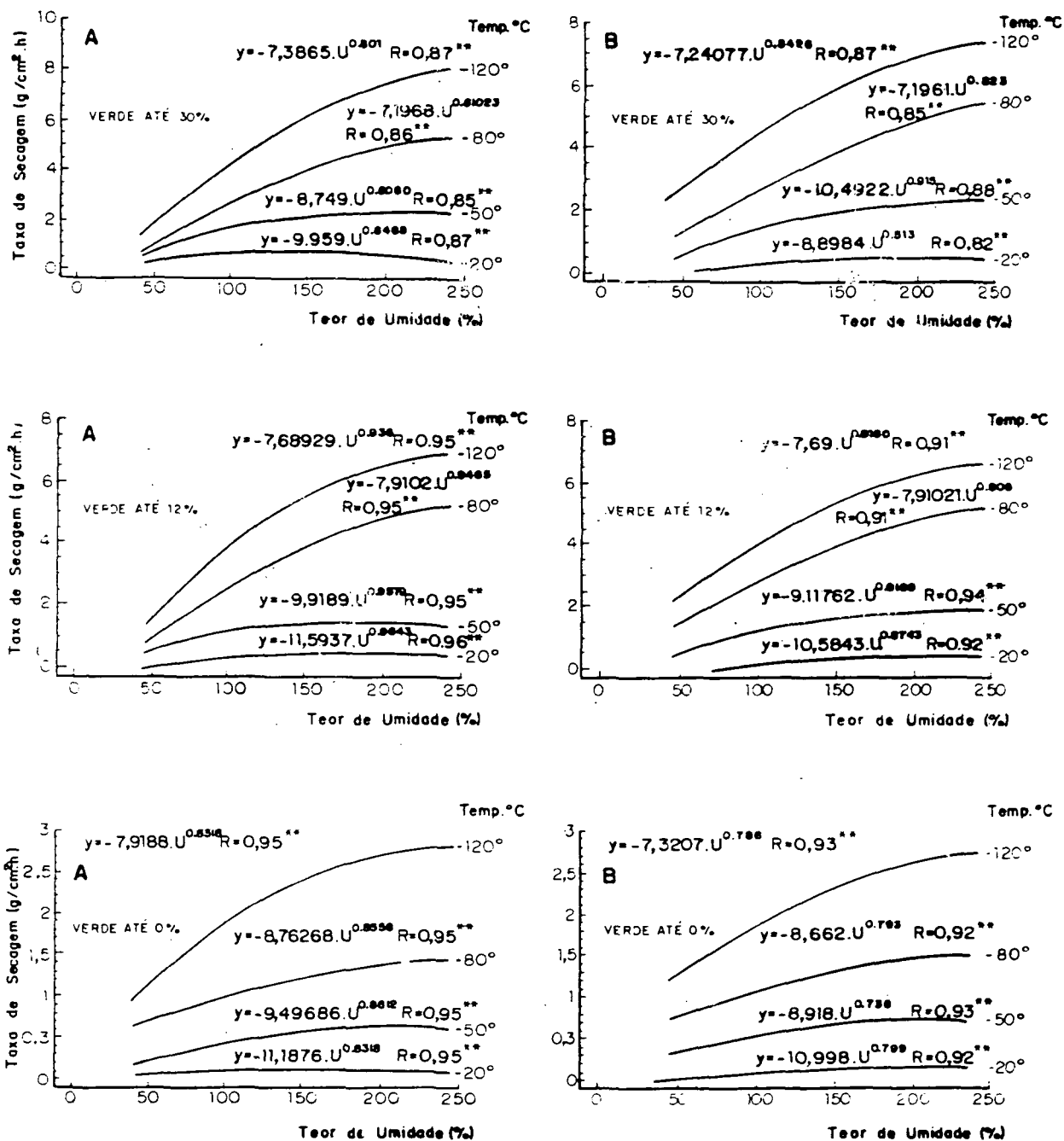


FIGURA 36 - INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE INICIAL NA TAXA DE SECAGEM A DIFERENTES TEMPERATURAS PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda* (R = coeficiente de correlação, U = umidade)

Na análise dos dados, observou-se que o teor de umidade inicial estava relacionado à porcentagem de madeira juvenil e adulta. Baseando-se neste aspecto, conforme cita TOMASELLI (1977), as seguintes ponderações foram feitas:

- a) a superfície da madeira, como definida por HANN (1965), é constituída principalmente por "picos" e "vales" ("peaks and valleys") e a água livre, na realidade, mesmo no início da secagem, se encontra acumulada nos "vales". O calor é transferido à superfície da madeira, e a transferência dos "picos" para os "vales", onde se encontra a maioria ou quase totalidade da água livre, depende da massa específica básica da madeira. A madeira adulta apresenta massa específica básica bem mais alta e, portanto, uma maior quantidade de calor é transferida para a área de maior concentração de umidade;
- b) A madeira juvenil possui células com paredes delgadas, e é esperado que os seus "picos" estejam secos antes que os "picos" da madeira adulta. Com a diminuição do teor de umidade, ocorre um aumento da temperatura; a transferência de calor por radiação à superfície, depende da diferença de temperatura existente na superfície do corpo emissor e do receptor;
- c) Um outro ponto a ser também considerado é o fato da condutividade térmica da madeira diminuir com o teor de umidade ($K_{ct} = D (4,8 + 0,09 u) + 0,57 \times 10^{-4}$, onde K_{ct} = condutividade térmica transversal (cal/cm °C. min); D = massa específica básica (g/cm³) e u =

teor de umidade (%)) e em consequência, este fato também estaria reduzindo a condução de calor dos "picos" para os "vales".

- Massa específica

A correlação da massa específica aparente no estado verde [MEu = (Mu/Vu)], determinada através da massa (Mu em g) e do volume (Vu/cm³) medidos no corpo de prova antes da entrada na estufa, teve uma alta correlação ($r^2 = 0,87$ a $0,94$) com a taxa de secagem aos diferentes intervalos de umidades analisados neste trabalho. Este fato é esperado e plenamente justificável já que a umidade mostrou uma alta correlação com a taxa de secagem como demonstrado no item anterior.

Foi observada uma correlação baixa entre a taxa de secagem e a massa específica básica ($r^2 = 0,50$ a $0,55$). A baixa correlação encontrada neste estudo deve-se provavelmente a que no processo de secagem participaram inúmeros fatores.

4.6.2.4 Extrativos da Madeira

A correlação dos extrativos da madeira solúveis em água quente e álcool-benzeno, em ambas espécies estudadas, mostraram coeficientes de correlação para os intervalos de umidades e para as diferentes temperaturas estudadas de $-0,50$ a $-0,56$, ajustando-se melhor aos dados o modelo multiplicativo $y = ax^b$. Os valores negativos dos coeficientes de correlação significam que com o aumento do conteúdo de extrativos há uma diminuição da taxa de secagem. Também foi observado que o teor de

extrativos solúveis em água quente e álcool-benzeno está inversamente relacionado com a contração volumétrica, ao passo que com o aumento da temperatura a valores acima de 80°C as duas variáveis passam a estar diretamente correlacionadas. Parece que, os extrativos agem como "bulking agents" reduzindo a contração à menores temperaturas. A temperaturas mais altas não haveria aumento da contração com o aumento do teor de extrativos devido à saída destes extrativos por exudação. Observações similares foram feitas por DEMAREE & ERICKSON (1976) sugerindo que os taninos sejam responsáveis por este fenômeno.

4.6.2.5 Modelos para Estimar a Taxa de Secagem

Na Tabela 27 são apresentados os modelos de regressão linear múltipla para a estimativa da taxa de secagem, para as diferentes temperaturas e intervalos de umidade de verde até 12% e verde até 30%. As características da madeira analisadas neste trabalho foram as variáveis independentes, selecionadas através do procedimento denominado Passo a Passo. Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) dos modelos foram altos e os F altamente significativos. Na maioria dos modelos a variável que foi mais significativa foi o teor de umidade. Este fato já era esperado uma vez que foi esta variável a que apresentou maior correlação.

RESCH & ECKLUND (1964), constataram que as propriedades físicas e a estrutura anatômica da madeira, unidas aos fatores externos (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar), também influenciam na taxa de secagem.

TABELA 27. MODELOS PARA ESTIMAR A TAXA DE SECAGEM A DIFERENTES INTERVALOS DE UMIDADE E TEMPERATURAS PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

TAXA DE SECAGEM INTERVALO DE UMIDADE T°C / ESPÉCIE	MODELO E COEFICIENTES	R ²	F
<i>Pinus elliottii</i>			
20°C			
VERDE ATÉ 12%	Y = 0,0014 + 2,63.10 ⁻⁶ .U + 0,0003.Ln(U) - 0,00243.EAQ + 0,00153.Ln(ME) Y = - 0,0012 - 0,00004.R + 0,00008.DI + 9,98.10 ⁻⁷ .U - 0,0001EAQ + 0,00009.NA - 0,0003.Ln(ME)	0,97	720,61** 456,2**
VERDE ATÉ 30%	Y = 0,00011 - 0,00158 + 5,58.10 ⁻⁷ .CF Y = 0,00063 - 0,00002.EAQ - 0,0016.ME + 4,54.10 ⁻⁷ .LT - 0,00002.Ln(U)	0,62 0,87	65,23** 453,34**
50°C			
VERDE ATÉ 12%	Y = - 0,01051 - 0,0036.ME + 0,0045.Ln(U) Y = - 0,0056 - 0,0002.EAQ - 0,0058.ME + 0,003848Ln(U)	0,84 0,85	245,78** 201,34**
VERDE ATÉ 30%	Y = - 0,01517 - 0,0056.ME + 0,0051.Ln(U) Y = - 0,0176 - 0,00002.HR + 0,00008.EAQ + 0,0056.ME + 0,00563.Ln(U)	0,81 0,85	187,63** 156,87**
80°C			
VERDE ATÉ 12%	Y = - 0,051 + 0,00112.DI + 0,00789Ln(U) Y = - 0,052 + 0,00115.DI + 0,000035.EAQ + 0,00796.Ln(U)	0,81 0,82	188,41** 179,96**
VERDE ATÉ 30%	Y = -0,063 - 0,000119.U + 0,0216Ln(U) Y = - 0,068 + 0,0014.DI + 0,013.ME + 0,0098.Ln(U) - 0,000446.NA Y = 0,0357 - 0,0023.EAQ	0,82 0,75 0,40	196,43** 99,78** 65,76**
120°C			
VERDE ATÉ 12%	Y = - 0,08235 + 0,000202.LT + 0,03156.Ln(U) - 0,001366.NA + 0,031Ln.ME Y = - 0,0829 + 0,03299.Ln(U) + 0,0359.Ln(ME) Y = - 0,0773 - 0,00036.EAQ + 0,0317.Ln(U) + 0,0339Ln(ME) Y = 0,059 - 0,0042.EAQ	0,87 0,84 0,84 0,45	145,48** 223,19** 148,84** 75,67**
VERDE ATÉ 30%	Y = - 0,0813 + 0,0338.Ln(U) + 0,037Ln(ME) Y = - 0,0913 + 0,0006.R + 0,0007.EAQ + 0,0317.Ln(U) + 0,025.Ln(ME) Y = - 0,0644 - 0,0045.EAQ	0,84 0,83 0,44	214,93** 210,45** 72,98**
<i>Pinus taeda</i>			
20°C			
VERDE ATÉ 12%	Y = -0,0028 + 0,00095.Ln(U) + 0,000745.Ln(ME) Y = - 0,0028 - 7,24.10 ⁻⁶ .EAQ + 0,00093.Ln(U) + 0,0007.Ln(ME)	0,96 0,96	664,23** 435,12**
VERDE ATÉ 30%	Y = 0,0116 + 7,22.10 ⁻⁶ .U - 0,0129.ME + 0,006278.Ln(ME)	0,96	487,86**
50°C			
VERDE ATÉ 12%	Y = -0,018 + 0,00648.Ln(U) + 0,0046.Ln(ME) Y = -0,018 + 6,8010 ⁻⁶ .HR - 0,0000033.EAQ + 0,0063.Ln(U) + 0,00459.Ln(ME)	0,85 0,88	265,46** 184,15**
VERDE ATÉ 30%	Y = -0,019 + 0,00749.Ln(U) + 0,0068.Ln(ME) Y = -0,019 + 0,000067.EAQ + 0,007292.Ln(U) + 0,0062.Ln(ME)	0,84 0,86	207,69** 176,43**
80°C			
VERDE ATÉ 12%	Y = -0,032 + 0,00007.LT + 0,01042.Ln(U) Y = -0,034 + 0,00013.LT + 0,00042.EAQ - 0,0037.ME + 0,010.Ln(U)	0,83 0,84	176,27** 157,69**
VERDE ATÉ 30%	Y = 0,021 - 0,0011.DI + 0,000011.CF Y = -0,030 + 0,000243.R + 0,011.Ln(U) Y = -0,036 + 0,00048.R + 0,00078.EAQ - 0,00576.ME + 0,012Ln(U)	0,59 0,79 0,84	75,54** 167,93** 127,51**
120°C			
VERDE ATÉ 12%	Y = -0,697 + 0,000076.HR + 0,02054.Ln(U) + 0,00201.NA Y = -0,082 + 0,00012.LT + 0,000091.HR + 0,02.ME + 0,022Ln(U)	0,85 0,86	140,97** 139,06**
VERDE ATÉ 30%	Y = -0,095 + 0,00018.HR + 0,0015.DI + 0,018.Ln(U) Y = 0,114 + 0,00018.HR + 0,0013.DI + 0,0269.ME + 0,021.Ln(U)	0,82 0,83	139,78** 112,06**

Y = TAXA DE SECAGEM; HR = ALTURA RELATIVA; R= RAI0; NA=NÚMERO DE ANÉIS POR POLEGADA; U=UMIDADE; ME = MASSA ESPECÍFICA; EAQ = EXTRATIVOS SOLÚVEIS EM ÁGUA QUENTE (%); CF = COMPRIMENTO DOS TRAQUEÓIDES (um), DI = DIÂMETRO INTERNO(um); LT = LERNO TARDIO(%)
** SIGNIFICATIVO A 1 % DE PROBABILIDADE

4.6.3 Efeito da Secagem nas Característica da Madeira

4.6.3.1 Contração da Madeira

Os valores obtidos para a contração radial (espessura), tangencial (largura) e volumétrica da madeira de *Pinus elliottii* var . *elliottii* e *Pinus taeda* seca nas diversas temperaturas, são apresentados na Tabela 28.

TABELA 28 - CONTRAÇÃO DA MADEIRA DE *Pinus elliottii* E *Pinus taeda* SECAS NAS DIVERSAS TEMPERATURAS.

ESPÉCIE/ TEMPERATURA °C	CONTRAÇÃO (%)		
	RADIAL	TANGENCIAL	VOLUMÉTRICA
<i>Pinus elliottii</i>			
20	3,77	6,57	10,73
50	3,94	6,79	10,89
80	4,06	6,89	11,02
120	4,20	6,95	11,16
<i>Pinus taeda</i>			
20	3,86	6,75	10,90
50	3,97	6,82	10,98
80	4,08	6,91	11,05
120	4,23	6,98	11,21

Como pode ser observado, à medida que a temperatura aumenta, existe uma tendência, embora não muito acentuada, de aumento nas contrações.

HANN (1964) já havia verificado o efeito da alta temperatura na contração da madeira. No início da secagem apenas as células superficiais perdem umidade, enquanto que as internas permanecem saturadas. Como a área de evaporação é maior no sentido da largura da peça, à medida que a secagem se intensifica, as células superficiais se contraem mais em espessura, gerando um esforço de tensão nas camadas das células internas. Estas por se encontrarem úmidas, geram um esforço de compressão nas camadas superficiais restringindo a sua contração em largura, ao passo que em espessura, esta restrição é praticamente inexistente (SKAAR, 1972). Portanto, o que influi na contração radial e tangencial é o formato do corpo de prova e não a orientação da grã.

4.6.3.2 Umidade de Equilíbrio

A importância do teor de umidade de equilíbrio foi estudada por vários autores, entre eles, KOLMANN & COTÉ (1968) e STAMM (1964). No âmbito desta pesquisa, a influência do teor de umidade de equilíbrio é significativa em termos de avaliar a estabilidade dimensional do material submetido aos diversos tratamentos.

O teor de umidade obtido para a madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* seca a diferentes temperaturas em estufa de laboratório, até um teor de umidade final correspondentes aos obtidos em cada temperatura e posteriormente acondicionado em ambiente com temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 3\%$, é mostrado na Tabela 29. Os dados apresentados representam médias de 90 corpos de prova para cada tratamento, intervalo de

confiança e o teste de Tukey.

Como pode ser observado, o teor de umidade de equilíbrio diminui com o aumento da temperatura de secagem. Esta variação no teor de umidade de equilíbrio é altamente significativa como demonstra a análise de variância (Anexo A4-9, p. 215). A Tabela 29 também apresenta o resultado de um teste posterior (Tukey) para identificar quais os tratamentos que apresentaram diferenças significativas entre si, comprovando-se que existem diferenças significativas no teor de umidade de equilíbrio, ao nível de 5 % de probabilidade, quando comparadas aos corpos de prova que foram acondicionados em câmara climatizada.

TABELA 29 - TEOR DE UMIDADE DE EQUILÍBRIO (Ueq) PARA MADEIRA DE *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

ESPÉCIE / TEMPERATURA °C	Nº	MÉDIA (Ueq)		ERRO PADRÃO	INTERVALO DE CONFIANÇA (95%)	
<i>Pinus elliottii</i>						
25	90	14,87	a	0,08	14,72	- 15,02
50	90	12,19	b	0,09	12,04	- 12,33
80	90	11,44	b	0,09	11,29	- 11,52
120	90	9,17	c	0,07	9,0	- 9,34
<i>Pinus taeda</i>						
25	90	14,95	a	0,06	14,83	- 15,07
50	90	12,36	b	0,06	12,25	- 12,47
80	90	11,83	b	0,08	11,70	- 11,93
120	90	9,45	c	0,05	9,34	- 9,57

As médias seguidas pela letras, diferem estatisticamente entre si, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

O teor de umidade de equilíbrio é o mesmo para 50 e 80°C, sendo que com a aplicação de alta temperatura mais elevada existe uma redução significativa.

A redução do teor de umidade de equilíbrio é provavelmente devido a pequenas mudanças na estrutura química, em especial à degradação térmica parcial das hemiceluloses (STAMM, 1964), que depende em grande parte da temperatura (SKAAR, 1976).

A grande vantagem da redução do teor de equilíbrio foi quantificada por STAMM et. al (1955), em termos de estabilidade dimensional da madeira. A quantidade de estabilização obtida pode ser expressa por um fator, denominado pelos autores como "eficiência anti-contração", que é calculado utilizando a seguinte equação:

$$A_E = 100 (M_n - M_{ht}) / M_n$$

onde:

A_E = eficiência anti-contração (%)

M_n = teor de umidade de equilíbrio da madeira seca à temperatura normal (%)

M_{ht} = teor de umidade de equilíbrio da madeira seca em temperaturas elevadas (%).

Considerando-se o valor M_n igual ao obtido para madeira seca a 20°C, consegue-se uma "eficiência de anti-contração" de aproximadamente 38% para *Pinus elliottii* e 36% para *Pinus taeda* (para a secagem conduzida a 120°C). Isto significa que a contração e inchamento esperados de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, seco a 120°C, causem uma redução em flutuações

subsequentes de umidade, de 45 e 43%, respectivamente para ambas as espécies, quando comparados com madeira seca a 20°C, o que é um alto ganho em estabilidade dimensional. Para temperaturas mais baixas, o A_E é menor, por exemplo, a 80°C o ganho em estabilidade dimensional em relação à madeira seca a 20°C é de 23,08% para *Pinus elliottii* e 20,96% para *Pinus taeda*. Para a temperatura de 50°C, para ambas as espécies, o ganho é de 18,06% e 17,31%, respectivamente, o que ainda é bastante significativo.

4.6.3.3 Massa Específica Aparente

Para a observação do efeito da temperatura de secagem, na madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, todos os corpos de prova foram acondicionados à temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%.

Em função da temperatura de secagem, em ambas as espécies estudadas, houve um pequeno aumento na massa específica, quando aumentada a temperatura. A análise de variância (anexo A4-10, p.216) não mostrou diferenças significativas entre os tratamentos para as duas espécies.

4.6.3.4 Outras observações

Apesar de não ter sido o objetivo deste estudo avaliar o efeito dos vários tratamentos na qualidade da superfície e no nível de defeitos, algumas observações foram feitas.

De uma maneira geral, a madeira, proveniente dos

tratamentos onde foram testadas as temperaturas de 20 e 50°C, apresentou uma mudança da cor natural para uma tonalidade amarelada, enquanto que a madeira, proveniente dos tratamentos onde foram testadas as temperaturas de 80 e 120°C, apresentou um escurecimento superficial. Para TOMASELLI & GROSSMANN (1980), este escurecimento é provavelmente resultado de uma maior transferência de calor à superfície da madeira.

O aumento da temperatura, principalmente a 120°C, fez com que surgissem exudações de resina nos corpos de prova que apresentavam cerne.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A sistemática adotada possibilitou uma perfeita caracterização do material e desenvolvimento de modelos para estimar propriedades e correlacioná-las, considerando as limitações deste experimento.

Com base nos resultados apresentados para as propriedades pode-se concluir que:

1. O comprimento e o diâmetro externo e interno dos traqueóides axiais aumentam na direção longitudinal da árvore até 50% da altura comercial. Estas características se repetem também na direção medula-casca, sendo que os maiores aumentos ocorrem nos primeiros dez anéis de crescimento, havendo uma diminuição gradativa no aumento para os anéis subsequentes. Nenhuma diferença significativa pode ser observada entre as duas espécies.

2. A espessura da parede dos traqueóides axiais tende a decrescer na razão inversa à altura na árvore, aumentando à medida que se afasta da medula em direção à casca. Isto é o 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 a espessura da parede dos traqueóides está diretamente correlacionada com estas variáveis.

3. A porcentagem de lenho tardio determinada para as duas espécies, apresentou a mesma tendência observada para espessura da parede dos traqueóides axiais e a massa específica. A porcentagem de lenho tardio na madeira adulta foi 85% superior à observada na juvenil. A alta correlação verificada entre a massa específica e a porcentagem de lenho tardio (0,94 - 0,96), evidencia a importância do lenho tardio sobre as propriedades da madeira.

4. A tendência geral observada, para as duas espécies, é de um acréscimo no conteúdo de extrativos à medida que se aproxima da medula, sendo que os maiores aumentos ocorrem no lenho juvenil, devido a formação do cerne, onde se acumula maior quantidade de extrativos e resina. Existe igualmente, uma tendência bem definida quanto à altura na árvore, verificando-se que o conteúdo médio dos extrativos diminui com o aumento na altura. Observa-se internamente que o conteúdo de extrativos do cerne decresce com a altura, até um certo ponto, tendendo depois a manter-se constante, enquanto que na parte externa do lenho, o conteúdo tende a aumentar levemente com a altura.

5. O teor de umidade nas espécies estudadas varia consideravelmente na árvore, tanto no sentido radial como em altura. A variação mais significativa foi encontrada na faixa de transição do alburno (120%) para o cerne (30-60%), aumentando também em relação à altura na árvore.

6. A massa específica básica decresceu com a altura no tronco. O decréscimo entre a altura relativa de 5% (1,30 m) e a altura comercial (diâmetro na Hc = 5 cm) foi cerca de 18%.

Esta tendência confirma o padrão de variação longitudinal da massa específica no tronco de espécies do gênero *Pinus*.

7. Os valores de massa específica variaram consideravelmente no sentido horizontal do tronco, pela idade e afastamento da medula. Mudanças similares também ocorrem na largura do anel, porcentagem de lenho tardio e dimensões das células. No lenho juvenil observou-se (nas duas espécies) um decréscimo na massa específica básica e na porcentagem de lenho tardio e um acréscimo na largura do anel de crescimento. No lenho adulto observa-se o contrário, ou seja, existe um aumento da massa específica e da porcentagem de lenho tardio e uma diminuição na largura do anel. A massa específica do lenho adulto das duas espécies foi cerca de 22 - 23% maior do que a do lenho juvenil.

8. A propriedade de retratibilidade determinada para os lenhos juvenil e adulto das duas espécies, confirma as diferenças existentes entre os mesmos. As contrações volumétricas máximas do lenho juvenil mostraram-se menores (9,15 a 9,30%), comparada ao lenho adulto (12,22 a 12,38%). As contrações volumétricas, tangencial e radial, aumentaram no sentido medula-casca, diminuindo com a altura; a contração longitudinal e anisotropia de contração apresentaram uma relação inversa das anteriores.

9. As contrações volumétricas máxima, radial e tangencial mostraram alta correlação com a massa específica; a contração longitudinal e anisotropia de contração apresentaram uma correlação inversa em relação a massa específica.

10. A madeira formada nos primeiros anéis (lenho juvenil) quando comparada ao lenho adulto, apresentou menores porcentagens de lenho tardio, massa específica e contrações (volumétrica, radial e tangencial), paredes celulares mais finas e menor resistência à flexão estática e compressão paralela à grã. Os traqueóides axiais são mais curtos, e apresentaram maior contração longitudinal, anisotropia de contração e conteúdo de extrativos.

11. A parte central do tronco, com aproximadamente 10 cm de diâmetro, apresentou baixa resistência à flexão estática e à compressão paralela à grã; a partir daí os valores aumentaram acentuadamente na direção da casca. Acredita-se que a influência da madeira juvenil deixa de existir acima deste diâmetro. É conveniente, portanto, que todos os defeitos da madeira (madeira juvenil, nós) concentrem-se dentro do cilindro de 10 cm, os quais poderiam ser isolados nas serrarias por técnicas de cortes especiais. Esta porção central terá, sem dúvida, um aproveitamento menos nobre, enquanto que a madeira de melhor qualidade, estará nas partes externas.

12. A resistência mecânica (flexão estática e compressão paralela à grã) aumentou da medula para a casca em todas as seções, da base até o topo. Esta análise é importante, principalmente para as espécies que apresentam grande conicidade, pois em princípio, adotando-se técnicas de desdobra que conduzam a cortes paralelos à casca (e não paralelos à medula), aproveitar-se-ia o material nos pontos de maior resistência da tora. Neste caso, o resíduo que se perde

normalmente nas costaneiras, seria perdido na porção central de 10 cm. Por outro lado, a resistência diminui muito pouco com a altura, mostrando que não é só a tora da base que pode ser utilizada na estrutura. São necessárias, porém medidas de controle da desrama, para diminuir a conicidade e os tamanhos dos nós, na maior altura possível da árvore. Esta medida silvicultural deverá, evidentemente, estar associada à outras técnicas de condução dos povoamentos. Os resultados obtidos para as propriedades de resistência, seguem de maneira geral, a tendência apresentada pela massa específica, que foi maior para o lenho adulto.

13. As propriedades de resistência, em termos de módulos de ruptura e de elasticidade, tanto de flexão estática como de compressão paralela às fibras, mostraram altas correlações (0,93 a 0,96) ajustadas por regressão linear simples, indicando uma forte dependência da massa específica.

Com relação às equações de regressão desenvolvidas para estimar as características anatômicas, químicas, propriedades físicas e mecânicas, com base no raio transversal do tronco, idade e altura relativa na árvore atingiram excelentes coeficientes de correlação, concluindo-se que:

1. Todas as variáveis independentes (raio, idade e altura relativa) que fazem parte das equações de regressão são de fácil obtenção. As equações consideradas como fundamentais para a utilização final da madeira, apresentaram bons resultados, atingindo excelentes coeficientes de correlação múltipla, permitindo estimar as propriedades da madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

2. Em comparação às equações de regressão desenvolvidas anteriormente, principalmente em relação à massa específica, os coeficientes de correlação múltipla alcançados garantem uma maior precisão nas estimativas para uma determinada posição nas árvores destas espécies, com ajustes superiores a 90%.

3. As equações de regressão desenvolvidas para as estimativas das características morfológicas dos traqueóides axiais, da porcentagem de lenho outonal e conteúdo de extrativos da madeira, poderão ser de grande utilidade, através do prévio conhecimento dos índices a serem utilizados no controle de qualidade do papel, na otimização da quantidade de produtos químicos empregados para a eliminação do excesso de resina no processo industrial e, também, na extração comercial da resina.

4. Com a existência de equações para estimar as propriedades da madeira, pode-se estimar com segurança, em função das variáveis independentes, a qualidade dos produtos da madeira a ser industrializada.

Com base nos resultados apresentados para os estudos de secagem de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, conclui-se que:

1. A equação desenvolvida neste estudo, correlacionando temperatura e taxa de secagem para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* apresentou excelentes ajustes ($r^2 = 0,90$ a $0,97$).

2. A taxa de secagem é tanto maior quanto mais elevado for o teor de umidade inicial, tendo sido observada boa

correlação entre estes dois fatores. A equação que melhor ajustou os resultados foi a multiplicativa, sendo que a causa provável desta tendência foi a presença de corpos de prova com lenho juvenil e adulto.

3. O teor de umidade de equilíbrio diminui com o aumento da temperatura, principalmente quando se considera a temperatura de secagem de 120°C. Utilizando-se equações propostas por outros pesquisadores, é esperado que o material seco a 120°C seja cerca de 38% (*Pinus elliottii*) e 36% (*Pinus taeda*) mais estável dimensionalmente do que o seco a 20°C ± 2°C. Este valor representa um ganho considerável em estabilidade dimensional.

4. A massa específica aparente da madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* foi pouco afetada pelo aumento da temperatura. As pequenas diferenças observadas não foram estatisticamente significativas, mas é provável que elas sejam devidas ao aumento da contração causada pela elevação da temperatura de secagem.

5. As equações desenvolvidas, correlacionando as características morfológicas dos traqueóides, conteúdo de extrativos e propriedades físicas com a taxa de secagem para *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, apresentaram excelentes ajustes.

Com base nas conclusões aqui apresentadas, recomenda-se:

a) A condução de pesquisas visando a adequação da utilização da madeira sólida das espécies estudadas, considerando-se as características distintas entre os lenhos

juvenil e adulto.

b) Considerar nos estudos de seleção e melhoramento genético, as propriedades do lenho juvenil (seleção de matrizes com lenho juvenil com características superiores à média), o que possibilitaria a obtenção de madeira juvenil com propriedades mais desejáveis.

c) Dar ênfase à qualidade da madeira nos aspectos relacionados às propriedades físicas e mecânicas, quando da condução de programas de melhoramento e planos de manejo, compatibilizando estes aspectos aos objetivos de rápido crescimento e boa forma das árvores.

d) Levar em consideração a variação das propriedades da madeira no tronco das árvores das espécies em questão, nos estudos de desenvolvimento de produtos e sua aplicação.

e) Aprofundar os estudos de correlações considerando médias ponderadas de participação relativa das diversas porções de lenho no volume total da árvore.

f) Testar os modelos de correlação aqui desenvolvidos quanto à sua aplicabilidade para outras idades e procedências.

ANEXO 1
PROPRIEDADES DA MADEIRA

A1-1 Média, coeficiente de variação e valores máximos e mínimos das propriedades de resistência e massa específica para *Pinus elliottii*

Propriedades	Unidade	Média	CV(%)	Mínimo	Máximo
Massa específica	g/cm ³	0,518	6,6	0,343	0,69
Flexão estática					
MOE	Kgf/cm ²	123870,75	21,43	57684,54	221345
MOR	Kgf/cm ²	784,72	12,78	380,43	1297
TLP	Kgf/cm ²	407,08	10,21	189,23	634
Compressão paralela à grã					
MOE	Kgf/cm ²	126691,75	20,54	59783,00	226014
MOR	Kgf/cm ²	434,56	11,99	140,5	733,3
TLP	Kgf/cm ²	262,56	10,89	94,76	497,61

A1-2 Média, coeficiente de variação e valores máximos e mínimos das propriedades de resistência e massa específica para *Pinus taeda*

Propriedades	Unidade	Média	CV(%)	Mínimo	Máximo
Massa específica	g/cm ³	0,524	5,9	0,380	0,70
Flexão estática					
MOE	Kgf/cm ²	124385,75	20,96	59589,85	232899
MOR	Kgf/cm ²	790,04	11,65	389,23	1322
TLP	Kgf/cm ²	409,23	9,87	190,09	649
Compressão paralela à grã					
MOE	Kgf/cm ²	127746,00	21,04	60806,00	264068
MOR	Kgf/cm ²	436,01	10,34	143,9	742,5
TLP	Kgf/cm ²	265,37	10,01	99,34	500,03

ANEXO 2
ANÁLISES DE VARIÂNCIA

A2- 1. ANÁLISE DE VARIANÇIA PARA OS CARACTERES MORFOLÓGICOS DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS PARA *P.elliottii*

Fonte de variação	G.L	COMPRIMENTO		DIÂMETRO EXTERNO		DIÂMETRO INTERNO		ESPESSURA DA PAREDE	
		Quadrado médio	F	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Altura	3	234217,7	0,308 ^{ns}	77,561	0,89 ^{ns}	16,166	2,44 ^{ns}	7,223	0,557 ^{ns}
Posição:Altura	14	759668,78	824,51 ^{**}	87,516	89,04 ^{**}	10,254	17,79 ^{**}	13,561	117,50 ^{**}
Resíduo	72	921,27		0,983		0,983		0,115	
TOTAL	89								

A2-2. ANÁLISE DE VARIANÇIA PARA OS CARACTERES MORFOLÓGICOS DOS TRAQUEÓIDES AXIAIS PARA *Pinus taeda*

Fonte de variação	G.L	COMPRIMENTO		DIÂMETRO EXTERNO		DIÂMETRO INTERNO		ESPESSURA DA PAREDE	
		Quadrado médio	F	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Altura	3	140677,18	0,145 ^{ns}	75,684	0,69 ^{ns}	13,028	1,13 ^{ns}	6,943	0,46 ^{ns}
Posição:Altura	14	965193,90	764,07 ^{**}	110,04	71,97 ^{**}	110,04	9,18 ^{**}	15,143	196,79 ^{**}
Resíduo	72	1263,23		1,529		1,256		0,105	
TOTAL	89								

A2-3 . ANÁLISE DE VARIANÇIA PARA A PORCENTAGEM DE LENHO TARDIO DE *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

Fonte de variação	G.L	<i>Pinus elliottii</i>		<i>Pinus taeda</i>	
		Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Altura	3	236,286	0,15 ^{ns}	64,72	0,040 ^{ns}
Posição:Altura	14	1556,025	454,98 ^{**}	1598,13	532,71 [*]
Resíduo	72	3,42		3,00	
TOTAL	89				

** - significativo a 1% de probabilidade
ns - não significativo

A2-4 . ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O CONTEÛDO DE EXTRATIVOS SOLUVÉIS EM ÁGUA QUENTE E ALCOOL-BENZENO PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

Fonte de variação	<i>Pinus elliottii</i>					<i>Pinus taeda</i>			
	G.L	ÁGUA QUENTE		ALCOOL-BENZENO		ÁGUA QUENTE		ALCOOL-BENZENO	
		Quadrado médio	F	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Altura	3	0,159	0,005 ^{ns}	0,882	0,027 ^{ns}	0,385	0,019 ^{ns}	0,560	0,029 ^{ns}
Posição:Altura	14	31,144	173,99 ^{**}	32,889	204,28 ^{**}	20,222	156,76 ^{**}	19,554	283,39 ^{**}
Resíduo	72	0,179		0,161		0,129		0,069	
TOTAL	89								

A2-5. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA O TEOR DE UMIDADE DE *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*.

Fonte de variação	<i>Pinus elliottii</i>			<i>Pinus taeda</i>	
	G.L	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Altura	3	7408,14	1,290 ^{ns}	5007,32	1,28
Posição:Altura	14	5704,19	3,53 ^{**}	3914,38	4,02 ^{**}
Resíduo	72	1615,70		973,48	
TOTAL	89				

A2-6. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A MASSA ESPECÍFICA PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

Fonte de variação	<i>Pinus elliottii</i>			<i>Pinus taeda</i>	
	G,L	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Altura	3	0,01181	0,38 ^{ns}	0,00762	0,17 ^{ns}
Posição:Altura	14	0,03087	106,44 ^{**}	0,04476	179,04 ^{**}
Resíduo	72	0,00029		0,00025	
TOTAL	89				

** significativo a 1% de probabilidade
ns - não significativo

A2- 7. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTRAÇÕES VOLUMÉTRICA, TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL PARA *P.elliottii*

Fonte de variação	G.L	VOLÚMETRICA		TANGENCIAL		RADIAL		LONGITUDINAL	
		Quadrado médio	F	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Altura	3	0,00924	0,22 ^{ns}	5,3369	1,415 ^{ns}	0,01893	1,166 ^{ns}	0,00584	0,393 ^{ns}
Posição:Altura	14	0,04152	4,379 ^{**}	3,6948	4,789 ^{**}	0,09975	4,138 ^{**}	0,01486	7,399 ^{**}
Resíduo	72	0,01032		0,7714		0,02411		0,00201	
TOTAL	89								

A2- 8 . ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONTRAÇÕES VOLUMÉTRICA, TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL PARA *Pinus taeda*

Fonte de variação	G.L	VOLÚMETRICA		TANGENCIAL		RADIAL		LONGITUDINAL	
		Quadrado médio	F	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Altura	3	0,006106	0,11 ^{ns}	4,9236	1,3421 ^{ns}	0,03160	0,611 ^{ns}	0,00564	0,282 ^{ns}
Posição:Altura	14	0,05327	5,806 ^{**}	3,6686	5,869 ^{**}	0,05816	4,028 ^{**}	0,01999	11,762 ^{**}
Resíduo	72	0,00918		0,6250		0,01448		0,00170	
TOTAL	89								

** significativo a 1 % de probabilidade
ns - não significativo

A2- 9. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA RESISTÊNCIA A FLEXÃO
ESTÁTICA DE *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*.

FLEXÃO ESTÁTICA
Pinus elliottii

FONTE DE VARIAÇÃO	G.L.	MÓDULO DE ELASTICIDADE MOE		MÓDULO DE RUPTURA MOR		TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL TLP	
		Q.M	F	Q.M	F	Q.M.	F
Altura	3	4,068E08	2,22 ^{ns}	578,5126	0,0169 ^{ns}	5330,277	0,345 ^{ns}
Posição:Altura	14	7,1073E09	38,36 [†]	34205,547	38,37 [†]	15437,185	28,177 [†]
Resíduo	72	1,8289E08		891,337		547,851	
TOTAL	89						

FLEXÃO ESTÁTICA
Pinus taeda

FONTE DE VARIAÇÃO	G.L.	MÓDULO DE ELASTICIDADE MOE		MÓDULO DE RUPTURA MOR		TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL TLP	
		Q.M	F	Q.M	F	Q.M.	F
Altura	3	1,8984E08	0,37 ^{ns}	618,456	0,0116 ^{ns}	843,153	0,018 ^{ns}
Posição:Altura	14	9,0906E09	18,07 [†]	53438,577	17,57 [†]	45512,482	35,487 [†]
Resíduo	72	5,0312E08		3041,795		1282,639	
TOTAL	89						

Q.M. = Quadrado médio

†† - significativo a 1 % de probabilidade

ns - não significativo

A2-10 . ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO
PARALELA A GRÃ DE *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*.

COMPRESSÃO PARALELA
Pinus elliottii

FONTE DE VARIAÇÃO	G.L.	MÓDULO DE ELASTICIDADE MOEc		MÓDULO DE RUPTURA MORc		TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL TLPc	
		Q.M	F	Q.M	F	Q.M.	F
Altura	3	4,1760E07	0,14 ^{ns}	957,615	0,0063 ^{ns}	9857,897	0,186 ^{ns}
Posição:Altura	14	6,8338E10	16,87 [*]	149955,200	26,12 [*]	52865,292	16,35 [*]
Resíduo	72	2,8939E08		5741,10			3233,839
TOTAL	89						

COMPRESSÃO PARALELA
Pinus taeda

FONTE DE VARIAÇÃO	G.L.	MÓDULO DE ELASTICIDADE MOEc		MÓDULO DE RUPTURA MORc		TENSÃO NO LIMITE PROPORCIONAL TLPc	
		Q.M	F	Q.M	F	Q.M.	F
Altura	3	3,7833E07	0,08 ^{ns}	2136,959	0,0123 ^{ns}	3134,035	0,049 ^{ns}
Posição:Altura	14	8,6670E10	13,45 [*]	173606,06	10,83 [*]	63575,26	17,33 [*]
Resíduo	72	4,6009E08		16027,93		3668,568	
TOTAL	89						

Q.M. - Quadrado médio

ns - Não significativo

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

ANEXO 3

EQUAÇÕES PARA DETERMINAÇÃO DAS TAXAS DE SECAGEM EM FUNÇÃO DA
TEMPERATURA

A3-1. Equações para a determinação das taxas de secagem de *Pinus elliottii* em função da temperatura.

TAXA DE SECAGEM	MODELO	ESTIMATIVA DOS PARAMETROS		NÍVEL DE SIGNIFICANCIA			
		a	b	F	R2	R	Sxy
verde-50	$y = a + bX$	- 0,01697363	5,5082E-4	840,58	70,13	0,84	0,012
	$y = aX^b$	-14,0216	2,30421	3315,56	90,25	0,95	0,44
	$y = e^{a + bx}$	- 7,15959	0,03677	1984,80	84,72	0,92	0,55
50 - 30	$y = a + bX$	- 9,73347E-3	3,71897E-4	806,19	69,25	0,83	8,8E-3
	$y = aX^b$	-13,1745	2,06213	2883,80	88,95	0,94	0,425
	$y = e^{a + bx}$	- 6,996	0,03236	1502,94	80,76	0,90	0,561
30 - 20	$y = a + bX$	- 8,6166E-3	3,01407E-4	583,43	61,97	0,79	3,9E-3
	$y = aX^b$	-13,3085	2,01946	2324,09	86,65	0,93	0,463
	$y = e^{a + bx}$	- 7,299	0,03229	1599,57	81,71	0,90	0,542
20 - 12	$y = a + bX$	- 8,3741E-3	2,45014E-4	495,44	58,05	0,76	7,4E-3
	$y = aX^b$	-17,1731	2,78991	5136,59	93,48	0,97	0,43
	$y = e^{a + bx}$	- 8,84122	0,04418	2277,16	86,41	0,93	0,62
30 - 12	$y = a + bX$	- 8,76694E-3	2,68275E-4	631,92	63,84	0,80	7,2E-3
	$y = aX^b$	-16,1206	2,59658	5345,76	93,72	0,97	0,39
	$y = e^{a + bx}$	- 8,35798	0,04099	2225,99	86,14	0,93	0,58
verde-30	$y = a + bX$	- 0,0146567	4,83685E-4	1194,63	76,74	0,88	9,4E-3
	$y = aX^b$	-13,9469	2,26276	2933,93	89,12	0,94	0,46
	$y = e^{a + bx}$	- 7,20614	0,0360758	1813,44	83,51	0,91	0,56
verde-12	$y = a + bX$	- 0,0129633	4,23166E-4	1337,33	78,88	0,89	7,E-3
	$y = aX^b$	-14,5367	2,36386	3459,23	95,62	0,97	0,44
	$y = e^{a + bx}$	- 7,47991	0,03747	1872,18	83,95	0,92	0,58
verde-0	$y = a + bX$	- 5,17192E-3	2,12138E-4	1353,51	79,08	0,89	3,87-3
	$y = aX^b$	-13,6973	2,06691	2327,34	86,67	0,93	0,47
	$y = e^{a + bx}$	- 7,48622	0,0321713	1226,29	77,40	0,88	0,61

Y = Taxa de secagem

X = Temperatura

A3-2. Equações para a determinação das taxas de secagem de *Pinus taeda* em função da temperatura.

TAXA DE SECAGEM	MODELO	ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS		NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA			
		a	b	F	R ²	R	Sxy
verde-50	$y = a + bX$	- 0,0150881	5,2825E-4	1383,48	79,44	0,89	9,5E-3
	$y = aX^b$	-14,113	2,3384	4338,38	92,38	0,96	0,39
	$y = e^{a + bx}$	- 7,12531	0,03697	2046,01	85,11	0,92	0,55
50 - 30	$y = a + bX$	- 0,0107814	4,02022E-4	676,09	65,38	0,81	0,01
	$y = aX^b$	-13,3002	2,09658	2451,41	87,26	0,93	0,46
	$y = e^{a + bx}$	- 7,0355	0,03315	1470,11	80,42	0,89	0,58
30 - 20	$y = a + bX$	- 0,0104887	3,35721E-4	516,65	59,07	0,77	9,9E-3
	$y = aX^b$	-14,7295	2,33337	2667,35	88,17	0,94	0,50
	$y = e^{a + bx}$	- 7,7887	0,03749	1870,61	83,94	0,92	0,58
20 - 12	$y = a + bX$	- 9,24358E-3	2,71628E-4	639,72	64,12	0,80	7,1E-3
	$y = aX^b$	-17,1322	2,79953	4385,78	92,45	0,96	0,47
	$y = e^{a + bx}$	- 8,79256	0,04464	2322,05	86,64	0,93	0,62
30 - 12	$y = a + bX$	- 9,67433E-3	2,87688E-4	839,41	70,10	0,84	6,7E-3
	$y = aX^b$	-16,1587	2,60931	6048,15	94,41	0,97	0,37
	$y = e^{a + bx}$	- 8,39575	0,04174	2926,16	89,10	0,94	0,52
verde-30	$y = a + bX$	- 0,0146611	4,93357E-4	2214,69	86,08	0,92	7,0E-3
	$y = aX^b$	-13,8721	2,26663	9847,93	96,81	0,98	0,24
	$y = e^{a + bx}$	- 7,11214	0,036025	3276,29	90,15	0,95	0,42
verde-12	$y = a + bX$	- 0,0135068	4,35594E-4	2146,52	85,71	0,92	6,3E-3
	$y = aX^b$	-14,4415	2,35433	8012,01	92,72	0,96	0,29
	$y = e^{a + bx}$	- 7,12531	0,03696	2046,01	85,11	0,92	0,45
verde-0	$y = a + bX$	- 5,74775E-3	2,30976E-4	1956,635	84,53	0,92	3,5E-3
	$y = aX^b$	-13,2889	1,99622	3512,974	90,75	0,95	0,37
	$y = e^{a + bx}$	- 7,30333	0,0312623	1636,472	82,05	0,91	0,52

Y = Taxa de secagem

X = Temperatura

ANEXO 4

ANALISES DE VARIÂNCIA

TAXA DE SECAGEM - EFEITO DA TEMPERATURA

A4-1 EFEITO DA TEMPERATURA NA TAXA DE SECAGEM NO INTERVALO DE UMIDADE DE VERDE ATÉ - 50 % PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

	<i>Pinus elliottii</i>			<i>Pinus taeda</i>	
Fonte de variação	G.L	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Temperatura	3	0,0487201	495,62**	0,042933	511,864**
Resíduo	356	0,0000983		0,0000839	
TOTAL	359				

A4-2 EFEITO DA TEMPERATURA NA TAXA DE SECAGEM NO INTERVALO DE UMIDADE DE 50 % ATÉ 30% PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

	<i>Pinus elliottii</i>			<i>Pinus taeda</i>	
Fonte de variação	G,L	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Temperatura	3	0,0216876	306,99**	0,0256533	263,16**
Resíduo	356	0,0000706		0,0000975	
TOTAL	359				

A4-3. EFEITO DA TEMPERATURA NA TAXA DE SECAGEM NO INTERVALO DE UMIDADE DE 30 ATÉ 20% PARA *Pinus elliottii* E *Pinus taeda*

	<i>Pinus elliottii</i>			<i>Pinus taeda</i>	
Fonte de variação	G.L	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Temperatura	3	0,0145223	228,29**	0,0181016	202,13**
Resíduo	356	0,0000636		0,0000896	
TOTAL	359				

A4-4. EFEITO DA TEMPERATURA NA TAXA DE SECAGEM NO INTERVALO DE UMIDADE DE VERDE 20% ATÉ 12 % PARA *Pinus elliotii* E *Pinus taeda*

	<i>Pinus elliotii</i>			<i>Pinus taeda</i>	
Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Temperatura	3	0,0098051	201,82**	0,011923	262,25**
Resíduo	356	0,0000486		0,0000455	
TOTAL	359				

A4-5. EFEITO DA TEMPERATURA NA TAXA DE SECAGEM NO INTERVALO DE UMIDADE DE 30 ATÉ - 12% PARA *Pinus elliotii* E *Pinus taeda*

	<i>Pinus elliotii</i>			<i>Pinus taeda</i>	
Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Temperatura	3	0,0115960	255,82**	0,0134831	262,25**
Resíduo	356	0,0000453		0,0000362	
TOTAL	359				

A4-6. EFEITO DA TEMPERATURA NA TAXA DE SECAGEM NO INTERVALO DE UMIDADE DE VERDE ATÉ - 30% PARA *Pinus elliotii* E *Pinus taeda*

	<i>Pinus elliotii</i>			<i>Pinus taeda</i>	
Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Temperatura	3	0,0369648	506,05**	0,038047	558,65**
Resíduo	356	0,0000743		0,0000681	
TOTAL	359				

A4-7. EFEITO DA TEMPERATURA NA TAXA DE SECAGEM NO INTERVALO DE UMIDADE DE VERDE ATÉ - 12 % PARA *Pinus elliotii* E *Pinus taeda*

Fonte de variação	<i>Pinus elliotii</i>			<i>Pinus taeda</i>	
	G.L	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Temperatura	3	0,0282856	569,59**	0,030129	641,04 **
Resíduo	356	0,0000497		0,0000470	
TOTAL	359				

A4-8. EFEITO DA TEMPERATURA NA TAXA DE SECAGEM NO INTERVALO DE UMIDADE DE VERDE ATÉ TEOR DE UMIDADE FINAL PARA *Pinus elliotii* E *Pinus taeda*

Fonte de variação	<i>Pinus elliotii</i>			<i>Pinus taeda</i>	
	G.L	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Temperatura	3	0,0068458	651,98**	0,0082277	706,09**
Resíduo	356	0,0000105		0,0000107	
TOTAL	359				

A4-9. ANÁLISE DE VARIANCIAS DO EFEITO DA TEMPERATURA NA TEOR DE UMIDADE DE EQUILÍBRIO DE *P.elliotii* e *P. taeda*

Fonte de variação	<i>Pinus elliotii</i>			<i>Pinus taeda</i>	
	G.L	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Temperatura	3	257,88569	456,77**	246,44913	294,52**
Resíduo	356	0,56458		0,83679	
TOTAL	359				

A4-10.- TAXA DE SECAGEM - Intervalo de verde até 50%, verde até 30% e verde até 12%

FONTE DE VARIAÇÃO	G.L	VERDE ATÉ 50%	VERDE ATÉ 30%	VERDE ATÉ 12%
		F	F	F
ESPÉCIE	1	0,65 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,48 ^{ns}
TEMPERATURA	3	1589,76 ^{**}	1785,56 ^{**}	1629,41 ^{**}
LENHO	1	7,04 ^{**}	15,02 ^{**}	22,69 ^{**}
ESPÉCIE X TEMPERATURA	3	0,95 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,47 ^{ns}
ESPÉCIE X LENHO	1	0,73 ^{ns}	0,98 ^{ns}	1,02 ^{ns}
TEMPERATURA X LENHO	3	8,01 ^{**}	7,91 ^{**}	9,01 ^{**}
RESÍDUO	707			

A4-11 - TAXA DE SECAGEM - Intervalo de 30 até 12, 50 até 30%, 30 até 20%, 20 até 12%

FONTE DE VARIAÇÃO	G.L	30 ATÉ 12%	50 ATÉ 30%	30 ATÉ 20%	20 ATÉ 12%
		F	F	F	F
ESPÉCIE	1	0,52 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,78 ^{ns}
TEMPERATURA	3	1089,89 ^{**}	1005,75 ^{**}	1009,32 ^{**}	1129,41 ^{**}
LENHO	1	16,26 ^{**}	13,59 ^{**}	21,55 ^{**}	6,98 ^{**}
ESPÉCIE X TEMPERATURA	3	1,43 ^{ns}	1,87 ^{ns}	1,58 ^{ns}	1,51 ^{ns}
ESPÉCIE X LENHO	1	1,34 ^{ns}	1,31 ^{ns*}	1,57 ^{ns}	1,94 ^{ns}
TEMPERATURA X LENHO	3	8,76 ^{**}	5,22 ^{**}	9,83 ^{**}	10,30 ^{**}
RESÍDUO	707				

F(1,707) 6,63 a 1% de probabilidade
3,84 a 5% de probabilidade

F(3,707) 3,78 a 1% de probabilidade
2,60 a 5% de probabilidade

ns - não significativo

** significativo a 99% de probabilidade

A4-12. ANÁLISE DE VARIANÇIA DO EFEITO DA TEMPERATURA NA
UMIDADE FINAL DE *P.elliottii* e *P. taeda*

	<i>P. elliottii</i>		<i>P. taeda</i>		
Fonte de variação	G.L	Quadrado médio	F	Quadrado médio	F
Temperatura	3	2329,9730	999,99**	2257,0709	999,99**
Resíduo	356	0,9813		1,1548	
TOTAL	360				

Pinus taeda

TEMPERATURA C°	N°	MÉDIA	Sx interno	INTERVALO DE CONFIANÇA (95%)	
25	90	11,3558	0,1032535	11,140134	- 11,562608
50	90	3,1259	0,1718296	2,920214	- 3,333688
80	90	1,3009	0,1039098	1,094142	- 1,507616
120	90	0,3825	0,0184476	0,175764	- 0,589238
TOTAL	360	4,0415	0,0566371	3,938182	- 4,144914

Pinus elliottii

TEMPERATURA C°	N°	MÉDIA	Sx interno	INTERVALO DE CONFIANÇA (95%)	
25	90	11,5683	0,1065367	11,37738	- 11,758886
50	90	3,9538	0,1125513	3,76328	- 4,144437
80	90	1,3011	0,1039099	1,110306	- 1,491453
120	90	0,3347	0,0937957	0,144163	- 0,525311
TOTAL	360	4,2894	0,0522092	4,194161	- 4,384735

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALBERTO, M.M.M. Efeito da geometria das partícula e da densidade, sobre as propriedades de painéis estruturais "waferboards". Curitiba, 1992. 122p. Dissertação de Mestrado Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
- ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, São Paulo. Normas Técnicas. São Paulo, 1974.
- BAAS, P. Some functional and adaptative aspects of vessel member morphology. In: Wood structure in biological and technology research. Leiden Bot. Ser., v.3, p.157-181, 1976.
- BASS, P.; CARLQUIST, S. A comparison of the ecological wood anatomy of the floras of southern California and Israel. IAWA Bull., v.6, n.4, p.394-54, 1985.
- BAILEY, P. J.; PRESTON, R. D. Some aspects of softwood permeability: structural studies with douglas fir sapwood and heartwood. Holzforschung, Berlin, v.23, n.4, p.113-20, 1960.
- BAKER, R. T.; SMITH, H. G. Wood fibres of some Australian timbers. J. Counc. Sci. Ind. Res., v.14, n.4, p.266-280, 1924.
- BAMBER, R. K. In progress and problems of genetic improvment of tropical forest trees. Nature, v.191, p.409-410, 1980.
- BAMBER, R. K.; BURLEY, J. The wood properties of radiata pine. Commonwealth Agricultural Bureaux, 1983. 84p.
- BARRICHELO, L. E. G. Estudo das características físicas, anatômicas e químicas da madeira em Pinus caribaea Mor. var. hondurensis Berr. e Golf. para a produção de celulose e papel. Piracicaba, 1979, 167 f.. Tese (Livre Docência)-ESALQ/USP.
- BARRICHELO, L. E. G. Pinus caribaea var. hondurensis - Principais interações entre as características da madeira e o rendimento e qualidade da celulose. Circular Técnica. IPEF, Piracicaba, n.86, p.1-10, 1980.

- BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. A madeira de *Pinus taeda* como matéria-prima para celulose kraft. I. Influência dos teores de lenhos. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (3. : 1978 : Manaus). Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1978. p.13-18.
- BARRICHELO, L.E.G. & BRITO, J.O. Aspectos florestais e tecnológicos da matéria-prima para carvão vegetal. Circular Técnica. IPEF, Piracicaba, (67):1-4 1979
- BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. A utilização da madeira na produção de celulose. Circular Técnica IPEF, Piracicaba, n.20, p.121-6, 1980
- BARTZ, A. Propriedade físicas e mecânicas da madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (2. : 1973 : Curitiba). Anais. Curitiba: FIEP, 1974. p 275-277
- BENDTSEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. For Prod. J., v.28, n.10, p.61-72, 1978.
- BENDTSEN, B. A.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and Loblolly Pine. Wood and Fibre Science, v.18, n.1, p.21-38, 1986.
- BETHUNE, J.E., Manipulation of stand density in planted southern pines for maximum pulp yield. TAPPI, Atlanta, v.51, n.7, p.57-58, 1966
- BIELCZYK, S. Investigation of the physical and mechanical properties of wood *Quercus robur* s.l. and *Carpinus betulus* originating from a forest community resembling a natural community. Prace Inst. Tech. Drewna, v.3, n.3, p.92-110, 1956. In: Forestry Abstracts, v.19, 1958.
- BISSET, I. J. W.; DADSWELL, H. E. The variation in cell length within one growth ring of certain angiosperms and gymnosperms. Aust. For., v.14, p.17-29, 1950.
- BISSET, I. J. W.; WARDROP, A.B. Factors influencing tracheid length in conifers stems. Aust. For., v.15, p.17-30, 1951.
- BOLZA, E.; KLOOT, N. H. The mechanical properties of 174 Australian Timbers. Canberra: C.S.I.R.O. Div. For. Prod., 1963. (Techn. Paper, 25).
- BOONE, R. S.; CHUDNOFF, M. Compression wood formation and other characteristics of plantation-grown *Pinus caribea*. USDA For.Serv., 1972. (Res. Pap., 13).

- BOUDELJE, J.B. The relationship of structure to transverse anisotropy in wood with reference to shrinkage and elasticity. Holzforschung, Technischer verlag herbercram, Berlin, v.5, n.16, 35-44p. 1963.
- BRAMMALL, G.; WELLWOOD, R. W. Kiln drying of western Canadian lumber. Vancouver: Western Forest Products Laboratory, 1976. 112p.
- BRASIL, M. A. M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus propinqua* Dear ex Maiden em função do local e de espaçamento. Piracicaba, 1972. 75 f.. Tese (Mestrado). ESALQ/USP.
- BRASIL, M.A.M. Densidade básica e características das fibras da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden aos 3 anos de idade. Piracicaba, 1976. 126 f. Tese (Doutorado). ESALQ/USP.
- BRASIL, M. A. M; FERREIRA M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos 5 anos de idade, em função do local e do espaçamento. IPEF, n.2-3, p.129-149, 1971.
- BRASIL, M. A. M.; NICOLIELO, N.; VEIGA, R. A. A. Variação da densidade básica da madeira de *Pinus oocarpa* Schiède em diversas idades na região de Agudos, SP. Floresta, v.11, n.1, p.33-41, 1980.
- BRITO, E.O. A viabilidade de utilização de espécies de *Pinus* para produção de chapas de composição estruturais waferboards. Curitiba, 1984. 104p. Dissertação de Mestrado Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
- BRITO, J. O.; BARICHELO, L. E. G. Aspectos florestais e tecnológicos da matéria-prima para carvão vegetal. Circular Técnica. IPEF, Piracicaba, n.67, p.1-4, 1979.
- BRITO, J. O.; BARICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 2. Densidade da madeira x densidade do carvão. IPEF, Piracicaba, v.20, p.121-126, 1980.
- BROWN, W. H. Timbers of the world. 9 - Central América and the Caribean. Londres: Timber Reserch and Development Association, 1979. 86p.
- BROWN, H. P.; PANSHIN, A. J.; FORSAITH, C. C. Textbook of wood technology - II. New York: McGraw - Hill, 1952. 783p.
- BROWN, N.C.; BETHEL, J.S. La „industria maderera. Mexico, Wiley, 1965. 397 p.
- BROWNING, B. L. Methods of wood chemistry. New York: J. Wiley, 1967. 384 p.

- BUCHANAN, M. A. Extraneous components of wood. In: Browning, B. L., ed. The chemistry of wood. New York: J. Wiley, p.313-368, 1963.
- BURGER, H. (Wood foliage yield and growth. IV - An 80 years old beech stand) Mitt. Schweiz. Centralanstalt forstl. Versuchsw, v.21, p.307-348, 1940. In: The influence of environmental and genetics on pulpwood quality: an annotated bibliography. Tappi Monograph Series, v.24, p.90, 1962.
- BURLEY, J. Tracheid length variation in a single tree of *Pinus kesiya* Royle ex Gord. Wood Sci. Technol., v.3, p.109-116, 1969.
- BURLEY, J. Variation in wood properties of *Pinus kesiya* Royle ex Gordon (syn. *P. khasiya*; *P. insularis* Endlicher) : six trees of Assam provenance grown in Zambia. Wood Sci. Technol., v.4, p.195-212, 1970.
- CAMARGO, F. A. Densidade e lenho tardio de árvores provenientes de desbastes em povoamento de Pinus; Relatório técnico. Piracicaba: CAFMA, 1987.
- CARLQUIST, S. Ecological strategies of xylem evolution. Berkeley: University of California Press, 1975. 259p.
- CARLQUIST, S. Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. Amer. J. Bot., v.64, n.7, p.887-896, 1977.
- CECH, M.Y. Development of drying stresses drying high temperature kiln drying. For. Prod. J., 14: 69-76. 1964.
- CECH, M. Y.; PFAFF, F. Kiln operator's manual of Eastern Canada. Ontario: Eastern For. Prod. Lab., 1977. 189p
- CHOONG, E. T. Effect of extractives on shrinkage and other hygroscopic properties of ten southern pines. Wood Sci., Madison, v.1, p.124-33, 1969
- CHOONG, E. T. *et alii* Cultural treatment and wood-type effects on wood properties. Wood and Fiber Science, v.21, n.2, p.193-206, 1989.
- COMBEM, A.J. The effect of high temperature kiln drying on the strength properties of timber. Wood, 20 v 8. p. 311-313. 1955.
- COMSTOCK, G. L. Energy requirements for drying of wood products. Madison: Proceedings Wood Residue as and Energy Source, For. Prod. Res. Soc., 1975.
- COMSTOCK, G. L. Directional permeability of softwoods. Wood and Fiber, v.1, n.4, p.283-89, 1970.

- COMSTOCK, G. L.; COTÉ, W. A. Factors affecting permeability and pit aspiration in coniferous sapwood. Wood Sci. Techn., v.2, n.4, p.279-91, 1968.
- COWN, D. J. Wood density of radiata pine: its variation and manipulation. N. Z. J. For., v. 19, p.84-92, 1974.
- COWN, D. J. Radiata pine: Wood age and wood property concepts. N. Z. J. For., v.10, n.3, p.504-507, 1980.
- COWN, D. J. Variation in tracheid dimensions in the stem of a 26-year-old radiata pine tree. APPITA. v.28, n.4, p.237-245, 1975.
- COWN, D. J.; McCONCHIE, D. L. Wood property variation in an old-crop stand of radiata pine. N. Z. J. For. Sci., v.10, n.3, p.508-520, 1980.
- CURRÒ, P. Seasonal variations in moisture content and basic density in 4 trees of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Publ. Cent. Sper. Agr. e Forestale, Roma, v.1, p.215-226, 1957 a. In: The influence of environmental and genetics on pulpwood quality: an annotated bibliography. Tappi Monograph Series, v.24, p.151, 1962.
- CURRÒ, P. Variations in moisture content and basic density in 15 trees of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Publ. Cent. Sper. Agr. e Forestale, Roma, v.1, p.227-238, 1957b. In: The influence of environmental and genetics on pulpwood quality: an annotated bibliography. Tappi Monograph Series, v.24, p.152, 1962.
- CURRY, W. T.; COVINGTON, S. A. Grade stresses for European redwood and whitewood. In: THE PRINCES RISBOROUGH LABORATORY OF THE BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. The strenght properties of timber. Lancaster: MTP Construction, 1974.
- CHUGG, W. A. Glulam. London: E. Bernme, 1964. 423p.
- DADSWELL, H. E. The role of wood anatomy in forest botany. J. Council Sci. and Idnt. Res., v.12, n.2, p.137-43, 1939.
- DADSWELL, H. E. The growth characteristic and their influence in wood structure and properties. :Div. of Build. Res, 1957. 19 p.
- DADSWELL, H. E. Wood structure variations occurring during tree growth and their influence on properties. Wood Sci., v.1, p.11-32, 1958.
- DADSWELL, H. E.; NICHOLS, J. W. P. Assessment of wood qualities for tree breeding. I. *Pinus elliottii* var. *elliottii* from Queensland. Div. For. Prod. Technol. Pap. For. Prod. Aust., v.4, 16p. Apud. Forestry Abstracts, v.21, n.2, 1960.

- DEMARRE, L. A.; ERICKSON, R. W., 1976. Temperature Dependent Effect of Extractive Content on Redwood Shrinkage. Wood Sci., Madison, v.8, p.227-233, 1976.
- DESCH, H. E. Timber; it's structure and properties. London: Mac Millam, 1982. 350p.
- DINWOODIE, J. M. Tracheid and fiber length in timber. A review of Literature. J. Soc. For., Londres, v.36, n.2, p.25-144, 1961.
- DUFFIELD, J. W. Genetic improvement of wood quality. For. Prod. J., v.11, n.5, p.211-213, 1961.
- DURLO, M. A. Determinação de variáveis para a caracterização de *Pinus elliottii* com finalidade estrutural. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL (6. : 1988 : Nova Prata). Anais. Nova Prata: Prefeitura Municipal, 1988. v.2, p.1097-1113.
- EDLIN, H. L. The summerwood: springwood ratio in conifers. Forestry, London, v.38, n.1, p.91-112, 1965.
- ELLIOTT, K. G. Wood density in conifers. Oxford: Commonwealth Forestry Bureau, 1970. (Tec. Commun., 8).
- ERICKSON, H.D.; SCHMITZ, H. & GORTNER, R.A. The permeability of woods to liquids and factors affecting the rate of flow. University of Minnesota. Agricultural Experiment Station, 42p.Technical Bulletin 122. 1937.
- ERICKSON, H. D.; HARRISON, A. T. Douglas-fir wood quality studies. Part I - Effects of age and stimulate growth on wood density and Anatomy. Wood Sci. Technol., v.8, p.225-265, 1974.
- ESAU, K. Anatomia das plantas com sementes. São Paulo: E. Blucher, 1974. 293p.
- FAHN, A. Morphological and anatomical changes related to resin stimulation. USDA Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Olustee. Report A10 n. 209, 35p. 1970.
- FERREIRA, M. Estudo da variação da densidade básica de madeira de *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus saligna* Smith. Piracicaba, 1968. 72 f. Tese (Doutorado). ESALQ - USP.
- FERREIRA, M. - Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. ESALQ - USP, 1970, 62 f. (Tese - Livre Docência).
- FERREIRA, C. A.; FERREIRA, M. Estudos preliminares sobre a variação da densidade da madeira das espécies do gênero

- Pinus: Pinus oocarpa, Pinus caribaea, Pinus khasya e Pinus elliottii.* O Solo, Piracicaba, v.61, n2, p.39-41, 1969.
- FERRERIRA, M.; MELLO, H.A; BANZATO, A.C. Estudo preliminares de algumas características anatômicas de coníferas e folhosas. O solo, v.61 (1) p.79-82, 1968.
- FERREIRINHA, M. P. Propriedades físicas e mecânicas da madeiras de Eucaliptos. (Relatório dos progressos realizados 1956-1961). In: CONFERÊNCIA MUNDIAL DO EUCALIPTO (2. : 1961 : São Paulo). Relatório e Documentos, p.1113-1112.
- FIELDING, J. M. Pruning Pinus radiata in Australia with particular reference to the wood produce. Melbourne (IUFRO Section 41), 1965.
- FIELDING, J. M. The influence of silvicultural practices on wood properties. International Review of Forestry Research, v.2, p.95,126, 1967.
- FOELKEL, C. E. B.; BRASIL M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos para a determinação da densidade básica para coníferas e folhosas. IPEF, v.2/3, p.65-74, 1971.
- FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E. G.; MILANEZ, A. F. Estudo Comparativo de madeiras de *Eucalyptus saligna*, *E. paniculata*, *E. citriodora*, *E. maculata* e *E. teriticornis* para produção de celulose Sulfato. IPEF, Piracicaba, n.10, p.17-37, 1975.
- FOELKEL, C. E. B.; GARCIA, W.; NEHRING, J. H.; DINIZ, A. S.; GONZAGA J. V. *Pinus elliottii*: fibra longa para produção de celulose kraft. In: SIMPOSIO IUFRO EM MELHORAMENTO GENÉTICO E PRODUTIVIDADE DE ESPÉCIES FLORESTAIS DE RAPIDO CRESCIMENTO (1980 : Aguas de são Pedro). Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1983. p. 129-135
- FOREST PRODUCTS LABORATORY, Washington. Wood Handbook. 528.p. 1955.
- FREUND, H. Handbuch der Mikroskopie in der Technik. Frankfurt: Umschan Verlag, 1970. 379p.
- FURNIVAL, G.M. An index for comparing equations used in constructing volume tables. Forest Science, Madison, v. 7 n.4, p. 337-41, 1961.
- GALVÃO, A. P. M. Estimativas da umidade de equilibrio da madeiras de diferentes cidades do Brasil. IPEF. Piracicaba, n.11, p.53-70, 1975.
- GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. Secagem racional de madeira. São Paulo: Nobel, 1985. 111p.

- GALVÃO, A. P. M.; SIAU, J. F.; SKAAR, C. Factors influencing the transity flow of oils into coniferous woods. Wood Sci., Madison, v.7, n2, p.85-91, 1974.
- GARCIA, J. N. Madeira Estrutural de *Pinus*. Silvicultura, n.35, p. 19-23, 1984
- GEIGER, K. Barucksitchtigung der Schubuerformung bei der Ermittlung des Elastizitatsmodulus von Holz in statiachen. Biegeversuch. Holztechnologie. v.2, n.2, p.102-106, 1950.
- GERHARDS, C. C. Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: and analysis of imediate effects. Wood and Fibre, v.14, n.1, p.4-36, 1982.
- GOGGANS, J. F. The interplay of enviroment and heredity as factors controlling wood properties in conifers with special emphasis on their effects on specific gravity. Raleigh: Sch. Forestry, N.C. State Univ., 1961. (Technical Reoprt, 11).
- GOHRE, K.; GOTZE, H. (Investigation of the density of red beech wood) Arch. Forstw., v.5, p.716-746, 1956. In: The influence of environmental and genetics on pulpwood quality: an annotated bibliography. Tappi Monograph Series, n.24, p.231, 1962.
- GURFINKEL, G. Wood engineering. New orleans: Southern Forest Products Association, 1973. 573p.
- GUTH, E. B. Variation in wood characters, both within and between individuals of *Pinus elliottii*. IDIA: Suplemento Forestal, Buenos Aires, n.8, p.8-17, 1973/74.
- HALLOCK, H. Observations on forms of juvenile core in loblolly pine. Madison: USDA Forest, Forest Products Laboratory., 1968. (Research Note FLP-0188).
- HAMILTON, J.R. e MATTHEWS, Wood characteristics of planted loblolly and shortleaf pine. Georgia Forest Reasearch Paper. v.27, p 1-5, 1965
- HANN, R. A. Drying yellow-poplar at temperature above 100°C Forest Prod. J., v.14, n.5, p.215-20, 1964.
- HANS, P.S. Effect of Kiln Air Velocity, at Various Moisture Content levels, on Drying Rate of 4/4 Yellow-Poplar Sapwood. Forest Prod. J. 24 (4) p. 45-47, 1974.
- HARADA, H. Ultrastrcture and organization of gymnosperm cell walls. In: CÔTÉ, ed. Cellular ultraestructure of woody plants. Syracuse: Syracuse University Press, 1965.
- HART, C. A. The drying of wood. Raleigh: North Carolina

- Agriculture Extension Service, 1966. 24p.
- HART, C. A.; DARWIN Jr. W.M. The slow drying rate of white oak. Wood Sci., v.4, n.1, p.46-54, 1971.
- HARRIS, J. M. Note on wood density of *Pinus radiata* grown under temperature, sub-tropical conditions. In: IUFRO WORKSHOP (1977 : BRISHANE).
- HARRIS, J. M.; JAMES, R.N.; COLLINS, M. J. Case for improving wood density in radiate pine. New Zealand Journal of Forestry Science, Rotorua, v.5, n.3, p.347-54, 1976.
- HEGER, L. Longitudinal variation of specific gravity in stems of black spruce, balsam fir and lodgepole pine. Canadian Journal of Forest Research, Ottawa, v.4, n.30, p.321-326, 1974.
- HIGGINS, H. G. et al The density and structure of hardwoods in relation to paper surface characteristics and other properties. TAPPI, Atlanta, v.56, p.127-131, 1973.
- HIGA, A. R.; KAGEYAMA P.Y.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *P.taeda*. IPEF, Piracicaba, n.70, p.78-89, 1973.
- HILDEBRAND, R. El secado de maderas aserradas. Berlin: Maschinenbau GmbH, 1964. 150p.
- HILDEBRAND, R. Kiln drying of saw timber. Berlin: Maschinenbau GmbH, 1970. 198p.
- HUBER, D.W. Some thoughts on high temperature drying on wood strength relationships - the need for additional research. In: Res. Conf. on High - Temperature Drying Effect on Mechanical Properties of Softwood Lumber, USDA. F.P.L. Madison Wisc. Proceedings 1976.
- HUGHES, J. F. The wood structure of *Pinus caribea* Morelet in relation to use characteristics, growth conditions and tree improvement. In: BURLEY, J.; NIKKLES, D. G. Selection and breeding to improve some tropical conifers. Oxford: Commonwealth Forestry Institute, 1973. p.13-22.
- IWAKIRI, S.A. A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de pinus. Curitiba, 1989. 130p. Tese. Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
- JACKSON, L. W. R.; MORSE, W. E. Tracheid length variation in single rings loblolly, slash shortleaf pine. J. For., v. 63, p.110-112, 1965.

- JANKOWSKY, I.P. Madeira juvenil: formação e aproveitamento industrial. Circular Técnica IPEF, Piracicaba, n.81, p.1-8, 1979 a.
- JANKOWSKY, I. P. Secagem acelerada da madeira de pinheiros tropicais em estufas industriais. Boletim Informativo PPT, Piracicaba, n.4, p.53-60, 1979 b.
- JANKOWSKY, I.P. Influência da densidade básica e do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira. Piracicaba, ESALQ/USP. Tese (Mestrado), 94 p. 1979 c.
- JANKOWSKY, I. P. Efeito do aparelhamento e do tratamento preservativo superficial na secagem da madeira de *Pinus* spp. Circular Técnica IPEF, Piracicaba, n.109, p.1-11, 1980.
- JANKOWSKY, I. P. & ZAPATA, E. The Drying of Caribbean pine saw wood In: International Union of Forestry Research organization (IUFRO). Proceedings of the Wood Drying Working Party at the IUFRO Division V Conference. Carbondale, Illinois. 1983
- JANKOWSKY, I.P. Variação sazonal da umidade de equilíbrio para madeira de *Pinus*. Piracicaba, IPEF. n. 31, p. 41-6, 1985.
- JOHNSTONE, W. D., Some variation in specific gravity and moisture content of 100-year-old lodgepole pine trees. Information report. Forest Research Laboratory, 1970
- JUVILLAR, J. B. O carvoejamento da madeira e seus reflexos na qualidade do carvão: qualidade da madeira. Circular técnica. IPEF, Piracicaba, n.64, p.1-6, 1979.
- KALINKOV, V.; GEORGIEV. Effect of altitude on the wood structure of scots pine in the Rila mountains. Gorskostopanska Nauka, Bulgaria, v.16, n.7, p.305-309, 1979. Apud: Forestry Abstracts, Oxford, v.41, n.10, 1980.
- KEINERT Jr., S. Chapas de partículas estruturais a partir de pinus e eucalyptus spp. In SIMPOSIO BILATERAL BRASIL-FINLANDIA SOBRE ATUALIDADES FLORESTAIS. Curitiba. Universidade Federal do Paraná, 1988. 315-326.
- KELLINSON, R. C. Characteristics affecting quality of timber from plantations, their determination and scope for modification. In: IUFRO WORLD CONGRESS (17. : 1981 : Japan). Division 5. Forest Products.
- KESLEY, K.E. A critical review of the relationship between the shrinkage and structure of wood. C.S.I.R.O, Melbourne , 33 p. 1963.
- KEYLWERTH, R. Los cambios de forma de las secciones de la maderera. Holz als Roh-und Werkstoff, 9. 1951.

- KININMONTH, J.A. Effects of timber drying temperature on subsequnte moisture and dimensional changs. N.Z.J. for. Sci., 6 (1):p. 101-107. 1976.
- KLOCK, U. Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Shiede e *Pinus caribaea* Morelet var *hondurensis* Barr e Golf. Curitiba, 1989. 143 f. Tese (Mestrado) Universidade Federal do Paraná. Curso de Engenharia Florestal.
- KNIGGE, W.; SCHULZ, H. Growndise der Forestbenutzung. Varlang Paul Parey , Hamburg and Berlin, 1966. 584 p.
- KOCH, P. Utilization of the southern pines. : USDA. Forest Service, 1972. 2v. (Agric. Handbook, 420).
- KOCH, P.; WELLFORD Jr. Mechanical properties of small specimens cut from 1.79 inch thick southern pine dried for 6 hours, at 300 ° C.- or for 5 days at 180 °F.- a comparison. Wood and Fiber, 8 v. 1, p. 13-21, 1977.
- KOLLMANN, F. F. P. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Band I. Berlin: Springer Verlag, 1951. 1050p.
- KOLLMANN, F. F. P.; COTÉ JUNIOR., W. A. Principles of wood science and technology. Berlin: Springer, 1968. 2v.
- KOLLMANN, F.F.P.; SCHEIDER, A. Der einflub der stromungsgeschwindigkeit auf die heibdampftrocknung von shnittholz. Holz als Roh-und Werkstoff, 19, p. 461-478, 1961.
- KOZLIK, C.J. Effect of kiln conditions on the dimensional stability of Douglas - Fir and Western Hemlock. For. Prod. J. , 23 v 9. p. 85-92. 1973.
- KOZLIK, C.J.; WARD, J.C. Properties and kiln-drying characteristics of young-growth estern hemlock dimension lumber. Forest Products Journal. v. 31, n.6, p.45-53, 1981.
- KREMPL, H. Gewicht das Fichtenholzes in Osterich. Allgemeine fortzeitung, v.88, n4, p.76-81, 1977.
- LADELL, J.L. High temperature kiln drying of eastern canadian soft woods-drying guide and tentative schedules. For. Prod. Lab. of. Can Techn. Note, n° 2. p.18, 1957.
- LANGENDORF, G. J.; EICHLER, H. Holzverguntung Veb Fachbuchverlag. Leipzig, 1979. 176p.
- LARA PALMA, H.A, Tanino-formaldehido como adesivo para fabricação de compensados de *Pinus elliotii*. Curitiba, 1986. 123p. Dissertação. Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

- LARSON, P. R. Wood formation and the concept of wood quality. New Haven: Yale University. School of Forestry, 1969. 53p.
- LAVERS, G. M. The strenght prooporties of timber. In: THE PRINCES RISBOROUGH LABORATORY OF THE BUILDING RESEARCH ESTABILISHMENT. The strenght properties of timber. Lancaster: MTP Construction, p.1-86, 1974.
- LAVERY, P. T. Plantion Forestry with *Pinus radiata*-Review Papers. School of Forestry. University of Canterbury, Chirstchurch, New Zealand. 225 p. 1986.
- LEIBUNDGUT, H. Die Waldpflege. Verlag Paul Haupt Bern, 1966. 192p.
- LEMA, C. N.; KITALI M. M.; KLEM, G. S. Basic density and its variation within and between trees of pine (*Pinus patatula*) and cypress (*Cupressus lusitanica*) in the Meru Forest Project. Morogoro: University Dar es Salaam, 1978. 11p. Apud: Forestry Abstracts, Oxford, v.41, n.5, 1980.
- LIMA, J. T. Influência do teor de umidade nas propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. Smith. Viçosa, 1983. 58 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Curso de Engenharia Florestal.
- LIMA, M. M. Caracterização da madeira de *Pinus oocarpa* II. II. Rendimento e qualidade da celulose, Relatório Técnico. Piracicaba: CAFMA, 1984.
- LEONT'EV, N.L.; KRECHETOV, I.V.; TSAREV, B.S. ; SUCHOVA, A.V. Influence of high temperature drying schedules on physical and mechanical properties of wood. Wood-working Industry (Russia). 5 (1), p. 73-80, 1958. (CSIRO trasl. n^o 3800).
- MACKAY, J. F. G The influence of drying conditions and other factors on twist and torque in *Pinus radiata* studs. Wood and Fiber, v.4, n.4, p.264-271, 1973.
- MACKAY, J. F. G.; RUMBALL, N. L. Drying of distortion prone juvenile core pine for house studs. Austr. Timber J., v.22, n.6, p.43-57, 1971.
- MACKAY, J.F.G. Effect of high temperature kiln drying on lumber. In: Res. Conf. on High-Temperature Drying. effects on Mechanical Properties of Softwood Lumber. USDA, F.P.L. Madison, Wisc. Proceeding. 1976
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P.: KAJIYA, S. Densidade básica e características anatómicas da madeira de Pinho Paraná, *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. de povoamento

- artificial da região de Capão Bonito, SP. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (2. : 1973 : Curitiba). Anais. Curitiba: FIEP, 1974. p.255-261.
- MATOS, J.L.M. Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais "waferboard". Curitiba, 1988.164p.Dissertação. Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
- MAYER, H. Waldbau. Stuttgart: Gustv Fischer Verlag, 1977. 482 p.
- MCKINNELL, F. H.; RUDMAN, P. Potassium fertilizer and wood density of *Pinus radiata*. APPITA, v.26, p.283-286, 1963.
- McMILLIN, C. W. Chemical Composition of Loblolly Pine Wood as Related to Specific Gravity, Growth Rate, and distance from pith. Wood Science and Technology, Berlim, n.2, p.233-240, .
- MEDINA, J.C. Efeito da temperatura de aquecimento na obtenção de lâminas por desenrolamento e sobre a qualidade da colagem de compensados fenolicos de *Pinus elliottii* Engelm. Curitiba, 110p. Dissertação. Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
- MENDONÇA, M. A. Características da Madeira de *Pinus elliottii* com diferentes idades e propriedades do papel. Curitiba, 1982. 124 f. Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Curso de Engenharia Florestal.
- MEYER, R. W.; BARTON, G. M. A relationship between collapse and extractives in Western Red Cedar. Forest Products Journal, Madison, v.21, p.58-60p, 1968.
- MECHANICAL PROPERTIES WOOD. In: FOREST PRODUCT LABORATORY SERVICE. Wood Handbook.; wood as an engineering manual. Washington: U.S. Government, 1955. cap.4 (Agriculture handbook, 72).
- MITCHELL, H. L. Breeding for high-quality wood. Madison: USDA. Forest Srevice. Forest Products Laboratory, 1956. 13p. (Research Paper, 2050).
- MONTAGNA, R. G.; CARON NETO, M. ; PETLA, R. M.; DA ROSA, S. R. N. Contribuição ao estudo da densidade básica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO (2. : 1973 : Curitiba). Anais. Curitiba: FIEP, 1974. p.252-254.
- MOREIRA, C. S. Contribuição ao estudo da eficiência de

- pequenos fornos na produção de carvão vegetal destinado a alto forno. Piracicaba, 1964. 98 f. Tese (Doutorado) - ESALQ/USP.
- MORESCHI, J. C. Levantamento da qualidade da madeira com plantações artificiais de *Pinus elliottii* nos estados do sul do Brasil. Curitiba, 1975. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Curso de Engenharia Florestal.
- MUÑIZ G. I. B. Descrição da estrutura e ultraestrutura da madeira de cinco espécies de *Prosopis* da Argentina e análise da metodologia. Curitiba, 1986. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Curso de Engenharia Florestal.
- MUÑIZ, G. I. B.; CORADIN, V. R. Norma de procedimentos em estudos de anatomia da madeira: II *Gymnospermae*. Comissão de estudos CE:11.01.07:002 ABNT. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais, 1991 (Série técnica,).
- NEARN, W. J. Effect of water soluble extractives on the volumetric shrinkage and equilibrium moisture content of eleven tropical and domestic woods. Pennsylvania State University, 37 p. (Bulletin, 598). 1965.
- NICHOLLS, J. W. P. The effect of environmental factors on wood characteristics 2 - The effect of thinning and fertilizer treatment on the wood of *Pinus pinaster*. *Silvae Genetica*, v.20, n.1, p.67-73, 1971.
- NYLINDER, P. Wood quality and fibre products. In: IUFRO MEETING (5. : 1973 : Pretoria). Proceedings. v.2, p. 832-844.
- NOACK, D. Beziehung swischen den roshstoff-Eigenschaften und den Anforderung der Verwendung. Holz als Rohund.Werkstoff, v.34, p.121-126, 1976.
- ORMAN, H. R. New Zeland timbers and atmospheric moisture. New Zealand Forest Products Laboratory, 1966. 26p.
- OTHA, S. The observation of tree ring structure by soft x-ray densitometry (III). The influence of fertilization on ring structure of *Pinus pinaster*. Moduzai Gakaishi, v.27, p.157-162, 1981.
- PANSHIN, A. J.; ZEEW, C. de. Textbook of wood technology 3.ed. New York: Mc Graw-Hill, 1970. 705p.
- PARKER, H. Simplified design of structural wood. New York: J. Wiley, 1979. 269p.

- PEARSON, N. C.; GILMORE, R. C. Characterization of the strenght of juvenile wood of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) Forest Products Journal, Madison, v.21, n.1, p.23-31, 1971.
- PEARSON, R. G.; GILMORE, R. C. Effect of fast growth rate on the mechanical properties of loblolly pine. For. Prod. J., v.30, n.5, p.47-54, 1980.
- PECHMANN, H. von. The relationship between the structure and strenght of a few hardwoods. Oxford, Londres, 1958 In: The influence of environmental and genetics on pulpwood quality: An annotated bibliography. Tappi Monograph Series, v.24, p.611, 1962.
- PECK, E. C. Moisture content of wood in use. Wiscosin: USDA. Forest Service. Forest Products Laboratory, 1955. 12p.
- PEREIRA, J. C. D A influência do ritmo de crescimento na densidade da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii*. Piracicaba, 1982. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo.
- PEREIRA, J.C.D. Formação e controle da mancha marrom em madeira serrada de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii*. Curitiba, 1992, 92p. Tese. Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
- PFALZNER, P. M. On the flow of gases and water vapour through wood. Can. Jour. Res., v.28, p.389-410, 1950.
- PONCE, R. H.; WATAI, L. T. Manual de secagem da madeira. São Paulo. Secretaria de Tecnologia Industrial/ Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1985. 70 p.
- PRATT, G.H. Timber drying manual. London: Department of the Environment, 1974. 152p.
- QUIJADA, M.R. Variation and relationships of wood characteristics fo lengleaf pine in North Carolina. M.S.Thesis, 1967. 91 pp. N.C. State Univ., Raleigh.
- RASMUSSEN, E. F. Dry kiln operator's manual Washington: USDA. Forest Service. Forest Products Laboratory, 1961. 197 p. (Handbook, 188).
- RESCH, H.; ECKLUND, B. A. A Statistical Analysis of the variability in the Drying Rate of Redwood. Forest Prod. J., v.14, n.9, p.430-434, 1964.
- RIETZ, R. C.; PAGE, R. H. Air drying of lumber: a guide to industry practices. : USDA, Forest Service, 1971. 110 p. (Agriculture Handbook, 402).

- RISI, J.; ZELLER, E. Specific gravity of the wood of black spruce (*Picea mariana* Mill) grown on a Hylocamium-cornus site type. Forest research foundation. Laval University, n.6, p.1-70, 1960.
- RUDMAN, P.; MCKINNELL, F. H. Effects of fertilizers on wood density of young radiata pine. Australian Forestry, v.34, p.170-178, 1970.
- SALOMON, M. Quality and strenght properties of Douglas-Fir. dried at high temperatures. For. Prod. J., 13 v. 8, p. 339-344, 1963.
- SALOMON, M. High-temperature drying an its effects on wood properties. For. Prod. J., 19 v 3. p. 27-34. 1969.
- SALOMON, M.; MCLNTYRE, S. Manipulation of Air Velocity Permits Drying Time Savings. Canadian Forest Industries,...: 49-57, 1969.
- SANIO, K. Verber die Grosse der Holzzellenbei der gemeinen Kiefer (*Pinus silvestris*). Jahrb. Wiss. Bot, v.8, p.401-420, 1872.
- SANTINI, E. J. Influência da temperatura na taxa de secagem e contração da madeira de *Pinus elliottii* proveniente de plantios de rápido crescimento. Curitiba: FUPEF, 1980.
- SCARAMUZZI, G. The relationships of fibre wall thickness, fibre diameter, and percentage of summerwood (latewood) to specific gravity. In: IUFRO MEETING OF WORKING GROUPS ON WOOD QUALITY, SAWING AND MACHINING, WOOD AND TREE CHEMISTRY (1965 : Melbourne), Proceedings. Melbourne: CSIRO, 1965. 8 p.
- SCHEFFÉ, H. The analysis of variance. New York: J. Wiley, 1959. 661p.
- SCHNIEWIND, A. P The effect of site and other factors on specific gravity and bending strength of California red fir. Forest Science, Madison, v.7, n.2, p.106-115. 1961.
- SCHULTZ, R. P. Utilization needs as a driving force in timber management research. In: FOREST PRODUCTS RESEARCH CONFERENCE (1986 : Madison).
- SEKHAR, A. C.; RAJPUT, S. S. Some Studies on the Shrinkage Behaviour of Wood. Wood Science and Technology, v.1, p.99-108, 1967.
- SELLERS JUNIOR, T. Factors influencing the wood quality of plantation-grown slash pine. Forest Products Journal, Madison, v.12, n.9, p.443-446. 1962.

- SEVERO, E.T.D. Efeito da temperatura e da velocidade do ar na secagem de madeira serrada de *Pinus elliottii*. Curitiba: Tese (Mestrado) Universidade Federal do Paraná, 108 f. 1989.
- SIAU, J. F. Flow in wood. New York: Syracuse University Press, 1971. 131p.
- SIMIONI, A. Verwendungsorientierte Technologische Prüfung und vergleichende sortierung des schnittholzes einer schnellwüchsigen Baumart dargestellt an Beispiel der "Plantagen - kiefer" *Pinus radiata* (D. Don). Freiburg, 1981. 148p. Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwurde der Frostwssenschaftlichen Fakultät der Albert Ludwig - Universität.
- SIMPSON, W. T. Equilibrium moisture content prediction for wood. Forest Products Journal, Madison, v.21, p.48-49, 1971.
- SIMPSON, W. T. Predicting equilibrium moisture content of wood by mathematical models. Wood and Fiber, Madison, v.5, p.40-49, 1973.
- SKAAR, C. Water in wood. New York: Syracuse University Press. 1972. 218p.
- SKAAR, C. Effect of high temperature on the rate of and degradation and reduction of hygroscopicity of wood. In: Res. conf. on High Temperature Drying Effects on Mechanical Properties of Softwood Lumber. USDA, F.P.L. Madison, Wisc. Proceedings. 1976.
- SMITH, D. M. Determination of cell diameter and cell wall thickness by analytical methods. IUFRO - Division of Forest Products, Proceedings. Melbourne: CSIRO, 1965. v.2.
- SMITH, D.M. Wood quality of loblolly pine after thinning U.S. For.Serv.Res.Pap.. FPL - 89, 1968. 12 p
- SMITH, D. N. Preservation and the permeability of wood. Timber Technology Convention Paper (2. : 1972). p.460-463.
- SMITH, D.M.; LEE,E. The Longitudinal Permeability of Some Hardwoods and Softwoods. London, Forest Products Research Society. 13p. (Série: Special Report, 13). 1958.
- SMITH, D. N.; MILLER, R. B. Methods of measuring and estimating tracheids wall thickness of Redwood. TAPPI. Atlanta, v.10, p.599-604, 1964.
- SPALT, A. H. The fundamentals of water sorption by wood. Forest Products Journal, Madison, v.8, p.288-295. 1958.
- SPURR, S. H.; HSIUNG, W. Growth rate and specific gravity in

- conifers J. For., v.52, n.3, p.191-192, 1954.
- STAMM, A. J. Wood cellulose liquid relationship. North Carolina Agric. Exp. Sta Tech. Bull, n.50, 1962.
- STAMM, A. J. Wood and cellulose science. New York: Ronald Press. 1964. 549p.
- STAMM, A. J.; BUN, H. K.; KLINE, A. A Heat stabilized wood. USDA. Forest Service, FPL Report n.1621. 1955. 8p.
- STAMM, A. J.; LOUGHBOROUGH, W. K. Thermodynamics of the swelling of wood. Wiscosin: USDA. Forest Service. Forest Products Laboratory, 1935. 15p.
- STEEL, R. G.D.; TORRIE, J. H. Principles and procedures of statistics. New York. McGrae-Hill, 1960. 481p.
- SUDO, S. Wood quality reserch in Japan. In: IUFRO WORLD CONGRESS (1981 : Kyoto). Procedings. Kyoto, 1981 p. 89-101
- SUNLEY, J. G. Grade stresses for structural timber. In: THE PRINCES RISBOROUGH LABORATORY OF THE BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. The strenght properties of timber. Lancaster: MTP Construction, p.121-140, 1974.
- SUSMEL, L. Density of *Eucalyptus rostrata* wood from the Pontine Compagna. Ital. Forest e mont 8: 222-227, 1953. In: The influence of environmental and genetics on pulpwood quality: An annotated bibliography. Tappi Monograph Series, v.24, p.773, 1962.
- TARAS, M. A. Some wood propertues of slash pine (*Pinus elliottii* Engelm.) and their relationship to age and height within the stem. Agriculture, v.26, n.2, p.559-600p.
- TARAS, M. A.; SAUCIER, J. R. Influence of extractives on specific gravity of southern pine. Forest Products Journal, Madison, v.17, p.97-999. 1967.
- TATARANU, D. Influence of some environmental factors on the anatomical structure and density of the wood of *Pinus nigra* seedlings. Revista Padurilor, v.88, n.12, p.648-655, 1973. Apud: Forestry Abstracts, Oxford, v.35, n.11, 1974.
- TAYLOR, F. W. Effect of extraction on the volume dimensions and Specific Gravity of solid wood blocks. Wood Science, Madison, v.6, p.396-404, 1974.
- TAYLOR, F.W.; MITCHELL, P.H. Drying Pine Lumber at Very High Temperatures and air Velocities. Mississippi State, MS 39762. Wood and Fiber Science 19 (3), p. 239-245, 1987.

- THUNELL, B. Sortierungs- und Sicherheitsfragen bei der Verwendung von Holz für Tragwerke und Gerüste. Holz als Roh- und Werkstoff, v.16, p.127-131, 1958.
- TIEMANN, H. D. The kiln drying lumber a practical e theoretical treatise. Philadelphia: J.B.L.L., 1971. 316p.
- TOMASELLI, I. Secagem a alta temperatura e sua aplicação nas condições brasileiras. Floresta, v.7, n.1, p.50-57, 1976.
- TOMASELLI, I. The influence of high - temperature drying on some physical and mechanical of *Pinus radiata* D. Don, Melbourne, 1977. 283p. Tese (Doutorado) - University of Melbourne.
- TOMASELLI, I. Comparação da qualidade da madeira de *Araucaria angustifolia* e *Pinus sp* produzida em reflorestamentos. In: IUFRO Meeting on Forestry Problems of the genus *Araucaria*(... 1979, Curitiba) Forestry... Curitiba: FUFEP, 1980. p286-291.
- TOMASELLI, I. Qualidade da madeira de *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*, e sua correlação com as propriedades do papel Relatório Final. Convênio FINEP, UFPR, n 18/79, Curitiba, 1979. 157- 161p.
- TOMASELLI, I. Aspectos físicos da secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. acima de 100°C. Curitiba, 1981. 128 f. Tese (Concurso público) - Universidade Federal do Paraná.
- TRENDELENBURG, R.; MAYER-WEGELIN, H. Das Holz als Rohstoff. Munchen: Carl Hanser Verlag, 1956. 541p.
- TURNBULL, J. M. The relationship between modulus of rupture and weight in South African grown pine timber. Journal of the South African Forestry Association, n.7, p.67-77, 1941.
- UPRICHARD, J. M. Pulps from New Zealand grown *Pinus patula* and *Pinus taeda*. APPITA, Malbourne, v.24, n.1, p.52-59, 1970.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Wood handbook. Washington: U.S. Government Printing Office, 1958. 528p.
- VAN BUIJTENEN, J. P. Inheritance of wood properties and their relation to growth rate in *Pinus taeda*. In: WORLD CONSULTATION ON FOREST GENETICS AND THEIR IMPROVEMENT (1. : 1963 : Stockholm). Proceedings. Roma: FAO, 1963. p.1-14.
- VAN BUIJTENEN, J. P. Controlling wood properties by forest management. TAPPI, Atlanta, v.52, n.2, p.257-259, 1969.

- VAN DER SLOOTEN, H. A importância da densidade da madeira na produtividade florestal. Brasília: PRODEPEF, 1977. 8p. (PRODEPEF. Comunicação Técnica, 13).
- VERMAAS, H. F. Research note on the correlation between the density and extractive content of wood. South African Forestry Journal, Johannesburg, v.92, p.24-26, 1975.
- VICK, C.B. Drying-rate curves for one-inch yellow-poplar lumber in low-temperature forced-air dryers. Forest Prod. J., v.15, n.12, p.500-504, 1965.
- VORREITER, L. Holztechnologisches handbuch. Band I. Wien: Verlag Georg Fromme, 1949. 548 p.
- WAHLGREN, H. E.; FASSNACHT, D. L. Estimating tree specific gravity from a single increment core. Madison: USDA. Forest Service, 1959. 25p.. (FPL Research Paper, Madison, 2146).
- WANGAARD, F. F. The mechanical properties of wood. London: Chapman & Hall, 1950. 377p.
- WANGAARD, F. F.; GRANADOS, L. A. The effect of extractives on water sorption by wood. Wood Science and Technology, Berlin, v.1, p.253-77, 1967.
- WARDROP, A. B. Cell wall organization and properties of the xylem. I. Cell wall organization and the variation of breaking load in tension of the xylem in conifer stems. Aust. J. Sci. Res., Series B, v.4, p.391-414, 1951.
- WHEELER, E.Y, ZOBEL, B.J, & WEEKS,D.L Tracheid length and diameter variation in the bole of loblolly pine. TAPPI v.49. p. 484-490, 1966
- WHITE, J.; SAUCIER, J. F. A comparison of the specific gravity of two slash pine varieties grown in South Florida. TAPPI, v.49, n.5, p.230-232, 1966.
- WILSON, T. R. C. Strength-moisture relations for wood. Washington: USDA, 1932. 88 p (Technical Bulletin, 282).
- WISE, L.E.; JAHN, E.C. Wood chemistry. New York, Reinhold. 1343p v 1,2. 1952.
- YAO, J. On volumetric shrinkage, specific gravity, and fiber saturation point of loblolly pine wood. Wood Science. Madison, v.4, p.171-7, 1972.
- ZAMSKI,E. The effect of microclimatic conditions on resin duct formation and resin secretion in *Pinus halepensis* Mill. La-Yaaran v 20. 7-18p. 1970

- ZAPATA, E. H Comparação dos métodos de secagem para madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Piracicaba, 1986. 148p. Tese (Mestrado). ESALQ/USP.
- ZOBEL, B. Developing trees with qualities most desirable for paper. Gainsville, 1971. 26p. (IUFRO. Meeting, section 22).
- ZOBEL, B.; Wood properties as affected by changes in the wood supply of southern pines. TAPPI, Atlanta, v.59,n.4, p.126-8, 1976
- ZOBEL, B.; RHODES, R. R. Relationship of wood specific gravity in loblolly pine to growth and environmental factor. Texas Forest Service technical reprint, v.11, p.1-32, 1965.
- ZOBEL, B.; WEBB, C.; HENSON, F. Core or juvenile wood of loblolly and slash pine trees. TAPPI, v.42, n.5, p.345-356, 1959.