

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**AGRUPAMENTO DE 41 ESPÉCIES DE MADEIRAS DA
AMAZÔNIA PARA SECAGEM BASEADO EM
CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E FÍSICAS**

MÁRCIA HELENA BEZERRA MARQUES

ORIENTADOR: VARLONE ALVES MARTINS

TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PUBLICAÇÃO: TESE Nº EFLD – 004/2008

BRASÍLIA/DF: FEVEREIRO – 2008

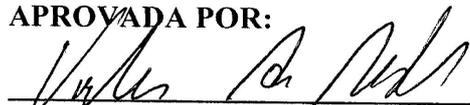
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

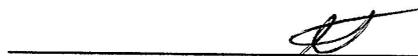
AGRUPAMENTO DE 41 ESPÉCIES DE MADEIRAS DA AMAZÔNIA PARA
SECAGEM BASEADO EM CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E FÍSICAS

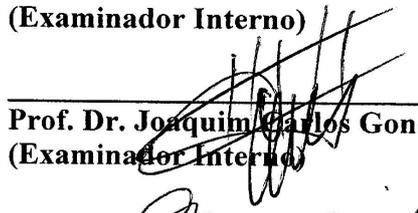
MÁRCIA HELENA BEZERRA MARQUES

TESE SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL DA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
DOUTORA EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

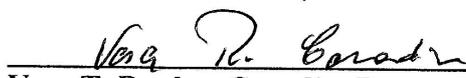
APROVADA POR:

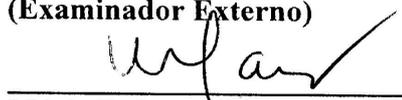

Varlone Alves Martins, Ph.D. (Pesquisador do LPF – Serviço Florestal Brasileiro)
(Orientador)


Prof. Dr. Alexandre Florián da Costa (Departamento de Engenharia Florestal – UnB)
(Examinador Interno)


Prof. Dr. Joaquim Carlos Gonzalez (Departamento de Engenharia Florestal – UnB)
(Examinador Interno)


Prof^a. Dr^a. Ghislaine Miranda Bonduelle (DETF – UFPR)
(Examinador Externo)


Vera T. Rauber Coradin, Doutora (Pesquisadora do LPF – Serviço Florestal
Brasileiro)
(Examinador Externo)


Mário Rabelo de Souza, Ph.D. (Pesquisador do LPF – Serviço Florestal Brasileiro)
(Suplente)

Brasília/DF, 27 de fevereiro de 2008

FICHA CATALOGRÁFICA

MARQUES, MÁRCIA HELENA BEZERRA

Agrupamento de 41 Espécies de Madeiras da Amazônia para Secagem Baseado em Características Antômicas e Físicas [Distrito Federal] 2008.

xvi, 125p., 210 x 297 mm (EFL/FT/UnB, Doutora, Ciências Florestais, 2008).

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Florestal.

1.Tecnologia da madeira

2.Secagem da madeira

3.Agrupamento de madeiras

4.Madeiras da Amazônia

I. EFL/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MARQUES, M. H. B. (2008). Agrupamento de 41 Espécies de Madeiras da Amazônia para Secagem Baseado em Características Anatômicas e Físicas. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação EFLD Nº EFLD – 004/2008, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 125p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Márcia Helena Bezerra Marques.

TÍTULO: Agrupamento de 41 Espécies de Madeiras da Amazônia para Secagem Baseado em Características Anatômicas e Físicas.

GRAU: Doutora

ANO: 2008

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação, e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Márcia Helena Bezerra Marques
SQN 311 – Bl. L – Ap. 611
70757-120 – Brasília – DF – Brasil.

Aos meus pais, Antonio e Lila
Ao meu marido, Luiz
Aos meus filhos Rodrigo, Bruno e Isabella

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Varlone Alves Martins, pela orientação, paciência, compreensão e amizade dedicadas ao longo da realização deste trabalho.

Ao Dr. Mário Rabelo de Souza, pesquisador do Laboratório de Produtos Florestais – LPF, pelas valiosas sugestões e auxílio nas análises estatísticas.

A Júlio César Mendes, pelo suporte nas áreas de informática e estatística.

A José Arlete Alves Camargos, pesquisador do LPF, pelo apoio e auxílio no alisamento das superfícies dos blocos de madeira utilizados para as análises macroscópicas.

A Marco Antonio Dias Bezerra, pelo auxílio na elaboração do programa em linguagem Visual Basic.

A Vera T. Rauber Coradin, pesquisadora do LPF e responsável pela Área de Anatomia e Morfologia da Madeira do LPF, pelas sugestões e orientações dadas durante as análises macroscópicas.

A Maria Helena Medeiros Garcia de Figueiredo, responsável pela biblioteca do LPF, pela obtenção de diversos artigos científicos.

A Sérgio Martinez e Fernando Nunes Gouveia, funcionários da Área de Secagem do LPF, pelo auxílio prestado durante a realização dos ensaios de secagem.

Aos estagiários Petrônio Diego Silva de Oliveira e Carlos Alberto Simão, pelo auxílio na confecção dos corpos-de-prova, nas pesagens e alisamento das superfícies transversais dos blocos de madeira.

A Marcos Antonio Eduardo Santana, pesquisador e responsável pela Área de Química e Adesivos do LPF, pelo auxílio prestado na seleção dos sais a ser utilizados nos ensaios de secagem.

A Alencar Garlett, responsável pela Área de Preservação e Biodegradação do LPF, pela disponibilização da estufa e da autoclave.

A Antonio de Pádua Ferreira Lima, Fernando Ananias Oliveira e Ricardo Pereira de Oliveira Santos, funcionários da carpintaria do LPF, pela confecção dos corpos-de-prova.

A Evany José Vilela Vieira e Fernando Mafra Pelanda, por todo tipo de apoio recebido durante o curso e pelo companheirismo.

A Hugulino de Almeida Dias, Eudes Alves Pereira, Ana Cristina Espíndola de Carvalho e Maria Sirleide Vilela Viana, da Divisão de Administração do LPF, pelo suporte administrativo prestado durante a execução deste estudo.

A Heloísa B. Teodoro Bastos, psicóloga da Divisão de Assistência Médica e Social da Coordenação de Benefícios e Qualidade de Vida da Coordenação Geral de Recursos Humanos – DIAMS/COBEV/CGREH/IBAMA, pelo suporte emocional e psicológico recebido.

À Divisão de Capacitação da Coordenação de Gestão do Desempenho dos Recursos Humanos da Coordenação Geral de Recursos Humanos – CODER/CGREH/IBAMA, pela concessão do afastamento para a realização do curso de doutorado.

Ao Chefe do LPF, Dr. Marcus Vinicius da Silva Alves, por possibilitar a realização do curso de doutorado na opção de Tecnologia de Produtos Florestais, bem como a execução do projeto de pesquisa.

A todos os professores e funcionários do Curso de Pós-graduação do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília e do LPF que colaboraram para a realização do curso.

Aos queridos amigos e familiares, pelo carinho com que me trataram nos momentos difíceis e pela força dada para que eu seguisse em frente.

Aos meus pais, pela compreensão, especialmente ao Prof. Bezerra, pela revisão do texto desta tese.

Ao meu marido, Luiz Gomes Marques, pelo apoio, compreensão e colaboração no decorrer deste trabalho.

Aos meus filhos, Rodrigo, Bruno e Isabella, meus bens mais preciosos, que souberam aceitar a minha ausência.

E, sobretudo, a Deus, que foi a fonte de onde tirei coragem e fé para concluir este trabalho.

RESUMO

AGRUPAMENTO DE 41 ESPÉCIES DE MADEIRAS DA AMAZÔNIA PARA SECAGEM BASEADO EM CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E FÍSICAS

Este trabalho teve por objetivo propor um método de agrupamento para a secagem de 41 espécies de madeiras da Amazônia e, especificamente: 1) selecionar, com base na bibliografia consultada, e determinar, para as espécies utilizadas no estudo, as características anatômicas e físicas que influenciam no processo de secagem; 2) estabelecer correlações entre as características estudadas e o comportamento na secagem para avaliar a influência dessas características no processo; 3) desenvolver modelos estatísticos em função das características determinadas para estimativa do comportamento da madeira na secagem – do estado saturado até 12% de teor de umidade (TU), do estado saturado até o ponto de saturação das fibras (PSF) e abaixo do PSF (30% a 12% de TU); e 4) estabelecer grupos de espécies com comportamentos de secagem semelhantes.

As características estudadas foram: diâmetro tangencial dos poros; frequência de poros; razão entre frequência de poros obstruídos e frequência de poros; dimensões das fibras (diâmetro total máximo, largura do lúmen e espessura da parede); massa específica básica; contração volumétrica total; teor de umidade inicial; tempos e taxas de secagem do estado saturado até 12% de TU, do estado saturado até 30% de TU e de 30% até 12% de TU.

A largura do lúmen das fibras e a massa específica básica foram, respectivamente, as características anatômica e física que apresentaram os maiores coeficientes de correlação com as características de secagem.

Foram elaborados modelos de regressão múltipla para estimar os tempos de secagem. Embora esses modelos tenham apresentado baixos valores de R^2 , eles foram significativos no nível de 5% de probabilidade. Esses baixos valores foram atribuídos ao grande número de espécies utilizado para o estudo e à grande variabilidade existente entre elas.

De acordo com a taxa de secagem, as espécies foram classificadas e agrupadas. Espécies de um mesmo grupo podem ser submetidas à secagem conjunta em um mesmo programa. Novas espécies poderão ser classificadas e adicionadas a um dos quatro grupos formados a partir das taxas de secagem determinadas com base nos tempos de secagem estimados pelos modelos de regressão propostos.

ABSTRACT

GROUPING OF 41 AMAZONIAN TIMBERS FOR CONVENTIONAL DRYING BASED ON ANATOMICAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS

This work aims to propose a method for grouping 41 Amazonian wood species for drying. Besides, it specifically aims: 1) to select from literature which physical and mechanical characteristics affect the drying process and to determine these selected properties for the 41 wood species; 2) to establish any meaningful correlation between the studied properties and the woods behavior upon drying; 3) to develop statistical models based on the determined properties in order to estimate de woods performance on drying under the following conditions: from green to 12% moisture content (MC), from green to the fiber saturation point (PSF) and from the PSF to 12% MC; 4) furthermore, wood species with similar behavior on drying will be grouped.

The studied properties were: pore tangential diameter; pore frequency; pore frequency to blocked pore frequency ratio; the fibers measures (maximum fiber diameter, lumen width and wall thickness); the basic density; total volumetric shrinkage; drying time and drying rate from green to 12% MC, from green do 30% MC and from 30% to 12% MC.

The fiber lumen width and basic density were, respectively, the anatomical and physical characteristics that showed the higher correlation coefficients with the drying properties.

Multiple regression models were developed to estimate drying times. Although the models presented low R^2 values, they showed to be meaningful at the 5% probability level. These low values were attributed to the large size of the population of wood species studied and to the high variability of their properties.

Based on the calculated drying rates the wood species were classified and grouped. Wood species included in a given group can be submitted to drying at once under the same drying schedule. Other wood species might be classified and included to any of the four groups presented here, based on the drying rates determined using the drying times estimated by the models proposed.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	HIPÓTESE	3
1.2	OBJETIVOS	3
1.2.1	Geral	3
1.2.2	Específicos	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	ESTRUTURA ANATÔMICA DA MADEIRA DE FOLHOSAS	4
2.1.1	Elementos celulares que constituem a madeira de folhosas	5
2.1.1.1	Células de parênquima.....	5
2.1.1.2	Fibras	5
2.1.1.3	Elementos de vasos.....	6
2.1.1.4	Traqueídes.....	7
2.1.2	Estruturas anatômicas e substâncias incrustantes	7
2.1.2.1	Cristais e depósitos de sílica	7
2.1.2.2	Canais secretores	8
2.1.2.3	Canais traumáticos.....	8
2.1.2.4	Floema incluso.....	8
2.1.2.5	Máculas medulares	8
2.2	IMPORTÂNCIA DO ESTUDO ANATÔMICO	9
2.3	SECAGEM DA MADEIRA	11
2.4	CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA QUE INFLUEM NO PROCESSO DE SECAGEM	15
2.4.1	Propriedades anatômicas	16
2.4.2	Propriedades físicas	17
2.4.2.1	Massa específica	17
2.4.2.2	Contração	19
2.4.2.3	Relação entre massa específica e contração	22
2.4.3	Características de secagem	23
2.4.3.1	Teor de umidade inicial (TUI).....	23
2.4.3.2	Taxa de secagem.....	24

2.5 AGRUPAMENTO DE ESPÉCIES PARA A SECAGEM CONVENCIO-	
NAL.....	28
2.5.1 Agrupamento com base na experiência.....	30
2.5.2 Agrupamento com base em propriedades de secagem, físicas e	
anatômicas.....	32
2.5.3 Agrupamento com base no tempo de secagem	35
2.5.4 Agrupamento com base em secagem drástica	36
3 MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1 LOCAL DE REALIZAÇÃO DO PROJETO.....	37
3.2 MATERIAL UTILIZADO	37
3.3 SELEÇÃO DAS ESPÉCIES PARA O ESTUDO	38
3.4 DEFINIÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA IMPORTANTES	
PARA A SECAGEM.....	38
3.5 RETIRADA DOS CORPOS-DE-PROVA PARA DETERMINAÇÃO	
DAS PROPRIEDADES SELECIONADAS	42
3.6 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES DE	
MADEIRA.....	44
3.6.1 Diâmetro tangencial dos poros.....	44
3.6.2 Frequência de poros.....	44
3.6.3 Razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de	
poros	45
3.6.4 Dimensões das fibras.....	45
3.6.5 Taxa de secagem.....	47
3.6.6 Massa específica básica.....	51
3.6.7 Contração volumétrica total.....	52
3.7 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.1 Características anatômicas	57
4.2 Características físicas	62
4.3 Características de secagem	64
4.4 Análise das correlações entre as características estudadas para as 41	
espécies.....	71

4.4.1	Correlações entre as características anatômicas	71
4.4.2	Correlações entre as características físicas	73
4.4.3	Correlações entre as características de secagem	73
4.4.4	Correlações entre as características anatômicas e as características físicas	75
4.4.5	Correlações entre as características anatômicas e as características de secagem	76
4.4.6	Correlações entre as características físicas e as características de secagem	77
4.5	Estimativa do tempo de secagem	79
4.6	Agrupamento das espécies	83
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	87
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
APÊNDICES		
A	RELAÇÃO DAS ESPÉCIES POR NOME CIENTÍFICO E DOS INDIVÍDUOS ESTUDADOS	95
B	VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS DETERMINADAS PARA OS INDIVÍDUOS DAS 41 ESPÉCIES DE MADEIRAS DA AMAZÔNIA ESTUDADAS	101
C	HISTOGRAMAS DE FREQUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS ESTUDADAS	113
D	MATRIZ DE CORRELAÇÕES PARA AS CARACTERÍSTICAS ESTUDADAS	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Relação das espécies de madeira selecionadas e respectivos locais de coleta	39
Tabela 3.2	Valores das propriedades determinadas para as espécies de madeiras da Amazônia	55
Tabela 4.1	Valores médios, por espécie, das características anatômicas.....	58
Tabela 4.2	Relação das espécies de acordo com o tipo de preenchimento dos poros.....	60
Tabela 4.3	Valores médios, por espécie, das características físicas.....	63
Tabela 4.4	Valores médios, por espécie, das características de secagem	65
Tabela 4.5	Matriz de correlações entre as características determinadas para as 41 espécies de madeiras estudadas.....	72
Tabela 4.6	Valores dos coeficientes da regressão e de determinação das variáveis físicas e anatômicas selecionadas pelo método <i>stepwise</i> para estimar o tempo de secagem	80
Tabela 4.7	Análise de variância dos modelos para estimar os tempos de secagem das 41 espécies de madeiras estudadas	82
Tabela 4.8	Agrupamento das 41 espécies de madeira estudadas, de acordo com as taxas de secagem determinadas.....	84
Tabela A.1	Relação das espécies por nome científico, com respectivos nomes comuns e distinção de cerne e alburno, e dos indivíduos estudados, com respectivos números de coleta e da xiloteca.....	96
Tabela B.1	Valores médios das características determinadas para os indivíduos das 41 espécies de madeiras da Amazônia estudadas.....	102
Tabela D.1	Matriz de correlação para as características determinadas para as 41 espécies de madeiras estudadas.....	123

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Curva característica de secagem para materiais porosos, de acordo com Rosen (1983), citado por Jankowsky, Santos e Andrade (2003)	27
Figura 3.1	Esquema de retirada dos corpos-de-prova	43
Figura 4.1	Percentual de espécies por tipo de preenchimento dos poros	61
Figura 4.2	Condições de temperatura, umidade relativa do ar e teor de umidade de equilíbrio a que os corpos-de-prova do grupo de madeiras leves, médias e pesadas foram expostos nas cubas acrílicas	68
Figura C.1	Histograma de frequência para diâmetro tangencial dos poros.....	114
Figura C.2	Histograma de frequência para frequência de poros	114
Figura C.3	Histograma de frequência para a razão	115
Figura C.4	Histograma de frequência para o diâmetro total máximo das fibras.....	115
Figura C.5	Histograma de frequência para a largura do lúmen das fibras	116
Figura C.6	Histograma de frequência para a espessura da parede das fibras.....	116
Figura C.7	Histograma de frequência para a contração volumétrica total	117
Figura C.8	Histograma de frequência para a massa específica básica	117
Figura C.9	Histograma de frequência para o teor de umidade inicial	118
Figura C.10	Histograma de frequência para a taxa de secagem do estado saturado até 12%.....	118
Figura C.11	Histograma de frequência para a taxa de secagem do estado saturado até 30%.....	119
Figura C.12	Histograma de frequência para a taxa de secagem de 30% até 12%.....	119
Figura C.13	Histograma de frequência para o tempo de secagem do estado saturado até 12%.....	120
Figura C.14	Histograma de frequência para o tempo de secagem do estado saturado até 30%.....	120
Figura C.15	Histograma de frequência para o tempo de secagem de 30% até 12%	121

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

A	– Área de evaporação do corpo-de-prova, em centímetros quadrados
$C_2H_4O_2$	– Ácido acético glacial
C_2H_6O	– Etanol
C_l	– Contração longitudinal total do corpo-de-prova do estado saturado até o estado seco em estufa a 0% de teor de umidade, em porcentagem
Copant	– Comisión Panamericana de Normas Técnicas
Cpatu	– Embrapa Amazônia Oriental
C_r	– Contração radial total do corpo-de-prova do estado saturado até o estado seco em estufa a 0% de teor de umidade, em porcentagem
C_t	– Contração tangencial total do corpo-de-prova do estado saturado até o estado seco em estufa a 0% de teor de umidade, em porcentagem
C_v	– Contração volumétrica total do corpo-de-prova do estado saturado até o estado seco em estufa, em porcentagem
DAP	– Diâmetro à altura do peito
Δm	– Diferença entre as massas de um determinado intervalo de teor de umidade, em gramas
d_{sl}	– Dimensão longitudinal do corpo-de-prova no estado seco em estufa a 0% de teor de umidade, em milímetros
d_{sr}	– Dimensão radial do corpo-de-prova no estado seco em estufa a 0% de teor de umidade, em milímetros
d_{st}	– Dimensão tangencial do corpo-de-prova no estado seco em estufa a 0% de teor de umidade, em milímetros
DTF	– Diâmetro total máximo das fibras, em micrometros
DTP	– Diâmetro tangencial dos poros, em micrometros
d_{vl}	– Dimensão longitudinal do corpo-de-prova no estado saturado, em milímetros
d_{vr}	– Dimensão radial do corpo-de-prova no estado saturado, em milímetros
d_{vt}	– Dimensão tangencial do corpo-de-prova no estado saturado, em milímetros
Embrapa	– Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPF	– Espessura da parede da fibra, em micrometros
FP	– Freqüência dos poros, em número de poros por milímetro quadrado

H ₂ O ₂	– Peróxido de hidrogênio
IAWA	– International Association of Wood Anatomists
Ibama	– Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBDF	– Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
Inpa	– Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
K ₂ CO ₃	– Carbonato de potássio
LLF	– Largura do lúmen da fibra, em micrometros
LPF	– Laboratório de Produtos Florestais
Ma	– Massa do corpo-de-prova correspondente ao teor de umidade de 30% ou 12% ou massa do corpo-de-prova em qualquer momento de pesagem, em gramas
ME _b	– Massa específica básica do corpo-de-prova, em gramas por centímetro cúbico
M _s	– Massa seca do corpo-de-prova após secagem em estufa, a (103±2)°C, até atingir valor constante, em gramas
M _v	– Massa do corpo-de-prova no estado saturado, em gramas
P.A.	– Para análise
PM	– Peso molecular
PSF	– Ponto de saturação das fibras
R ²	– Coeficiente de determinação
t	– Tempo de secagem relativo a um determinado intervalo de teor de umidade, em horas
TS _{SAT-12%}	– Tempo de secagem total, do estado saturado até 12% de teor de umidade, em horas
TS _{SAT-30%}	– Tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade, em horas
TS _{30%-12%}	– Tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade, em horas
TU	– Teor de umidade do corpo-de-prova
TUA	– Teor de umidade correspondente a 30% ou a 12% ou teor de umidade do corpo-de-prova correspondente a um momento qualquer durante a secagem, em porcentagem
TUE	– Teor de umidade de equilíbrio
TUI	– Teor de umidade inicial do corpo-de-prova no estado saturado, em

1 INTRODUÇÃO

As florestas tropicais se constituem um sistema de estrutura complexa que possui uma composição altamente diversificada (Terborgh, 1992). De acordo com Junk (1989), existe um total de 4.000 a 5.000 espécies florestais na Amazônia, e a diversidade de árvores pode variar de 70 a 130 espécies por hectare nas florestas de várzea até 500 espécies por hectare nas florestas de terra firme.

Uma das principais funções da Floresta Amazônica é a de suprimento de madeira. A atividade madeireira na Amazônia, além de ser uma fonte geradora de divisas para o País, é responsável pela geração de milhares de empregos (Jacobs, 1988). O principal produto madeireiro exportado é a madeira serrada, seguida do compensado e do laminado. Embora o Brasil seja um grande produtor de madeira serrada, apenas uma pequena parte de sua produção é destinada ao mercado externo.

Uma das explicações para o fato de o Brasil exportar tão pouco do que produz de madeira serrada é ser o mercado externo bastante exigente com relação à qualidade da madeira, que deve estar seca e livre de defeitos. A secagem é, então, uma importante etapa do processamento da madeira, pois proporciona uma melhoria das suas propriedades e a conseqüente agregação de valor.

A secagem convencional, realizada em estufas que operam a temperaturas entre 40°C e 90°C, sempre busca o equilíbrio entre o menor tempo de processamento e a melhor qualidade para a madeira seca, sendo, por isso, o método mais conhecido e utilizado para a secagem industrial da madeira de folhosas. Entretanto, quando se trata de espécies tropicais, existem dois aspectos que dificultam o gerenciamento do processo: o primeiro está relacionado com a quantidade de espécies colhidas na floresta tropical, que já é grande e tende a aumentar com a crescente necessidade da aplicação das técnicas de manejo florestal, visando a exploração contínua e sustentada; o segundo diz respeito à insuficiência de informações e recomendações para a secagem das espécies menos conhecidas.

A disponibilidade ao mercado de uma quantidade maior de espécies tropicais pouco conhecidas, mas em volumes pequenos, torna economicamente inviável a secagem

convencional com cargas de apenas uma única espécie. Para transpor esse obstáculo, é necessário agrupar diferentes espécies de madeira, formando cargas mistas que completem os volumes das estufas, de forma a permitir a secagem simultânea em um mesmo programa de secagem.

O agrupamento, de acordo com Bello e Taguiling (1997), consiste em como escolher as espécies que podem ser secas juntas usando um programa de secagem comum, de modo que o processo seja conduzido no menor tempo possível e que, ao final, as madeiras apresentem um teor de umidade relativamente uniforme e com um mínimo de defeitos. Para Simpson e Baah (1989), se espécies diferentes apresentarem respostas semelhantes, quando um único programa de secagem é utilizado, a secagem conjunta dessas espécies apresentará poucos problemas. O maior benefício do agrupamento, segundo Simpson e Baah (1989), é a redução do tempo de secagem e do consumo de energia que seriam necessários para secar as espécies individualmente.

Embora viável, o grande número de espécies tropicais amazônicas, a diversidade de propriedades da madeira relacionadas com a secagem e a possibilidade ou dificuldade para se determinar uma medida quantitativa dessas propriedades tornam o agrupamento complexo, constituindo-se um problema para a sua realização.

Os métodos de agrupamento desenvolvidos até o momento baseiam-se no princípio de que madeiras com características de secagem semelhantes podem ser submetidas a um mesmo programa de secagem. No entanto, essas características de secagem são influenciadas pelas propriedades físicas, anatômicas e químicas da madeira.

A presença ou ausência de certas características estruturais da madeira pode afetar o comportamento na secagem, assim como a qualidade da madeira seca. Embora autores como Simpson (1991) e Denig, Wengert e Simpson (2000) relatem que a textura, a grã, a largura dos raios e a presença de tilos podem interferir na secagem, não se encontram na literatura trabalhos científicos que correlacionem essas características com o tempo e a taxa de secagem e comprovem essa interferência. Trabalhos realizados por Martins e Oliveira (1989) e Mendes, Simpson e Verrill (1997) consideram determinadas características anatômicas como possíveis causas da dificuldade de secagem de determinadas espécies.

Existe também a carência de informações sobre a influência de tais características na retirada de água livre e água presa e sobre a interferência conjunta dessas características.

1.1 HIPÓTESE

As propriedades anatômicas e físicas da madeira são determinantes do seu comportamento na secagem, de tal forma que madeiras com essas propriedades semelhantes podem ser agrupadas e submetidas a um mesmo programa de secagem.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

- Propor um método de agrupamento para a secagem de madeiras da Amazônia, baseado em características anatômicas e físicas das espécies estudadas.

1.2.2 Específicos

- Selecionar as características anatômicas e físicas que influenciam no processo de secagem, com base na bibliografia consultada, e determiná-las para espécies de madeiras da Amazônia utilizadas no estudo.
- Estabelecer correlações entre as características estudadas e avaliar a influência dessas características no processo de secagem.
- Desenvolver modelos estatísticos em função das características determinadas para estimativa do tempo de secagem: do estado saturado até 12% de teor de umidade, do estado saturado até o ponto de saturação das fibras (30%) e abaixo do ponto de saturação das fibras (30% a 12%).
- Estabelecer grupos de espécies com taxas de secagem semelhantes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ESTRUTURA ANATÔMICA DA MADEIRA DE FOLHOSAS

O tronco de uma árvore desempenha três funções físicas: suportar a copa, região responsável pela produção de alimento e sementes; conduzir as soluções minerais absorvidas pelas raízes até a copa; armazenar alimento (carboidratos) até que sejam necessários. Essas funções são desenvolvidas por diferentes tipos de célula (Dinwoodie, 1981). Esses diferentes tipos de células formam estruturas com características morfológicas e anatômicas bem distintas entre si. As angiospermas (folhosas) e as gimnospermas (coníferas) são as divisões do reino vegetal que contêm as plantas produtoras de madeira. A grande maioria das madeiras brasileiras pertence ao grupo das folhosas (Coradin e Camargos, 2002).

É muito importante conhecer a estrutura celular da madeira de folhosas, os espaços que existem entre elas, assim como as estruturas de comunicação entre capilares, pois a maioria das propriedades físicas e usos da madeira são altamente dependentes de sua estrutura anatômica. Embora a madeira seja um material altamente poroso, não é muito permeável. A maioria das madeiras comercializadas possui massa específica seca variando de 0,3 g/cm³ a 0,8 g/cm³. A porosidade decorre do fato de que em torno de 45% a 80% desse valor de massa específica ser relativo ao volume de espaços vazios. A falta de permeabilidade é devida ao fato de que os espaços vazios são muito discretos, com pouca comunicação entre eles. O tamanho, a natureza e o número de estruturas intercomunicantes na madeira exercem um efeito no movimento de água e de outros materiais pela madeira (Stamm, 1964).

A estrutura das folhosas é mais complexa do que a das coníferas (Stamm, 1964), uma vez que mais elementos celulares entram em sua constituição (Panshin e De Zeeuw, 1970). A maioria das células – de 90% a 95% – estão alinhadas no eixo vertical, resultando em uma distribuição diferenciada de células nos três eixos principais e, conseqüentemente, no alto grau de anisotropia presente na madeira (Dinwoodie, 1981).

2.1.1 Elementos celulares que constituem a madeira de folhosas

De acordo com Dinwoodie (1981), existem quatro tipos de células nas folhosas que formam os tecidos de armazenamento, sustentação e condução: células de parênquima, fibras, elementos de vasos e traqueídes. As variações de número, dimensões, distribuição e da quantidade relativa desses elementos celulares são responsáveis pela diferenciação entre espécies.

2.1.1.1 Células de parênquima

São células geralmente mais curtas e de paredes mais finas (Stamm, 1964). Têm a função de armazenar alimento e, quando dispostas com a maior dimensão no sentido longitudinal, formam o parênquima axial. Nesse caso, as células podem estar dispersas ou agrupadas em zonas distintas. Quando as células de parênquima estão dispostas no lenho com o maior comprimento no sentido radial, formam o parênquima radial ou raios (Dinwoodie, 1981; Coradin e Camargos, 2002). Segundo Stamm (1964), a difusão radial pode ser mais que o dobro da difusão tangencial. Essa diferença é atribuída à efetividade e número de células do raio.

2.1.1.2 Fibras

As fibras são células finas e longas de extremidades fechadas, que têm a função de suporte (Dinwoodie, 1981). As fibras das folhosas não são tão perfeitamente arrançadas como as das coníferas e são entremeadas por células de parênquima e por elementos de vasos (Stamm, 1964). As paredes das fibras podem ser finas ou tão espessas que a cavidade celular se torna extremamente reduzida, constituindo-se, juntamente com a sua natureza físico-química, um dos fatores mais importantes para determinar a resistência, contração e propriedades da madeira. Comparadas com os outros tipos de células, as pontoações das fibras são menores e menos numerosas. Não se encontram limitadas a uma parede particular, mas tendem a ser mais numerosas nas paredes radiais. Apresentam pontoações simples ou areoladas e, neste caso, são chamadas de fibrotraqueídes. Em espécies de folhosas com pouco tecido parenquimático é comum a ocorrência de fibras, denominadas por septadas, cujas cavidades são divididas horizontalmente em pequenos compartimentos (Desch e Dinwoodie, 1981).

2.1.1.3 Elementos de vasos

São células de diâmetros consideravelmente maiores (Stamm, 1964) e geralmente curtas, cujas extremidades foram total ou parcialmente dissolvidas (Dinwoodie, 1981). Os elementos de vasos se sobrepõem um ao outro, formando uma eficiente estrutura tubular contínua (Dinwoodie, 1981; Stamm, 1964), em que circula a água com os nutrientes retirados do solo (seiva bruta), desde as raízes até as folhas (Coradin e Camargos, 2002). Entre os elementos de vasos existem placas de perfuração, que podem ser simples, com uma única abertura quase tão larga quanto o lúmen, ou escalariforme, com várias aberturas separadas por finas barras orientadas transversalmente (Siau, 1984).

Os poros, termo utilizado para denominar a seção transversal dos elementos de vasos (Coradin e Camargos, 2002; Siau, 1984), apresentam distribuição e tamanho variáveis entre as folhosas e podem ser simples ou múltiplos (Stamm, 1964).

A distribuição, o arranjo, o agrupamento e o diâmetro tangencial dos poros são características anatômicas importantes para diferenciar as madeiras entre si. As madeiras cujos poros apresentam uniformidade com relação a seus diâmetros e se distribuem uniformemente em toda a superfície transversal são denominadas como de porosidade difusa (IAWA Committee, 1989). Existem outras espécies de madeiras que possuem distribuição em anéis semiporosos, cujos poros do lenho primaveril ou inicial são distintamente maiores que os poros do lenho outonal ou tardio (Coradin e Camargos, 2002).

Os poros do cerne de algumas espécies podem ser total ou parcialmente obstruídos por tilos, óleos, gomas, resinas e outras substâncias incrustantes, que contribuem para reduzir extremamente a permeabilidade da madeira (Siau, 1984).

Os tilos são invaginações da fina parede primária das pontoações das células parenquimáticas que se distendem e arrebentam, preenchendo total ou parcialmente as cavidades dos vasos (Desch e Dinwoodie, 1981). São formados durante o processo de transformação do alburno em cerne (Panshin e De Zeeuw, 1970), devido às diferenças de pressão que existem entre as células de parênquima e os elementos de vasos adjacentes que

perderam a função de condução. Essas diferenças de pressão ocorrem quando os vasos param de conduzir seiva (Desch e Dinwoodie, 1981).

2.1.1.4 Traqueídes

Algumas folhosas possuem células que lembram pequenos elementos de vasos, mas cujas extremidades não são perfuradas (Siau, 1984). Essas células, denominados por traqueídes vasicêntricos, auxiliam na condução de seiva (Desch e Dinwoodie, 1981). De acordo com Dinwoodie (1981), têm ainda a função de suporte e estão presentes em pequenas quantidades (Dinwoodie, 1981), dispostos ao redor dos elementos de vasos do lenho inicial (Siau, 1984). São semelhantes aos traqueídes das coníferas, sendo mais curtos (Desch e Dinwoodie, 1981). São dotados de pares de pontoações areoladas (Siau, 1984), semelhantes àquelas dos elementos de vasos, não sendo, entretanto, restritas às paredes radiais (Desch e Dinwoodie, 1981).

Além dos traqueídes vasicêntricos, ainda podem ser encontrados nas folhosas, segundo Panshin e De Zeeuw (1970), os traqueídes vasculares, que são células muito semelhantes, em tamanho, forma e posição, aos pequenos elementos de vasos do lenho tardio, exceto por não serem perfuradas nas extremidades.

2.1.2 Estruturas anatômicas e substâncias incrustantes

Além dos elementos celulares, as espécies de folhosas podem apresentar outras estruturas anatômicas que são características anatômicas também importantes.

2.1.2.1 Cristais e depósitos de sílica

O tecido de armazenamento de muitas madeiras contém cristais, usualmente na forma de oxalato de cálcio, e, mais raramente, depósitos de sílica. Essas substâncias podem estar confinadas em células do parênquima axial ou radial ou de ambos (Desch e Dinwoodie, 1981).

2.1.2.2 Canais secretores

São condutos ou espaços tubulares intercelulares que servem, geralmente, como depósito de resinas, gomas ou látex. Os canais secretores horizontais ou radiais se localizam dentro dos raios lenhosos, e os canais secretores verticais ou axiais se estendem paralelamente às fibras e são vistos na seção transversal como pequenas cavidades isoladas ou em série (Coradin e Camargos, 2002). Esses canais contêm substâncias como óleo, resina ou goma.

2.1.2.3 Canais traumáticos

São canais intercelulares de origem traumática observados na superfície da madeira em forma de veios e que, geralmente, se encontram preenchidos por resina escura ou goma (Coradin e Camargos, 2002). Podem ser distinguidos dos canais secretores axiais por ocorrerem invariavelmente em séries tangenciais e geralmente conter substância de cor escura, mais ou menos viscosa, com aspecto de goma. São geralmente maiores do que os vasos e tipicamente mais largos tangencialmente (Desch e Dinwoodie, 1981).

2.1.2.4 Floema incluso

São faixas ou grupos de tecido de floema que se encontram dentro do xilema secundário, como resultado do desenvolvimento anormal do câmbio. Por ser de estrutura diferente da madeira, pode afetar as propriedades de secagem (Desch e Dinwoodie, 1981).

2.1.2.5 Máculas medulares

São pequenas manchas claras e irregulares que aparecem na superfície transversal, sendo, muitas vezes, visíveis a olho nu. Essas manchas são constituídas por tecido parenquimatoso cicatricial, geralmente provenientes do ferimento no câmbio causado por insetos. Nas superfícies tangencial e radial, aparecem como estrias (Coradin e Camargos, 2002).

2.2 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO ANATÔMICO

As variações de tamanho, forma e distribuição dos tipos de células servem para identificar as várias espécies de madeiras (Dinwoodie, 1981; Stamm, 1964). Além disso, basicamente todas as propriedades físicas da madeira são influenciadas pelos fatores inerentes à estrutura organizacional da madeira, quais sejam: quantidade da substância parede celular presente em um determinado volume de madeira; quantidade de água presente na parede celular; composição proporcional dos componentes principais da parede celular e a quantidade e natureza de substâncias estranhas; arranjo e orientação dos materiais da parede nas células e nos diferentes tecidos; o tipo, tamanho, proporção e arranjo dos elementos celulares que formam o tecido da madeira (Panshin e De Zeeuw, 1970).

A espessura da parede de todos os tipos de células varia de acordo com a função que a célula irá desenvolver. Assim, a espessura da parede das fibras é várias vezes maior do que a dos vasos. Conseqüentemente, a massa específica da madeira e muitas de suas propriedades de resistência estarão relacionadas com as proporções relativas dos vários tipos de célula. A massa específica estará relacionada com a espessura da parede absoluta de qualquer tipo de célula, sendo possível encontrar em algumas espécies fibras com paredes muitas vezes mais espessas do que as de outras espécies. A massa específica da madeira varia de 120 kg/m^3 a 1.200 kg/m^3 , correspondendo a um volume de poros de 92% a 18% (Dinwoodie, 1981).

Em algumas folhosas, o lenho inicial dos anéis de crescimento é caracterizado pela presença de vasos de diâmetro grande circundado principalmente por traqueídes e células de parênquima. Poucas fibras encontram-se presentes. No lenho tardio, os diâmetros dos vasos são consideravelmente menores, e o tecido é compreendido em sua maioria por fibras. As propriedades dos lenhos inicial e tardio diferem entre si (Dinwoodie, 1981). Entretanto, a maioria das folhosas apresenta pouca diferenciação entre esses dois tipos de lenho (Dinwoodie, 1981; Stamm, 1964).

A estrutura dos vasos facilita tanto o fluxo longitudinal de líquido na árvore viva como na penetrabilidade de líquidos. Entretanto, sua efetividade depende do tamanho, número, distribuição e, principalmente, das substâncias incrustantes e tiloses presentes, bem como das características das pontoações que comunicam às células contíguas (Thomas, 1976).

As pontoações permitem a comunicação entre as células, possibilitando a passagem de soluções minerais e alimento nas direções longitudinal e horizontal (Dinwoodie, 1981). As pontoações das folhosas são muito menores do que as das coníferas e são, geralmente, simples (Stamm, 1964), ocorrendo entre células de parênquima e entre fibras. Entre traqueídes e entre vasos ocorre uma estrutura mais complexa conhecida como pontoações areoladas. Entre células de parênquima e traqueídes ou vasos ocorrem pontoações semi-areoladas, freqüentemente referenciadas como pontoações do raio (Dinwoodie, 1981). De acordo com Stamm (1964), a efetividade dessas pontoações na pressão de permeabilidade e difusão é baixa.

As fibras, apesar de constituírem grande parte do tecido da madeira, não são consideradas, em geral, tão importantes quanto os vasos na penetração inicial de líquidos. Entretanto, sua permeabilidade pode influenciar de forma decisiva na penetração subsequente de líquidos a partir dos vasos. Comparadas aos vasos, as fibras com parede celular espessa e distribuição irregular de pontoações relativamente pequenas não parecem ser especialmente adaptadas para o transporte de líquidos (Thomas, 1976).

Para avaliar a influência de características anatômicas na penetrabilidade de líquidos, Thomas (1976) estudou três espécies de folhosas: *Nyssa sylvatica*, *Carya tomentosa* e *Liquidambar styraciflua*. Com relação à penetrabilidade do cerne, essas espécies foram classificadas, respectivamente, como de penetração fácil, moderadamente difícil e muito difícil. O autor observou que em *Carya tomentosa* o pequeno papel desenvolvido pelos vasos na penetração de líquidos foi devido à deposição de goma e formação de tiloses, que obstruíram o caminho do fluxo de líquido. Além disso, o fato de todos os vasos se encontrarem completamente circundados por parênquima e, conseqüentemente, não estarem em comunicação direta com os elementos fibrosos longitudinais também limitou sua função de condução. Isso é especialmente verdadeiro em *C. tomentosa*, uma vez que um fluxo substancial de líquido ocorre ao longo das fibras em virtude da presença de finas mas não incrustadas membranas de pontoações conectadas fibra-a-fibra. A alta resistência do cerne de *Liquidambar styraciflua* à penetrabilidade de líquido resultou de espessas e incrustadas membranas de pontoações entre fibras e das tiloses que bloquearam as placas de perfuração e as pontoações entre vasos. Entretanto, apesar do cerne de *Nyssa sylvatica* conter incrustações, as placas de perfuração e pontoações não foram totalmente

bloqueadas. Além disso, a ausência de tiloses permitiu aos vãos do cerne exercer o papel principal na condução, resultando na fácil penetração de líquido na madeira.

Zhang e Zhong (1992) avaliaram estatisticamente as relações de vários parâmetros anatômicos em propriedades físico-mecânicas de *Quercus liaotungensis* e verificaram que o diâmetro das fibras é a característica anatômica que mais influenciou nas contrações radial e tangencial. A proporção de vasos foi a segunda característica anatômica que mais influenciou a contração radial, enquanto que a proporção de fibras foi a que mais influenciou a contração tangencial. Para a diferença entre as contrações tangencial e radial, o ângulo das microfibrilas foi a característica mais importante, seguida das proporções de fibras e vasos. A contração volumétrica foi influenciada pela proporção de fibras, pela proporção de parênquima e pela proporção de vasos, ou seja, pelas proporções entre os diversos tipos de tecidos. Segundo Zhang e Zhong (1992), trabalhos realizados por Cheng (1980) e Panshin e De Zeeuw (1970) relatam que a contração volumétrica é diretamente relacionada com a quantidade de material da parede das células, que, por sua vez, é controlada principalmente pelas proporções entre tecidos. Dessa forma, torna-se facilmente compreensível que a proporção entre tecidos seja o principal fator de influência sobre a contração volumétrica. A massa específica básica é influenciada diretamente pela porcentagem de material da parede celular e indiretamente pela proporção entre tecidos. No entanto, é possível concluir que a utilização da proporção entre tecidos como parâmetro anatômico pode refletir e substituir a porcentagem de material da parede celular.

2.3 SECAGEM DA MADEIRA

A madeira proveniente de árvores recém-abatidas apresenta alto teor de umidade que tende a reduzir-se de forma espontânea e lenta com o passar do tempo, enquanto as toras aguardam o desdobro inicial. Após o abate e o desdobro, a umidade diminui com maior ou menor rapidez, conforme a espécie, as condições ambientais, as dimensões das peças e o empilhamento utilizado (Galvão e Jankowsky, 1985).

Quando uma peça de madeira verde é exposta a condições normais do 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. Nessas

condições, a rapidez de secagem dependerá inicialmente da velocidade do ar e da capacidade desse ar em absorver o vapor d'água liberado pela madeira, que é uma função da temperatura e da umidade relativa. 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 e, depois, por difusão, quando o teor de umidade cai abaixo da umidade de saturação das fibras. Essa movimentação da água depende da temperatura, da permeabilidade, da massa específica, da espessura das peças e dos gradientes de umidade (Galvão e Jankowsky, 1985).

Basicamente, de acordo com Galvão e Jankowsky (1985), a secagem da madeira consiste na remoção da umidade da sua superfície ao mesmo tempo em que ocorre o movimento da água do interior para o exterior. Além dos fatores inerentes à madeira, a velocidade com que a secagem se realiza é influenciada pela temperatura, pela umidade relativa e pela circulação do ar.

De acordo com Bramhall e Wellwood (1976), a umidade presente na madeira ocorre sob três formas: a água livre ou de capilaridade, presente nas cavidades celulares; a água presa ou higroscópica, adsorvida pelas moléculas de celulose e hemicelulose que formam as fibrilas da parede celular; e a água na forma de vapor, que ocupa parte das cavidades celulares onde não se encontra mais água no estado líquido. O fluxo de água na madeira, por sua vez, é um processo bastante complexo, e, em geral, a água pode se mover de três maneiras: como vapor d'água através das cavidades celulares e poros das membranas das pontoações permanentes, como água presa ou higroscópica e como água livre. O comportamento da água livre e o da água presa são bastante diferentes (Kouali e Vergnaud, 1991).

A água livre é encontrada na forma líquida nos lumens das células e nos espaços intercelulares, sendo mantida somente por forças capilares fracas (Kouali e Vergnaud, 1991); por essa razão, é mais facilmente removida, necessitando de menos energia (Simpson, 1991). Quando toda a água livre no estado líquido é retirada das cavidades celulares e as paredes celulares se encontram saturadas com água presa, a madeira atinge um teor de umidade denominado Ponto de Saturação das Fibras – PSF (Bramhall e Wellwood, 1976). A saída de água livre, no estado líquido, ocorre acima desse ponto. A taxa do fluxo de água livre é afetada profundamente pela permeabilidade da madeira (Hart

e Darwin, 1971). Nas madeiras impermeáveis, o fluxo em massa não é um componente significativo do movimento total de umidade (Bramhall, 1976).

Abaixo do PSF, quando a Umidade Relativa do Ar (URA) circundante tende a 100%, existe somente água presa e vapor (Kouali e Vergnaud, 1991). A água presa é mais difícil de ser retirada da madeira, necessitando de mais energia para a sua remoção. Essa água causa alterações nas propriedades físicas e mecânicas, provocando mudanças que afetam o uso da madeira (Simpson, 1991). Por essas razões, conhecer o PSF é muito importante para o processo de secagem. Segundo Stamm (1964), o teor de umidade correspondente ao PSF varia de 22,5% a 30,5%. O PSF não é completamente uniforme entre as diferentes espécies de madeira, devido às variações em suas organizações químicas (Panshin e De Zeeuw, 1970). O PSF da madeira corresponde a um valor médio aproximado de 30% de teor de umidade, mas pode variar em alguns pontos percentuais desse valor entre indivíduos de uma mesma espécie e até mesmo entre amostras de um mesmo indivíduo (Simpson e TenWolde, 1999).

A água presa ou higroscópica é encontrada nas paredes celulares, estando ligada, em grande parte, por pontes de hidrogênio aos grupos hidroxilas da celulose e hemicelulose e, também, em pequena quantidade, aos grupos hidroxilas dos líquidos. O teor de umidade de água presa é limitado pelo número de sítios de sorção disponíveis e pelo número de moléculas de água que podem ser ligadas a esses sítios (Kouali e Vergnaud, 1991).

A movimentação da água presa ocorre por difusão, dentro das paredes celulares e pelas membranas das pontuações (Siau, 1984; Bramhall e Wellwood, 1976), em decorrência de um gradiente higroscópico (Hart e Darwin, 1971). A difusão de água presa ocorre quando as moléculas de água que se encontram presas aos sítios de sorção recebem energia superior àquela de ligação, permitindo que elas se movam para novos sítios (Dinwoodie, 1981).

A difusão de água presa é um processo muito importante para a secagem de todas as espécies de madeira, permeáveis ou impermeáveis. Nas espécies impermeáveis, em que o fluxo capilar não ocorre, a secagem só é possível através do mecanismo de difusão (Bramhall, 1976). A difusão ocorre durante o processo de secagem e quando a madeira responde às alterações de umidade relativa do ambiente (Siau, 1984).

O fluxo de vapor de água ocorre acima e abaixo do ponto de saturação das fibras através das cavidades celulares e dos poros das membranas das pontoações. Abaixo do ponto de saturação das fibras, o movimento de vapor de água ocorre por difusão (Bateman, Hohf e Stamm, 1939; citados por Dinwoodie, 1981). Segundo Choong e Fogg (1968), o movimento de vapor é predominante somente na direção longitudinal em teores de umidade mais baixos.

O movimento capilar é bem mais rápido do que a difusão, sendo que longitudinalmente a difusão é de 10 a 15 vezes maior do que a radial ou a tangencial. Entretanto, quando comparada com a tangencial, a difusão radial é mais rápida (Simpson, 1991).

A secagem proporciona uma série de vantagens, uma vez que confere maior estabilidade dimensional; reduz os riscos de manchas e apodrecimentos e o peso da carga no transporte; melhora a tratabilidade, as características de trabalhabilidade, a fixação de pregos e parafusos, a colagem e as propriedades de isolamento; e aumenta a resistência mecânica (Martins, 1988).

Atualmente, existem diversos métodos de secagem de madeira, mas a secagem ao ar livre ou natural e a secagem convencional são os mais utilizados. A secagem convencional é um tipo de secagem artificial tradicional, realizada em estufas que operam com temperaturas entre 45°C e 100°C, com controle de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar (Bramhall e Wellwood, 1976; Martins, 1988). Em climas úmidos, a secagem em estufa é empregada, após a natural, para finalizar o processo, de acordo com as especificações do produto final (Eaton e Hale, 1993). Em relação à secagem natural, Galvão e Jankowsky (1985) afirmam que a secagem convencional tem como principais vantagens: a redução do período de secagem, possibilitando giro mais rápido do capital; maior controle sobre os defeitos da secagem; possibilidade de eliminar fungos e insetos; redução da umidade da madeira, em qualquer época do ano, a teores previamente determinados; eliminação da necessidade de grandes pátios requeridos para a secagem natural.

As estufas convencionais são freqüentemente usadas para aumentar a taxa de secagem e condicionar a madeira a teores de umidade específicos em uma câmara com ambiente controlado, de acordo com programas de secagem predeterminados para grupos de espécies de madeira, resultando em uma secagem rápida (Eaton e Hale, 1993).

O aquecimento do ar durante a secagem convencional fornece a energia necessária para evaporar a umidade presente na superfície da madeira e para elevar a sua temperatura interna, acelerando o movimento de umidade (Bramhall e Wellwood, 1976). O aquecimento do ar também influencia a umidade relativa, aumentando a capacidade de o ar receber maior quantidade de vapor d'água proveniente da madeira. Dessa forma, quando a temperatura do ar aumenta, mantendo-se sua mesma quantidade de vapor d'água, promove-se: a redução da umidade relativa, aumentando-se, assim, a rapidez de remoção da água superficial; o aumento do coeficiente de difusão da água higroscópica e do vapor d'água da madeira; e a alteração do gradiente de umidade (Galvão e Jankowsky, 1985). Entretanto, para evitar a contração superficial excessiva e os defeitos de secagem, a umidade relativa deve ser mantida em níveis elevados no início da secagem. Por outro lado, altas umidades relativas reduzem a diferença entre as temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido e, conseqüentemente, a taxa de secagem (Bramhall e Wellwood, 1976). Portanto, para que o desempenho de uma secagem seja eficiente, é necessário que ocorra um movimento uniforme do ar, transferindo calor para a madeira e retirando a umidade evaporada. O ar circulante deve passar pela superfície das peças em secagem. Quanto maior a velocidade do ar, maior a taxa e menor o tempo de secagem (Bramhall e Wellwood, 1976).

A razão fundamental para a realização da secagem é a melhoria das propriedades da madeira serrada, o que agrega valor e torna a sua comercialização uma atividade mais rentável. O principal objetivo da secagem de madeira serrada de folhosas é gerar um produto melhor, minimizar qualquer perda de qualidade e, dessa forma, contribuir para a conservação dos recursos naturais ao mesmo tempo em que se obtém lucro. Em outras palavras, a secagem de madeira serrada de folhosas é, ou deveria ser, um processo rentável orientado para a conservação das florestas (Denig, Wengert e Simpson, 2000).

2.4 CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA QUE INFLUEM NO PROCESSO DE SECAGEM

As características de secagem dependem de certas propriedades da madeira. Variações de propriedades entre espécies, como a massa específica, o teor de umidade inicial, o teor de extrativos e os elementos anatômicos, afetam o comportamento da madeira durante a secagem (U. S. Department of Agriculture, 1988; Simpson e Baah, 1989). As respostas

mais importantes da madeira à secagem são a susceptibilidade ao aparecimento de defeitos e a taxa de secagem (Simpson e Baah, 1989).

2.4.1 Propriedades anatômicas

De acordo com Simpson (1991), a estrutura da madeira influencia nas características de secagem. Geralmente, o alburno possui um teor de umidade maior do que o cerne; além disso, devido à presença de gomas, resinas e outros materiais incrustantes, o cerne é menos permeável do que o alburno. Por essa razão, o cerne é mais susceptível a certos defeitos de secagem, necessitando de maiores períodos e de condições de secagem mais suaves.

A textura se refere às dimensões, à distribuição e à abundância relativa dos elementos estruturais da madeira (Jane, 1970). Nas folhosas são referenciais os diâmetros e o número de vasos, a largura dos raios e a quantidade de parênquima axial (Coradin e Camargos, 2002). Madeiras de textura fina possuem células de pequeno diâmetro, ao contrário das células de madeiras de textura grossa (Simpson, 1991). Madeira de textura uniforme se refere à condição em que as células ou poros são todos de tamanhos similares. Em termos de secagem, madeiras com textura grossa secam mais rápido que as madeiras de textura fina (U. S. Department of Agriculture, 1988). Madeiras de textura média, em geral, são menos propensas a desenvolver defeitos de secagem (Simpson, 1991; U. S. Department of Agriculture, 1988).

A grã diz respeito ao arranjo e ao paralelismo dos elementos axiais (células) da madeira ao longo do tronco. A grã pode ser direita, irregular, espiralada, entrecruzada ou reversa, inclinada e ondulada (Coradin e Camargos, 2002). A madeira que contém grã inclinada, espiralada ou reversa contrai mais no comprimento do que a madeira de grã direita, estando mais sujeita a empenos durante a secagem (Simpson, 1991). Existem vários tipos de empenos, e todos eles são descritos como desvios ou distorções de um plano verdadeiro.

Os raios são linhas compostas de células que se encontram dispostas perpendicularmente ao eixo da árvore (Coradin e Camargos, 2002); elas são mais fracas e secam mais rápido do que as outras ao redor. Por isso, madeira com raios mais largos necessitam de cuidados especiais de secagem durante os estágios iniciais, para evitar a ocorrência de rachaduras superficiais, de topo e internas.

A porosidade diz respeito à fração do volume de espaços vazios em um sólido, enquanto a permeabilidade é simplesmente uma expressão quantitativa da facilidade com que os fluidos são transportados através de um sólido poroso sob a influência de um gradiente de pressão. É óbvio que um sólido deve ser poroso para ser permeável, mas isso não significa que todos os corpos porosos são permeáveis. A permeabilidade só pode existir se os espaços vazios forem interconectados por aberturas (Siau, 1984). A permeabilidade é a propriedade mais variável da madeira, sendo muito importante para a remoção de água livre durante a secagem (Dinwoodie, 1981).

Nas folhosas, a permeabilidade longitudinal é normalmente maior, pois as extremidades dos vasos são parcial ou totalmente dissolvidas. O fluxo radial se dá por meio dos raios, enquanto que o tangencial é mais complicado, ocorrendo na presença de pontoações que interconectam vasos adjacentes, fibras e parênquima axial. A permeabilidade é maior nas regiões mais externas do alburno, diminuindo gradativamente para o interior e consideravelmente na formação do cerne, quando as cavidades celulares são preenchidas pela deposição de gomas ou resinas ou, como acontece com algumas espécies, pelas tiloses (Dinwoodie, 1981).

Os tilos podem obstruir os vasos total ou parcialmente (Coradin e Camargos, 2002) e, segundo Simpson (1991), o movimento de umidade através dos vasos pode ser impedido ou grandemente retardado.

Para Bello (1972), citado por Alipon e Tamayo (1997), irregularidades na estrutura anatômica da madeira, tais como linhas radiais de poros largos, linhas de dutos de resina, grandes quantidades de parênquima ao redor dos poros, faixas contínuas de madeira de baixa massa específica entre faixas de madeira de alta massa específica, fibras gelatinosas e quantidades consideráveis de resina e sílica, também causam problemas na secagem.

2.4.2 Propriedades físicas

2.4.2.1 Massa específica

Além da variação de massa específica que ocorre entre madeiras de diferentes espécies, existe uma variação considerável entre diferentes amostras da mesma espécie, podendo

essa variação ser quatro vezes maior entre madeiras de árvores diferentes e entre madeiras provenientes de diferentes regiões de uma mesma árvore. No primeiro caso, a variação é influenciada por diversos fatores, tais como a taxa de crescimento, as condições ambientais do sítio e a composição genética. No segundo caso, ocorrem padrões de variação sistemática, e, de forma geral, a madeira mais densa encontra-se na base da árvore, ocorrendo uma diminuição gradual à medida que se desloca em direção à copa da árvore. Até uma determinada altura do tronco, existe um aumento geral da massa específica a partir da medula, crescendo até determinado momento e voltando a diminuir a partir de então (Desch e Dinwoodie, 1981).

Em geral, a massa específica da madeira depende do tamanho das células, da espessura da parede das células e da relação entre o número de células de vários tipos em termos de tamanho e espessura da parede. As fibras são particularmente importantes para a determinação da massa específica, uma vez que suas pequenas seções transversais permitem que um grande número delas seja comprimido em pequenas regiões. Se as fibras possuem paredes espessas e lumens pequenos, então a quantidade total de espaços vazios é relativamente pequena e a massa específica tende a ser alta. Por outro lado, se as fibras possuem paredes finas, lumens largos ou ambos, a massa específica será baixa. O grande volume de vasos na madeira também pode ser responsável por massa específica baixa, mas isso não é muito comum (Panshin e De Zeeuw, 1970).

A massa específica é uma propriedade física da madeira indicativa da facilidade ou dificuldade de secagem, uma vez que afeta o comportamento da madeira. Em geral, quanto maior a massa específica, mais lenta é a secagem, pois menor é a taxa e maior é a susceptibilidade da espécie em desenvolver defeitos durante a secagem. Apresenta alta correlação com o tempo de secagem (Simpson e Baah, 1989; Simpson, 1991).

Para Simpson e Verrill (1997), a massa específica básica é uma propriedade da madeira que é conhecida, pelo menos aproximadamente, para muitas espécies, incluindo aquelas para as quais não se têm programas de secagem recomendados. Na maioria das vezes, os valores disponíveis se constituem médias que podem variar dentro da espécie. Utilizando valores de massa específica básica de 268 espécies de folhosas e programas de secagem recomendados para essas espécies, os autores, por meio de uma classificação inicial e de

análise de regressão, constataram a possibilidade de estimar programas de secagem a partir da massa específica básica.

O grupo de espécies de coníferas denominado *hem-fir*, formado pelas espécies *Tsuga heterophylla*, *Abies magnífica*, *A. grandis*, *A. procera*, *A. amabilis* e *A. concolor*, foi estudado por Avramidis e Oliveira (1993). Os autores fizeram uma classificação prévia da madeira em dois grupos de massa específica básica – alta e baixa –, submetendo-os à secagem e constataram que o grupo de massa específica básica baixa secou mais rápido do que o grupo de massa específica básica alta. Posteriormente, Zhang *et al.* (1996), tomando por base a espécie e a massa específica básica, classificaram a madeira em seis grupos, submetendo-os ao mesmo programa de secagem. Os autores constataram que os grupos de madeira com massa específica básica baixa levaram menos tempo para secar do que aqueles com massa específica básica alta. Essa pré-classificação também resultou na redução da variabilidade do teor de umidade entre interior e superfície e do teor de umidade final.

Segundo Brown, Panshin e Forsaith (1952), madeiras com baixa massa específica secam mais rápido porque possuem grande volume de espaços nas cavidades celulares. O pequeno volume de parede celular através do qual a água se move lentamente como líquido e o grande volume de lumens por onde a água passa rapidamente na forma de vapor são a razão pela qual as madeiras de massa específica baixa apresentam um maior coeficiente de difusão.

Em geral, de acordo com Casin *et al.* (1979) e Alipon e Tamayo (1997), quanto mais densa a madeira, mais difícil ela é para secar. Mas a massa específica por si só não é um bom índice a ser utilizado para prever a facilidade de secagem de todas as espécies de madeira (Casin *et al.*, 1979).

2.4.2.2 Contração

Durante a secagem abaixo do ponto de saturação das fibras, a água presa é removida da parede celular fazendo com que seus componentes se aproximem, resultando na contração (Bramhall e Wellwood, 1976). De acordo com Brown *et al.* (1952), o termo contração da madeira refere-se a alterações nas suas dimensões e no seu volume, resultantes de

mudanças no teor de umidade abaixo do PSF. Essas alterações dimensionais são diretamente proporcionais às alterações no teor de umidade das células.

O processo de contração é delimitado pela variação entre o PSF e o estado seco a 0%. A dimensão da contração aumenta proporcionalmente com a perda da água presa, sendo dependente da massa específica da madeira (Hildebrand, 1970). De acordo com Dinwoodie (1981), na celulose, essa água presa encontra-se quimicamente ligada por pontes de hidrogênio com os grupos hidroxilas das moléculas das regiões amorfas e com a superfície dos cristálitos. A absorção da água pela lignina é consideravelmente menor do que pela hemicelulose ou pela celulose amorfa. A remoção da água de dentro dessas áreas da parede celular faz com que as microfibrilas se aproximem umas das outras, proporcionando uma ligação interfibrilar que é responsável pelo aumento da resistência da madeira e pela redução das suas dimensões, ou seja, de sua contração.

A contração difere no comprimento, largura e espessura de uma peça, assim como no material proveniente de uma mesma espécie e de uma mesma árvore (Simpson, 1991). Em média, as folhosas contraem mais do que as coníferas e, em geral, espécies com alta massa específica contraem mais do que aquelas de baixa massa específica (Schroeder, 1972; Simpson, 1991). De acordo com Schroeder (1972), as folhosas contraem, em média, 2,1% mais do que as coníferas, quando secas da condição saturada até a condição seca a 0%. Segundo o autor, a causa para essa diferença de comportamento deve-se às diferenças na constituição química das paredes celulares de folhosas e coníferas. Em média, as folhosas têm aproximadamente 20% menos lignina do que as coníferas. Esse teor de lignina mais baixo é apresentado pela parede secundária das fibras das folhosas, que é principal parede responsável pela contração. Dessa forma, a lignina restringiria as alterações dimensionais da madeira (Schroeder, 1972).

As razões de contração são diferentes nas várias direções, e as alterações nas diferenças dimensionais se constituem a principal fonte de problemas na secagem, processamento e uso da madeira (Bramhall e Wellwood, 1976).

De acordo com Skaar (1972), existe anisotropia considerável na contração, uma vez que a contração radial é geralmente em torno da metade da contração tangencial em uma dada faixa de umidade. Entre os fatores que afetam a contração transversal da madeira, podem

ser citados: a alternância das camadas de lenho inicial e tardio dentro do mesmo anel de crescimento; o efeito do tecido do raio; a diferença no ângulo das microfibrilas e orientação nas paredes radial e tangencial; teor de extrativos; e o grau de lignificação nas paredes das células radiais e tangenciais. Todos esse fatores não precisam necessariamente ocorrer em todas as espécies, mas um ou uma combinação deles (Alipon *et al.*, 1996; Alipon e Tamayo, 1997).

Altos teores de extrativos também interferem na contração, tornando-a relativamente baixa (Simpson, 1991). Os extrativos conferem um efeito de preenchimento nas paredes celulares, e espécies com altos teores dessas substâncias apresentarão contração volumétrica mais baixa do que aquela prevista pela correspondente massa específica (Bello, 1997). De acordo com Bello e Go (1978), citados por Bello (1997) e por Alipon e Tamayo (1997), a remoção de extrativos por solventes químicos e água resulta em aumento da contração volumétrica de todas as espécies investigadas pelos autores. Eles também observaram que o aumento na contração volumétrica como resultado da extração tende a aumentar com o aumento da massa específica. Os autores concluíram que a baixa contração das espécies ricas em extrativos é decorrente do efeito de preenchimento que essas substâncias causam na parede celular, reduzindo o espaço disponível para a água. No entanto, ao estudar 80 espécies de madeiras das Filipinas, Bello (1997) constatou que muitas espécies ricas em extrativos tiveram alta contração volumétrica e vice-versa, indicando que a quantidade de extrativos presente na madeira não pode ser usada para prever a contração que ocorrerá quando a madeira for seca e que há outros fatores, como massa específica, espessura das paredes das células, e diâmetro das fibras, que também influenciam a contração. A porcentagem do teor de extrativos, por sua vez, pode ser usada para prever o aumento na contração volumétrica quando removidos por extração.

A contração, segundo Casin *et al.* (1979), também é um indicador muito útil para determinar as condições de secagem. Em geral, madeiras com alta razão de contração entre as direções tangencial e radial tendem a apresentar problemas de rachaduras e empenamentos (Casin *et al.*, 1979; Alipon e Tamayo, 1997). Entretanto, de acordo com Casin *et al.* (1979), há espécies com elevada razão de contração tangencial/radial que secam facilmente com o mínimo de rachaduras e empenos. Alipon e Tamayo (1997), em estudo com 181 espécies de madeiras da Filipinas, utilizaram o valor da razão de contração como indicador das características de secagem, ou seja, se a madeira apresentasse razão de

contração superior a dois então a madeira teria uma grande tendência a rachar e empenar. No entanto, várias das espécies estudadas apresentaram tendência oposta, com rachaduras e empenos de muito leves a leves e contração volumétrica de moderadamente baixa a baixa. Por outro lado, houve muitas espécies com razão de contração inferior a dois, mas com moderada a severa tendência de apresentar empenos e rachaduras.

2.4.2.3 Relação entre massa específica e contração

Geralmente, as espécies de madeira com alta massa específica também apresentam alta contração volumétrica. Entretanto, essa relação pode ser mascarada pela presença de grandes quantidades de extrativos que desempenham o papel de agente preenchedor nos espaços da parede celular, reduzindo as alterações dimensionais para valores inferiores àqueles estimados pela massa específica. Apesar disso, a massa específica é a característica mais utilizada para prever a contração volumétrica e as características de secagem (Alipon e Tamayo, 1997).

De acordo com Skaar (1972), a relação entre massa específica e contração também pode ser alterada por variações nas fibrilas e na espessura relativa das várias camadas que compõem a parede celular.

Avanzado e Rocafort (1968) determinaram a massa específica e a contração tangencial e radial de 131 espécies das Filipinas e verificaram que existe uma correlação altamente significativa entre essas propriedades.

Zhang *et al.* (1994) constataram que, a partir de medições de massa específica para obter os parâmetros do modelo de massa específica, é possível prever os parâmetros do modelo de contração da madeira de *Quercus petraea* e *Q. robur* e, conseqüentemente, estimar as variações de contração dentro da árvore. Essas correlações próximas entre os parâmetros do modelo de massa específica e os parâmetros dos modelos de contração definidos por equações de regressão foram interpretadas pelos autores como resultado de correlação significativa entre massa específica e contração. Zhang *et al.* (1996), tomando por base a espécie e a massa específica básica, classificaram a madeira de *hem-fir* em seis grupos submetidos ao mesmo programa de secagem e verificaram que os grupos de menor massa específica resultaram em contrações volumétricas mais reduzidas.

Bello (1997), ao estudar 80 espécies de madeira das Filipinas, também constatou haver correlação direta e muito forte entre a massa específica verde e a contração volumétrica. O estudo demonstrou ainda que quanto mais espessa a parede celular, maior é a contração volumétrica. Entretanto, existem grandes desvios positivos entre os valores de contração volumétrica observados e esperados, principalmente entre espécies com paredes finas. O autor observa que o diâmetro da fibra deve ser considerado, pois há casos em que, apesar da fibra ter parede fina, o diâmetro é estreito, resultando em uma porcentagem de parede relativamente alta. Contrariamente, existem casos em que espécies com fibras de paredes relativamente espessas apresentam grandes diâmetros, resultando em uma porcentagem de parede relativamente baixa.

Alipon e Tamayo (1997) constataram que existe uma relação inversa entre a massa específica e a razão de contração tangencial/radial, significando que um aumento da massa específica pode implicar redução da razão de contração e vice-versa. Os autores também observaram que a contração volumétrica foi altamente correlacionada com todas as propriedades estudadas (massa específica, razão de contração tangencial/radial, diferença entre contração tangencial e radial e características de secagem). Do ponto de vista anatômico, isso é de se esperar, uma vez que a massa específica é uma medida da quantidade da substância parede celular por unidade de volume ou do volume relativo de parede celular e espaços celulares.

2.4.3 Características de secagem

Além das propriedades físicas e anatômicas existem outras características que podem interferir no processo de secagem, sendo as mais importantes o teor de umidade inicial e a taxa de secagem.

2.4.3.1 Teor de umidade inicial (TUI)

A quantidade de água na madeira verde varia muito, dependendo principalmente da espécie. Assim, o teor de umidade da madeira pode variar não somente entre espécies, mas também dentro da mesma espécie. Madeiras com altos teores de umidade levam mais tempo para secar e são, freqüentemente, mais susceptíveis a alguns defeitos de secagem (Simpson, 1991).

A influência do teor de umidade inicial no tempo de secagem foi verificada por Deomano (1995). Ao secar três espécies de folhosas (*Anthocephalus chinensis*, *Hevea brasiliensis* e *Gmelina arborea*), o autor observou que a madeira com teor de umidade inicial mais baixo secou mais rápido do que aquela com teor de umidade inicial maior.

De acordo com Swett e Milota (1999), o teor de umidade inicial da madeira é um dos fatores mais importantes, uma vez que afeta o teor de umidade final da madeira seca em estufa convencional. Os autores verificaram que a secagem de peças de madeira com teores de umidade inicial semelhantes pode reduzir a variabilidade do teor de umidade final. Milota, Morrell e Lebow (1993) constataram que, apesar da grande variação entre os teores de umidade inicial das espécies estudadas, o teor de umidade final médio para cada uma delas ficou dentro de uma faixa de valores relativamente estreita.

Segundo Casin *et al.* (1979), peças de madeira da mesma espécie e espessura mas com alto teor de umidade inicial, sob as mesmas condições, irão levar mais tempo para secar do que aquelas com teor de umidade inicial mais baixo. Espécies com teores de umidade inicial absurdamente altos, entre 150% e 200%, apresentam problemas consideráveis durante a secagem. Espécies desse tipo são suscetíveis ao colapso e às rachaduras em favos de mel se a devida atenção não for dada e cuidados apropriados não forem tomados durante os estágios iniciais de secagem. Entretanto, o teor de umidade inicial deve ser considerado como um fator de secagem quando se tratar de peças da mesma espécie e espessura. Casin *et al.* (1979) constataram que a secagem de *Pterocarpus indicus*, cujo TUI é de 110%, é mais fácil e mais rápida do que a de *Shorea gisok*, que possui TUI de 62,2%.

De acordo com Simpson e Baah (1989), existe um efeito interativo entre o teor de umidade inicial e a massa específica, o que foi confirmado por Simpson e Sagoe (1991). Dessa forma, o teor de umidade inicial pode ser estimado quando se dispõe apenas da massa específica.

2.4.3.2 Taxa de secagem

A taxa de secagem refere-se à quantidade de água evaporada em dado intervalo de tempo em relação à área de evaporação da peça de madeira. É possível estimar, por meio dela, o tempo de secagem de uma espécie da condição saturada até um considerado teor de

umidade em determinadas condições de temperatura e umidade de equilíbrio (Muñiz, 1993). Entretanto, 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 (Resch e Ecklund, 1964; citados por Muñiz, 1993).

A taxa de secagem é influenciada pela umidade relativa do ar circundante, pelo gradiente de secagem bastante acentuado e pela temperatura da madeira. Quanto menor a umidade relativa, maior o fluxo capilar. Baixas umidades relativas do ar também estimulam a difusão pela diminuição do teor de umidade da superfície, que, conseqüentemente, aumenta o gradiente de umidade e a taxa de difusão. Quanto maior a temperatura da madeira, mais rápido a umidade se moverá do interior úmido para a superfície seca (Simpson, 1991). De acordo com Herzberg et al. (1985), citado por Santini e Haselein (2002), a taxa de secagem também pode ser influenciada por variáveis relacionadas ao material, como a estrutura anatômica, e por variáveis do processo de secagem em estufa, como a largura da pilha, espessura dos separadores, velocidade do ar e das demais variáveis já citadas por Simpson (1991). Choong e Fogg (1968) afirmam que, se os fatores externos permanecerem constantes, qualquer variação nas taxas de secagem pode ser atribuída a variações nas características anatômicas, de teor de umidade e de massa específica, uma vez que o sistema de espaços vazios é considerado um importante caminho para o movimento de moléculas de água. De acordo com Zhang *et al.* (1996), a taxa de secagem diminui com a massa específica, ou seja, quanto maior a massa específica básica, menor a taxa de secagem. O teor de umidade inicial influencia a taxa de secagem, uma vez que espécies com altos teores de umidade inicial apresentam, inicialmente, uma alta taxa de secagem (Milota, Morrell e Lebow, 1993).

Estudos realizados por Santini e Haselein (2002) demonstraram haver uma relação diretamente proporcional da taxa de secagem com a temperatura, velocidade do ar e teor de umidade da madeira de *Pinus elliottii*. A taxa de secagem decresceu à medida que diminuiu o teor de umidade da madeira nas duas temperaturas (50°C e 100°C) e velocidades de circulação do ar testadas (2,3 m/s e 5,0 m/s). A influência da velocidade do ar sobre a taxa de secagem foi decrescente à medida que diminuiu o teor de umidade e se tornou quase desprezível na secagem a baixa temperatura.

A influência da temperatura também foi verificada por Muñiz (1993), que, ao realizar a secagem de amostras de madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* nas temperaturas de 50°C, 80°C, 120°C e ambiente (20°C), observou aumento estatisticamente significativo da taxa de secagem com o aumento da temperatura. De acordo com a autora, essa relação mostra claramente o efeito que a temperatura de secagem exerce sobre o movimento de umidade por difusão. Outro efeito observado em todas as temperaturas foi o aumento da taxa de secagem nas amostras com maiores teores de umidade inicial.

O método empregado para remover a água da madeira também é um fator que influencia a taxa de secagem. A principal diferença é que, no método de baixa temperatura, o movimento da umidade do centro para a periferia é um fenômeno de difusão, ao passo que, no de alta temperatura (acima de 100°C), ocorre um fluxo de massa ou hidrodinâmico (Schafer, 1973 e Vermaas, 1987; citados por Santini e Haselei, 2002). A taxa de evaporação nos primeiros estágios da secagem a alta temperatura decresce relativamente menos que aquela observada na secagem a baixa temperatura, causando uma equalização da taxa de secagem (Schneider, 1980, citado por Santini e Haselei, 2002).

No início da secagem, quando a madeira possui alto teor de umidade, a transferência de calor é o mecanismo controlador, e a taxa de secagem estimada é uma função da velocidade do ar e da depressão do bulbo úmido. Quando a madeira está mais seca, a taxa de secagem estimada é uma função da temperatura do bulbo seco e do teor de umidade (Milota e Tschernitz, 1990; citados por Santini e Haselein, 2002).

De acordo com Jankowsky, Santos e Andrade (2003), durante a secagem, por convecção, de um material poroso como a madeira, ocorrem três estágios distintos, com variação diferenciada na taxa de secagem para cada intervalo do processo, determinando a curva característica de secagem do material, conforme a Figura 2.1.

Na primeira fase, quando a taxa de secagem é constante, ocorre evaporação da água na superfície da madeira e a movimentação da água líquida do interior até a superfície de evaporação por forças de capilaridade. Pela superfície, ocorre o deslocamento de uma corrente de ar, caracterizando uma secagem por convecção. A energia (calor sensível) da corrente de ar é transferida para a superfície da madeira, promovendo a vaporização da

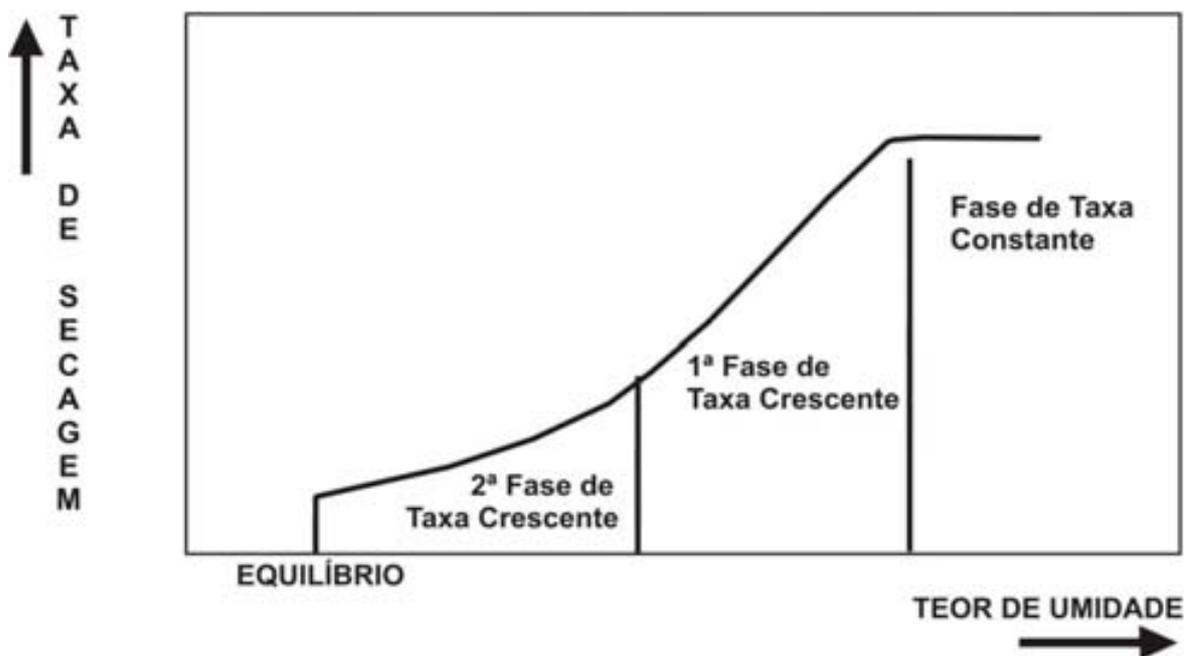


Figura 2.1 – Curva característica de secagem para materiais porosos, de acordo com Rosen (1983), citado por Jankowsky, Santos e Andrade (2003).

água ali existente, que, no estado de vapor, é transferida para a corrente de ar. As condições externas exercem grande efeito sobre o processo, regulando a taxa de secagem nessa fase (Jankowsky, Santos e Andrade, 2003).

À medida que o material perde umidade, a vaporização da água na superfície provocará um gradiente de umidade, principalmente no sentido da espessura, e, simultaneamente, parte da energia irá aquecer o material. Nesse ponto, em que a quantidade de água líquida que chega até a superfície é menor que a quantidade de água evaporada, tem início a primeira fase de taxa de secagem decrescente, durante a qual a linha de vaporização penetra no material em direção ao centro. A movimentação interna da água ocorre nas fases de líquido, vapor e como água higroscópica. Assim, como a movimentação na fase líquida é fundamentalmente um fenômeno de capilaridade, que é afetado pela estrutura anatômica da madeira, a movimentação nas outras fases é basicamente um fenômeno difusivo, afetado não só pelas condições termodinâmicas da corrente de ar como também por características da própria madeira, principalmente a massa específica. A influência do material na taxa de secagem passa a ser significativa. No estágio final de secagem, segunda fase de taxa de secagem decrescente, iniciada quando a linha de evaporação de água fica restrita ao centro da madeira, não há mais água livre no material. A continuação da secagem fica sendo

controlada pela resistência interna da madeira até o teor de umidade de equilíbrio ser alcançado (Jankowsky, Santos e Andrade, 2003).

Uma interpretação mais simples da curva característica da secagem de um material poroso, quando aplicada à madeira, sugere que a perda de umidade na fase de taxa constante depende da permeabilidade (estrutura anatômica) e das características da corrente de ar (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar). Posteriormente, a primeira fase de taxa decrescente depende tanto da permeabilidade quanto da massa específica do material, enquanto que na segunda fase de taxa decrescente a secagem depende quase que exclusivamente da massa específica. Dessa forma, é possível afirmar que a velocidade de secagem depende mais das características da madeira do que da temperatura e da umidade relativa do ar; ou seja, o processo de secagem deve ser necessariamente ajustado para a madeira que está sendo processada (Jankowsky, Santos e Andrade, 2003).

2.5 AGRUPAMENTO DE ESPÉCIES PARA A SECAGEM CONVENCIONAL

De acordo com Bello e Taguiling (1997), o agrupamento consiste em como escolher as espécies que podem ser secas juntas usando um programa de secagem comum, de modo que a secagem seja conduzida no menor tempo possível e que, ao término do processo, apresentem um teor de umidade relativamente uniforme e com um mínimo de defeitos.

A utilização de estoques heterogêneos de madeira requer um sistema de agrupamento no qual diferentes espécies podem ser secas ao mesmo tempo, de acordo com um mesmo programa de secagem (Mendes, Simpson e Verrill, 1995). Segundo Simpson e Baah (1989) e Simpson (1992), as respostas mais importantes da madeira à secagem são a susceptibilidade aos defeitos e a taxa de secagem, e se espécies diferentes apresentarem respostas semelhantes, quando um único programa de secagem é utilizado, a secagem conjunta dessas espécies apresentará poucos problemas.

O maior benefício do agrupamento, de acordo com Simpson e Baah (1989) e Simpson (1992), é a redução do tempo de secagem e do consumo de energia que seriam necessários para secar as espécies individualmente. Entretanto, o grande número de espécies tropicais amazônicas, a diversidade de propriedades relacionadas com a secagem e a disponibilidade

ou dificuldade em determinar uma medida quantitativa dessas propriedades se constituem um problema para a realização do agrupamento.

Apesar das dificuldades apontadas, o agrupamento de diferentes espécies é viável, mas as taxas de secagem dentro da estufa poderão ser diferenciadas, exigindo um controle mais rigoroso do processo e, principalmente, maior exatidão na medição e acompanhamento do teor de umidade da madeira.

Os métodos utilizados até o momento baseiam-se, principalmente, nas seguintes características: massa específica, teor de umidade inicial, grã, textura, contração e espessura da madeira (Bello e Taguiling, 1997). Entretanto, existem outros fatores, como, por exemplo, a permeabilidade ao fluxo de fluidos, contração transversal, contração longitudinal, a razão entre a contração tangencial e a radial, a resistência aos esforços de tração e compressão, presença de cerne ou alburno, teor de extrativos e características anatômicas, tais como volume e tamanho de vasos e raios. Essas propriedades, embora importantes e até mesmo limitantes em alguns casos, são difíceis de quantificar ou incorporar em um sistema de agrupamento para secagem que deve tratar de centenas de espécies presentes na floresta tropical (Simpson e Baah, 1989; Simpson, 1992). A massa específica e o teor de umidade inicial influenciam na quantidade de água a ser removida da madeira e na susceptibilidade aos defeitos de secagem, e são os fatores mais fáceis de determinar para estabelecer grupos de espécies baseados no tempo de secagem estimado (Simpson e Baah, 1989).

De acordo com o U. S. Department of Agriculture (1988), a massa específica aparece dominante como a característica mais importante para o agrupamento de espécies para secagem conjunta, já que muitas vezes a facilidade de secagem e a taxa dependem dessa propriedade. Uma das vantagens de usar a massa específica é que ela pode ser encontrada na literatura para um grande número de madeiras tropicais, e, quando indisponível, essa propriedade pode ser facilmente determinada. Entretanto, de acordo com Andrade, Jankowsky e Ducatti (2001) e Andrade et al. (2001), a massa específica básica, isoladamente, não é um bom parâmetro para indicação de programas e agrupamento de espécies para secagem.

O teor de umidade inicial é outra característica importante, uma vez que interfere no tempo de secagem. Para evitar grandes diferenças nos tempos de secagem e reduzir defeitos, as peças com teores de umidade semelhantes podem ser agrupadas e secas juntas. Entretanto, informações sobre essa característica geralmente não estão disponíveis, mas quando estiverem, em combinação com a massa específica, podem ser muito úteis como critério de agrupamento (U. S. Department of Agriculture, 1988).

Depois da massa específica, o teor de umidade inicial e as contrações seguem como características mais importantes para o agrupamento de espécies (U. S. Department of Agriculture, 1988).

As diferentes pesquisas visando o agrupamento de espécies para secagem conjunta têm como base a experiência industrial, o comportamento individual das espécies, propriedades físicas ou anatômicas e características como a propensão a defeitos e o tempo de secagem.

2.5.1 Agrupamento com base na experiência

Esse tipo de agrupamento é feito com base nos conhecimentos prévios das propriedades de secagem das diferentes espécies que compõem o grupo, incluindo o teor de umidade inicial e final, a temperatura de secagem, o tempo e defeitos. É limitado, uma vez que não pode ser aplicado a espécies das quais não se dispõe de informações sobre as propriedades de secagem (Mendes, Simpson e Verrill, 1995).

Bello (1966), citado por U. S. Department of Agriculture (1988) e por Simpson e Baah (1989), a partir do comportamento individual de cada espécie, com base na experiência dos operadores de estufa ou submetendo cada espécie a programas padronizados de secagem, agrupou 23 espécies de madeira das Filipinas com comportamentos de secagem similares em três classes, de acordo com o grau de dificuldade de secagem. O primeiro grupo continha espécies consideradas fáceis de secar, o segundo, espécies de secagem moderadamente lenta e, o terceiro, as espécies difíceis de secar.

Ma (1970, 1972, 1973, 1974, 1975), citado por U. S. Department of Agriculture (1988) e por Simpson e Baah (1989), desenvolveu cinco programas de secagem baseados no tempo. Em seguida, agrupou 80 espécies de madeira de folhosas de Taiwan de acordo com os

programas desenvolvidos com base nos resultados de taxa de secagem, tensões superficiais de secagem, uniformidade do teor de umidade final, comportamento na contração e defeitos de secagem de cada uma das espécies. Embora os programas cobrissem somente o primeiro estágio da secagem, do estado verde até 25% de teor de umidade, o autor acreditava que os programas poderiam ser expandidos para os estágios abaixo do PSF. O autor ainda recomendava o uso dos cinco programas para outras espécies tropicais com características semelhantes às 80 selecionadas.

Com a finalidade de resolver o problema de secar diferentes espécies de folhosas da floresta tropical, Marshall (1975) adotou o procedimento de agrupar as espécies em uma das seguintes categorias: espécies tolerantes que secavam bem em altas temperaturas; espécies densas que podiam ser susceptíveis ao colapso ou que podiam secar muito lentamente; espécies de baixa massa específica que podiam ser susceptíveis ao colapso ou que secavam lentamente.

U. S. Department of Agriculture (1988), baseado em dados coletados, propõe um agrupamento teórico de espécies em classes de secagem, seguindo uma ordem decrescente do grau de dificuldade de secagem. Os sete grupos formados são apenas sugestivos e não estão baseados em dados experimentais e algumas das combinações podem até mesmo não existir. O grupo 1, classificado como o de secagem mais difícil, deve conter espécies de alta massa específica ($>0,50$), alto teor de umidade inicial, altas contrações radial e tangencial, alta razão de contração, alto teor de extrativos, grã irregular ou cruzada e textura fina. Entretanto, o autor ressalta que, na realidade, ocorre não ser possível encontrar em uma mesma espécie alta massa específica, alto teor de umidade inicial, alto teor de extrativos e também altas propriedades de contração. As espécies do grupo 7, o último proposto e que seria o de secagem mais fácil, devem ser de baixa massa específica ($<0,36$), baixo teor de umidade inicial, baixa contração, baixo teor de extrativos, grã direita e textura grossa. Nos grupos intermediários entre o 1, classificado como de secagem mais difícil, e o 7, de secagem mais fácil, essas mesmas propriedades são combinadas em diferentes intensidades.

Martins e Oliveira (1989) submeteram nove espécies de madeiras da Amazônia à secagem convencional conjunta em escala semi-industrial com o objetivo de observar e avaliar eventuais dificuldades e variações no comportamento das espécies submetidas às mesmas

condições de temperatura e teor de umidade de equilíbrio. As espécies estudadas foram *Bagassa guianensis* (tatajuba), *Bowdichia nitida* (sucupira), *Dipteryx odorata* (cumaru), *Erisma uncinatum* (quarubarana), *Goupia glabra* (cupiúba), *Hymenaea courbaril* (jatobá), *Jacaranda copaia* (pará-pará), *Nectandra rubra* (louro-vermelho) e *Vochysia maxima* (quaruba). Em geral, o material apresentou excelente qualidade, com pequenas rachaduras e leves empenos. As amostras de cupiúba e louro-vermelho não atingiram o teor de umidade final desejado no tempo pré-estabelecido, indicando que o programa de secagem utilizado mostrou-se muito suave para essas duas espécies. As demais espécies atingiram o teor de umidade final desejado de 12% em um período médio de oito dias. Segundo os autores, cupiúba e louro-vermelho apresentam características anatômicas e químicas que interferem e retardam o processo de secagem.

2.5.2 Agrupamento com base em propriedades de secagem, físicas e anatômicas

Diversos pesquisadores apresentaram métodos para o agrupamento de espécies buscando correlacionar, por meio de modelos estatísticos, características de secagem com propriedades físicas, tais como a massa específica, a retratibilidade e o teor de umidade inicial.

Samad e Wallin (1966) e Ali et al. (1968), citados por Simpson e Baah (1989), agruparam diversas espécies nativas de Bangladesh em cinco grupos com base em um modelo matemático que relacionou o tempo de secagem com a temperatura e a massa específica. O teor de umidade inicial também foi incluído no modelo, mas foi determinado de maneira empírica, fornecendo resultados aproximados. Cada um dos cinco programas cobriu diferentes faixas de massa específica e incluíram de 7 a 17 temperaturas diferentes e etapas de umidade relativas. Esse sistema de agrupamento é bem planejado e baseado em dados experimentais válidos, mas depende da relação entre o teor de umidade inicial aproximado e a massa específica e não pode ser utilizado por espécies que não sigam essa relação ou que tenham sido submetidas a uma pré-secagem ao ar livre antes de entrarem na estufa.

Casin *et al.* (1980), citados por Simpson e Baah (1989), agruparam 60 espécies de madeira das Filipinas em quatro grupos, de acordo com as características de secagem das espécies relacionadas com a massa específica, grã e contração. Foram desenvolvidos três programas de secagem para espécies classificadas como muito leves a muito pesadas.

Durand (1985) realizou uma análise para mostrar a relação entre determinadas propriedades físicas da madeira e o comportamento de secagem e para desenvolver uma forma de estabelecer programas de secagem a partir desses dados. A análise não incluiu o tempo de secagem estimado e foi baseada na sensibilidade aos defeitos de secagem de 25 espécies da Costa do Marfim. Programas de secagem desenvolvidos com base na temperatura e no gradiente de secagem foram relacionados com quatro propriedades físicas (massa específica básica, contração volumétrica total, coeficiente de contração volumétrica entre o teor de umidade da madeira e o teor de umidade de equilíbrio ao ar, razão entre a contração tangencial e radial), gerando equações de regressão múltiplas. A massa específica básica foi a propriedade que apresentou maior correlação com ambos os tipos de programa. A partir das equações de regressão determinada com base nas propriedades das 25 espécies de referência, o autor determinou programas teóricos não estabelecidos com base na experiência para mais 25 espécies. Esses programas não foram testados nas espécies adicionais. As 50 espécies foram agrupadas de acordo com os seguintes programas: muito lento, lento, pouco lento, médio, pouco rápido, rápido e muito rápido.

Deomano (1995) correlacionou algumas características anatômicas e propriedades físicas com o tempo de secagem. Em seguida, o autor desenvolveu uma equação matemática envolvendo a massa específica, a largura do lúmen das fibras, o diâmetro das fibras e o teor de umidade inicial capaz de prever o tempo de secagem da madeira do estado saturado até 10% de teor de umidade em condições constantes de secagem a 65,5°C de temperatura de bulbo seco e 62°C de temperatura de bulbo úmido. A equação desenvolvida por Deomano (1995) foi a seguinte: $DT = 418,182 - 41629,300 (FD) + 45426,120 (LW) + 777,920 (SG) - 4,862 (IMC) + 523795,652 (FD^2) - 789042,300 (LW^2) - 973,488 (SG^2) + 0,240 (IMC^2)$, em que DT é o tempo de secagem, FD é o diâmetro da fibra, LW é a largura do lúmen, SG é a massa específica e IMC é o teor de umidade inicial. O autor concluiu que a equação poderia ser usada para agrupar espécies passíveis de ser secas em um mesmo programa, de acordo com as semelhanças entre os tempos de secagem estimados.

Posteriormente, Bello e Taguiling (1997) utilizaram a equação desenvolvida por Deomano (1995) para calcular os tempos de secagem de 54 espécies de folhosas das Filipinas com características de secagem e propriedades físicas e anatômicas conhecidas. De acordo com os tempos de secagem estimados, as espécies foram agrupadas em fáceis, moderadamente difíceis e muito difíceis de secar. No entanto, os grupos resultantes não apresentaram boa

correspondência com os grupos já formados com base nos experimentos de secagem convencional desenvolvidos. Bello e Taguiling (1995) concluíram que isso provavelmente ocorreu em virtude do número limitado de espécies e amostras utilizado por Deomano (1995) para elaborar a equação de regressão. Os autores determinaram as propriedades físicas e anatômicas, bem como o tempo de secagem da condição saturada a 10% em condições constantes de secagem a 65,5°C de temperatura de bulbo seco e 62°C de temperatura de bulbo úmido para indivíduos de espécies adicionais conhecidas como de secagem fácil, moderadamente difícil e muito difícil. Os novos dados foram adicionados aos dados de Deomano (1995) e uma nova análise de regressão foi feita, gerando a seguinte equação: $DT = 352,2502 SG + 0,5125 IMC - 1767,1849 LW$, em que DT é o tempo de secagem, MC é o teor de umidade inicial e LW é a largura do lúmen. A taxa de secagem (TX) foi determinada, e as 54 espécies foram classificadas em fáceis de secar ($TX > 0,500\% TU/h$), moderadamente difíceis de secar ($0,400\% TU/h < TX < 0,500\% TU/h$) e muito difíceis de secar ($TX < 0,499\% TU/h$). Em seguida, de acordo com a classificação recebida, as 54 espécies foram agrupadas. Foi feita uma comparação entre a frequência predita e a esperada, e os autores constataram que apenas 8 espécies não foram corretamente classificadas e agrupadas. Bello e Taguiling (1997) concluíram que o tempo de secagem de qualquer espécie pode ser estimado com alto grau de precisão pelo modelo e que a taxa de secagem pode ser adequadamente utilizada para classificar as espécies e agrupá-las.

Louzada, Marcos e Silva (2002) consideraram a velocidade de secagem na faixa higroscópica, de 30% a 8% de teor de umidade, e os defeitos como fatores decisivos para o agrupamento de espécies. Os autores partiram do pressuposto de que os principais problemas de secagem ocorrem abaixo do PSF e de que apesar de as espécies poderem ter taxas de secagem idênticas podem reagir de forma diferente à secagem apresentando maior ou menor tendência a defeitos. Em uma primeira fase, foi verificado que o tempo de secagem da madeira saturada até 8%, a velocidade de secagem da madeira saturada até 8% e a massa específica básica foram as variáveis que mais influenciaram a velocidade de secagem na faixa higroscópica. Com relação à variável defeitos, os autores constataram uma reduzida relação com as variáveis estudadas. Mesmo assim, a massa específica básica e a massa específica aparente a 12% foram as que apresentaram melhor correlação. Na segunda fase do estudo, os autores agruparam as 14 espécies estudadas em três grupos distintos.

2.5.3 Agrupamento com base no tempo de secagem

Agrupamento de espécies baseado no tempo de secagem estimado por um modelo matemático que parte do pressuposto de que a taxa de secagem é proporcional ao teor de umidade médio. O modelo correlaciona o tempo de secagem com a massa específica, o teor de umidade inicial, a espessura, o teor de umidade final, a temperatura e as condições de teor de umidade de equilíbrio na estufa. A massa específica e o teor de umidade inicial foram identificados como os fatores mais importantes e disponíveis para agrupar espécies. As equações do modelo podem ser usadas para calcular combinações de massa específica e teor de umidade inicial que apresentem tempos de secagem iguais e que é a base para o agrupamento. Espécies com semelhantes tempos de secagem estimados podem ser secas juntas em um mesmo programa de secagem e, ao final, saírem da estufa ao mesmo tempo, dentro de determinados limites de teor de umidade final e com o mínimo de defeitos. O modelo também pode ser usado para calcular programas de secagem em várias etapas que minimizarão as variações de teor de umidade final após a secagem (Simpson e Baah, 1989; Simpson e Sagoe, 1991; Simpson, 1992). Os autores afirmam que o modelo não contabiliza a presença de tilos que causarão uma redução da taxa de secagem e que não foi testado em estudos de secagem convencional.

Hidayat e Simpson (1994) coletaram na literatura dados de massa específica e teor de umidade inicial, quando disponível, para 1.268 espécies e adicionaram àqueles referentes a 650 espécies apresentados por Simpson e Sagoe (1991). O tempo de secagem foi estimado pelo mesmo modelo apresentado por Simpson e Baah (1989), Simpson e Sagoe (1991) e Simpson (1992). A partir de então foram determinados índices de tempo de secagem que possibilitaram a criação de 12 grupos para a secagem conjunta de espécies.

Uma alternativa a esse método foi posteriormente apresentada por Mendes, Simpson e Verrill (1995), que relaciona o tempo de secagem com a taxa de absorção de água pela madeira seca. O agrupamento de seis espécies tropicais é baseado na correlação entre o tempo de absorção de água e o tempo de secagem partindo do pressuposto de que o tempo necessário para a água migrar de um ponto a outro na secagem pode ser correlacionado com o tempo necessário para a água migrar a mesma distância na absorção. O tempo médio de secagem na faixa higroscópica pode ser estimado por um modelo estabelecido em função do tempo de absorção, espessura e temperatura de secagem. A vantagem desse

método com relação aos demais é que não depende da disponibilidade de madeira verde para estimar o tempo de secagem.

2.5.4 Agrupamento com base em secagem drástica

Programas de secagem são estimados a partir de equações que relacionam a taxa de secagem e a intensidade dos defeitos de pequenas amostras submetidas à secagem drástica a 100°C com a temperatura inicial, a temperatura final e com o potencial de um programa para a secagem convencional. De acordo com Andrade (2000), Andrade, Jankowsky e Ducatti (2001) e com Andrade *et al.* (2001), espécies com programas similares podem ser agrupadas para secagem conjunta adotando-se um programa padrão. Os trabalhos desenvolvidos pelos autores para 13 espécies de madeira possibilitaram a indicação de programas de secagem específicos para as madeiras de imbuia, itaúba, mandioqueira, peroba-mica e *Pinus hondurensis* e permitiram agrupar as espécies *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus tereticornis*, freijó, jatobá, jutaí-cica, pau-marfim, tamboril e tauari em dois programas de secagem básicos. Os autores concluíram que a massa específica básica, isoladamente, não é um bom parâmetro para indicação de programas e agrupamento de espécies para secagem, uma vez que não explica todas as variações existentes. As madeiras de mandioqueira e pau-marfim apresentaram a mesma massa específica e, no entanto, foram classificadas em programas de secagem diferentes. Contrariamente, as madeiras de pau-marfim, tamboril e tauari, que apresentaram diferentes massas específicas, puderam ser grupadas no mesmo programa.

A aplicação desta técnica implica realização de ensaios específicos, porém independe da disponibilidade de informações sobre as características da madeira e tem apresentado resultados coerentes até o momento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCAL DE REALIZAÇÃO DO PROJETO

O estudo foi desenvolvido nas áreas de Secagem e de Anatomia e Morfologia da Madeira do Laboratório de Produtos Florestais (LPF) do Serviço Florestal Brasileiro, localizado em Brasília – DF.

3.2 MATERIAL UTILIZADO

O material utilizado nesta pesquisa foi obtido de discos coletados pelo LPF para estudos anteriores de caracterização tecnológica.

A coleta desses discos foi realizada de acordo com o sistema de amostragem direta ao acaso adotado pelo LPF (IBDF, 1981; IBDF, 1988; Marques *et al.*, 1997) para a amostragem de espécies de folhosas tropicais. A seleção das espécies foi feita com base nos inventários florestais, tendo sido considerados como parâmetros a frequência de ocorrência da espécie na floresta e o respectivo volume por hectare. Esse procedimento teve a finalidade de realizar uma avaliação prévia da possibilidade de utilizar comercialmente as espécies selecionadas. Inicialmente, foi prevista a coleta de cinco árvores por espécie, sendo estabelecida a amostragem de uma árvore de cada espécie em cada um dos cinco talhões de 1 km² sorteados aleatoriamente. Pelo fato de não ocorrer determinada espécie nos talhões previamente selecionados, procedeu-se ao sorteio de novos talhões. Em cada talhão, o encarregado do trabalho de campo moveu-se segundo um azimute escolhido ao acaso, selecionando a primeira árvore sadia por espécie encontrada que possuía um diâmetro à altura do peito (DAP) entre 40 cm e 80 cm.

De acordo com IBDF (1981 e 1988) e Marques *et al.* (1997), o material botânico coletado de cada árvore foi organizado em cinco exsiccatas devidamente codificadas, permitindo estabelecer a correspondência com as amostras de madeira coletadas. Três dessas exsiccatas foram arquivadas no herbário do LPF e as outras duas, enviadas ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônica (Inpa), em Manaus (AM), e à Embrapa Amazônia Oriental (Cpatu/Embrapa), em Belém (PA), para serem identificadas. Em seguida procedeu-se à

identificação das amostras de madeira, que foram registradas e incorporadas à xiloteca do LPF. Este procedimento tem a finalidade de garantir uma correta determinação das espécies estudadas.

3.3 SELEÇÃO DAS ESPÉCIES PARA O ESTUDO

Para este estudo, foram selecionadas as espécies de madeira relacionadas na Tabela 3.1, coletadas na região do Juruá-Solimões (AM), no município de Buriticupu (MA) e na Floresta Nacional de Jamari (RO).

Como critério de seleção, utilizou-se o número de indivíduos, estabelecido como sendo igual ou superior a quatro. Dessa forma, espécies que possuíam três ou menos indivíduos foram eliminadas do estudo. De acordo com a Tabela 3.1, foram estudadas 41 espécies e 196 indivíduos.

3.4 DEFINIÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA IMPORTANTES PARA A SECAGEM

O método de agrupamento elaborado neste estudo tem como base propriedades físicas e anatômicas importantes para o processo de secagem. A seleção dessas propriedades foi feita com base em estudos já realizados sobre o assunto e que constam da revisão bibliográfica deste trabalho. Entre as propriedades anatômicas, foram selecionados e determinados como características macroscópicas o diâmetro tangencial dos poros, a frequência de poros e a razão entre frequência de poros obstruídos e frequência de poros, como características microscópicas as dimensões das fibras (diâmetro total máximo, largura do lúmen e espessura da parede). Na seleção das características anatômicas foi levada em consideração a sua relação com a saída de água livre ou presa da madeira, tendo sido dada preferência às características capazes de ser observadas macroscopicamente na superfície de blocos de madeira, uma vez que não foram encontrados na literatura consultada estudos que as utilizassem; além disso, tais características são mais simples de ser determinadas. Entre as propriedades físicas, foram selecionadas e determinadas a massa específica básica e a contração volumétrica total. Além dessas propriedades, foi determinada, para cada espécie estudada, a velocidade de secagem ou taxa de secagem, o tempo de secagem e o teor de umidade inicial.

Tabela 3.1 – Relação das espécies de madeira selecionadas e respectivos locais de coleta.

Local de coleta	Espécies			Número de indivíduos	Número de espécies
	Nome científico	Família	Nome comum		
Burticupu	<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	Moraceae	Inharé, leiteira, mururerana	4	10
	<i>Cassia fastuosa</i> Willd.	Leg. Caesalpinioidae	Baratinha, canafistula	5	
	<i>Euxylophora paraensis</i> Huber	Rutaceae	Pau-amarelo	5	
	<i>Laetia procera</i> (Poepp.) Eichler	Flacourtiaceae	Pau-jacaré	4	
	<i>Myrocarpus frondosus</i> Allemão	Leg. Papilionoideae	Caboretinga, cabriúva-parda, pau-bálsamo	5	
	<i>Pouteria oblanceolata</i> Pires = <i>Planchonella oblanceolata</i> Pires	Sapotaceae	Abiurana-preta, tuturubá	4	
	<i>Pouteria pachycarpa</i> Pires = <i>Planchonella pachycarpa</i> Pires	Sapotaceae	Goiabão	4	
	<i>Tetragastris panamensis</i> (Engl.) Kuntze	Burseraceae	Barrote	4	
	<i>Zizyphus itacaiunenses</i> Fróes	Rhamnaceae	Maria-preta	5	
	<i>Zollernia paraensis</i> Huber	Leg. Papilionoideae	Pau-santo	5	
Total de indivíduos				45	

Tabela 3.1 (continuação) – Relação das espécies de madeira selecionadas e respectivos locais de coleta.

Local de coleta	Espécies			Número de indivíduos	Número de espécies
	Nome científico	Família	Nome comum		
Jamari	<i>Amburana acreana</i> (Ducke) A.C.Sm. = <i>Torresea acreana</i> Allemão	Leg. Papilionoideae	Amburana, cerejeira	5	17
	<i>Anacardium giganteum</i> Hanck ex Engl.	Anacardiaceae	Cajuçu	5	
	<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart.	Apocynaceae	Muirajuçara, peroba, peroba-amarga, peroba-mica, peroba-mico	4	
	<i>Bowdichia nitida</i> Spruce	Leg. Papilionoideae	Sucupira	5	
	<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	Lecythidaceae	Jequitibá-rosa, tauari, tauari-vermelho	5	
	<i>Caryocar glabrum</i> (Aubl.) Pers.	Caryocaraceae	Pequiarana, pequiarana-da-terra-firme	5	
	<i>Cedrela odorata</i> L. = <i>C glaziovii</i> C.DC.	Meliaceae	Cedro, cedro-cheiroso, cedro-de-mato-grosso, cedro-rosa	5	
	<i>Cedrelinga catenaeformis</i> Ducke	Leg. Mimosoideae	Cedrarana, cedrorana	5	
	<i>Diptropis purpurea</i> (Rich.) Amshoff. var. <i>leptophylla</i> (Kleinh.) Amsh.	Leg. Papilionoideae	Sucupira, sucupira-da-terra-firme	5	
	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	Leg. Papilionoideae	Cumaru, ipê-cumaru	6	
	<i>Hymenolobium</i> cf. <i>pulcherrimum</i> Ducke	Leg. Papilionoideae	Angelim-pedra	5	
	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier	Sapotaceae	Maçaranduba	4	
	<i>Peltogyne</i> cf. <i>subsessilis</i> W.Rodr.	Leg. Caesalpinoideae	Pau-roxo, roxinho	8	
	<i>Rauvolfia paraensis</i> Ducke	Apocynaceae	Gogó-de-guariba, peroba-d'água	5	
	<i>Tabebuia incana</i> A.Gentry	Bignoniaceae	Ipê-amarelo	4	
	<i>Vatairea sericea</i> Ducke	Leg. Papilionoideae	Angelim-amargoso	5	
	<i>Vataireopsis speciosa</i> Ducke	Leg. Papilionoideae	Fava-amargosa	5	
Total de indivíduos				86	

Tabela 3.1 (continuação) – Relação das espécies de madeira selecionadas e respectivos locais de coleta.

Local de coleta	Espécies			Número de indivíduos	Número de espécies
	Nome científico	Família	Nome comum		
Jurua-Solimões	<i>Acioa edulis</i> Prance	Chrysobalanaceae	Castanha-de-cutia	5	14
	<i>Anacardium microcarpum</i> Ducke	Anacardiaceae	Caju-do-campo, cajuçu	5	
	<i>Caraipea densiflora</i> Mart.	Guttiferae	Camaçari	4	
	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	Moraceae	Guariúba, oiticica	5	
	<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith = <i>D. divaricatum</i> Vahl	Leg. Caesalpinioideae	Jataipeba	5	
	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	Goupiaceae	Cupiúba	6	
	<i>Hymenolobium nitidum</i> Benth.	Leg. Papilionoideae	Angelim-pedra	4	
	<i>Licania oblongifolia</i> Standl.	Chrysobalanaceae	Macucu-branco, macucu-chiador	4	
	<i>Micrandra rossiana</i> R.E.Schult.	Euphorbiaceae	Seringarana	6	
	<i>Ocotea aciphylla</i> (Nees) Mez = <i>O. costulata</i> (Nees) Mez	Lauraceae	Canela-amarela, canela-branca	4	
	<i>Ormosia coccinea</i> (Aubl.) Jack.	Leg. Papilionoideae	Tento	4	
	<i>Osteophloeum platyspermum</i> (A.DC.) Warb.	Myristicaceae	Ucuubarana	4	
	<i>Parkia gigantocarpa</i> Ducke	Leg. Mimosoideae	Fava-bolota, faveira-bolota, visgueiro	4	
	<i>Vatairea guianensis</i> Aubl.	Leg. Papilionoideae	Fava-amargosa	5	
Total de indivíduos				65	
Total geral				196	41

3.5 RETIRADA DOS CORPOS-DE-PROVA PARA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES SELECIONADAS

Dos discos coletados à altura de 1,30 m ou à altura da sapopema, que se encontravam na Área de Anatomia e Morfologia da Madeira do LPF, foram retirados pedaços em forma de cunha, de acordo com a Figura 3.1.

Com o objetivo de minimizar a variabilidade celular que existe ao longo do raio, da parte interna do cerne para a parte externa, o material foi retirado do cerne, a 1 cm de distância da linha de divisão entre cerne e alburno. Nos casos de cerne/alburno indistintos, o material foi retirado a 6 cm de distância da linha de divisão entre alburno e casca. Na Tabela A.1 do Apêndice A encontra-se indicado para cada espécie o critério utilizado para distinção entre cerne e alburno.

As cunhas tiveram a região de retirada dos corpos-de-prova demarcada tangencialmente aos anéis de crescimento. Com o auxílio de uma serra circular elétrica, foram retiradas, de cada cunha, duas seções retangulares, uma após a outra, com 1 cm de altura na direção radial, largura variável na direção tangencial e comprimento variável na direção longitudinal.

Com o auxílio de uma esquadrejadeira manual, a primeira seção retangular foi desdobrada em palitos com 1 cm de largura na direção tangencial e taliscas de 1 a 2 mm de largura também na direção tangencial, destinadas ao preparo do material dissociado. Um dos palitos foi cortado ao meio do comprimento na direção longitudinal, gerando dois blocos para as análises das características macroscópicas. Os demais palitos foram cortados ao longo do comprimento, resultando em vários cubos com dimensões aproximadas de 1cm na direção tangencial por 1 cm na direção radial por 1cm na direção longitudinal, utilizados nos ensaios de taxa de secagem, massa específica básica e contração volumétrica total. Quando a primeira seção transversal não era suficiente para a retirada de todo o material, utilizou-se a segunda seção transversal. Antes de ser cortada, cada seção transversal era demarcada visando o melhor aproveitamento.

Todos os corpos-de-prova foram devidamente codificados de acordo com a seção da qual eram provenientes e com a seqüência em que foram retirados de cada seção.

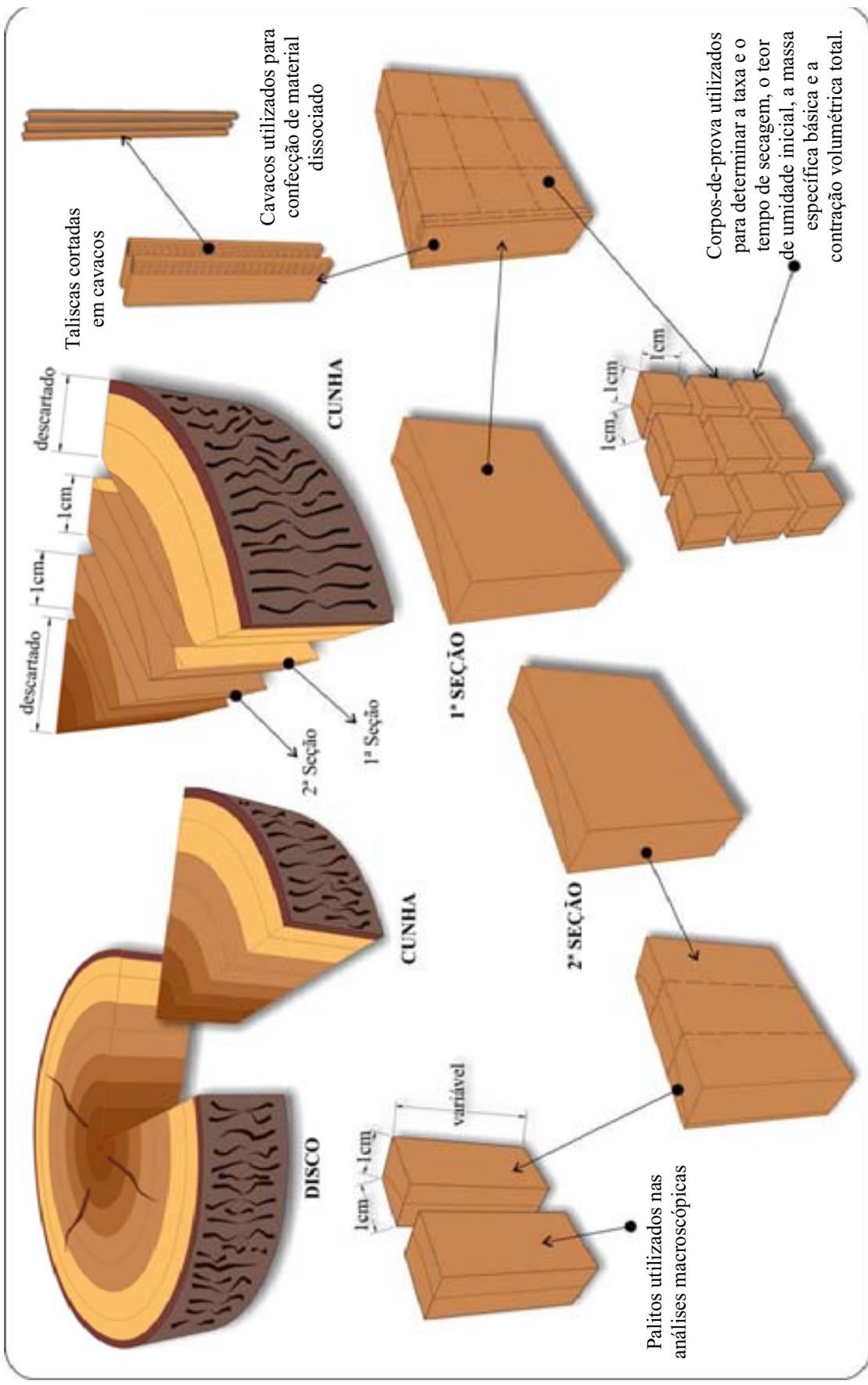


Figura 3.1 – Esquema de retirada dos corpos-de-prova.

3.6 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES DE MADEIRA

3.6.1 Diâmetro tangencial dos poros

Foram retirados dois corpos-de-prova, com dimensões de 1 cm de largura (tangencial) por 1 cm de altura (radial) e comprimento variável (longitudinal), de cada um dos indivíduos.

Esses corpos-de-prova foram inicialmente lixados com lixa para madeira com grana 280, 320 e 400. Posteriormente, foram lixados com lixa d'água com grana 400. Entretanto, como para a maioria das espécies os poros foram tapados pelo pó resultante do lixamento, os corpos-de-prova foram imersos em água, cozidos em autoclave e, em seguida, tiveram suas superfícies transversais alisadas em um micrótomo de deslize.

O diâmetro tangencial dos poros foi determinado na seção transversal dos corpos-de-prova, e as medições foram realizadas na parte mais larga dos poros, tendo sido incluída a parede. Durante o procedimento de medição tomou-se cuidado para não tender a selecionar os poros de diâmetros maiores ou os de diâmetros menores. No total, foram medidos 25 poros, sendo 13 em um dos corpos-de-prova e 12 no outro.

Para a mensuração do diâmetro tangencial dos poros foi utilizado um estereomicroscópio da marca Olympus SZ-40/PT, dotado de câmera digital Olympus, objetiva de 10X e zoom ótico de 4X, perfazendo um aumento de 40X. A câmera possibilitou a captação das imagens e visualização em vídeo de computador. As medições foram feitas com o auxílio do *software* Image Pro Plus.

3.6.2 Frequência de poros

A frequência de poros foi determinada na superfície transversal dos mesmos corpos-de-prova utilizados para medir o diâmetro tangencial dos poros.

Os poros foram contados individualmente, e, no caso de poros múltiplos, foram contados todos os poros do conjunto, ou seja, poros múltiplos de três, quatro ou cinco foram contados como três, quatro ou cinco poros, e assim sucessivamente. Dos poros que não se

encontravam integralmente no campo de visão, foram considerados apenas 50% na contagem.

A contagem dos poros foi feita em 10 campos de tamanhos apropriados, sendo cinco deles em cada um dos dois corpos-de-prova, dependendo do tamanho do poro e da distribuição. Para madeiras com poros de diâmetros pequenos, foram usados campos com dimensões aproximadas de 1 mm². Para madeiras com poros de diâmetros grandes e muito espaçados, foram usados campos com dimensões aproximadas de 2 mm². A frequência foi expressa em número de poros por mm².

Para a determinação da frequência de poros foram utilizados o mesmo equipamento e aumento mencionados no Item 3.6.1 para medir o diâmetro tangencial dos poros.

3.6.3 Razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de poros

Nos mesmos campos utilizados para determinar a frequência de poros, foi feita a contagem do número de poros obstruídos por tilos e substâncias incrustantes, tais como óleo-resina e goma, determinando-se a frequência de poros obstruídos. Esse número foi convertido para número de poros obstruídos por mm². Posteriormente, determinou-se a razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência total de poros.

Para a determinação da frequência de poros obstruídos foram utilizados o mesmo equipamento e aumento mencionados no Item 3.6.1 para medir o diâmetro tangencial dos poros.

3.6.4 Dimensões das fibras

As dimensões das fibras determinadas em material dissociado foram o diâmetro total máximo, a largura do lúmen e a espessura da parede.

O material dissociado foi preparado a partir das taliscas retiradas da mesma região dos corpos-de-prova utilizados para determinar todas as demais propriedades. Essas taliscas foram transformadas em cavacos, depositados, a seguir, em pequenos recipientes de vidro com tampa e identificados de acordo com o indivíduo e espécie a que pertenciam. Em cada

um desses recipientes, foram acrescentados, em média, 25 ml da mistura de Franklin, constituída de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) 30% P.A., PM 34,01, classe 5.1 e ácido acético glacial (C₂H₄O₂) P.A., na proporção de 1:1 (Jane, 1970). Os recipientes contendo os cavacos submersos na mistura de Franklin foram tampados e colocados em uma estufa com temperatura média de 50°C por um período correspondente ao tempo necessário para que as fibras se dissociassem. Devido às diferenças na composição anatômica e química das espécies, o tempo de permanência dentro da estufa foi variável, mas, em média, foi de 48 horas.

Após a retirada dos recipientes da estufa, o conteúdo foi colocado em um cadinho filtrante, sendo descartada a mistura de Franklin. O material foi lavado com água corrente e, em seguida, colocado em recipientes com álcool etílico absoluto P.A. – Etanol (C₂H₆O), para a conservação durante o período de armazenamento.

Para a análise do material dissociado, foram montadas de duas a três lâminas para cada indivíduo, utilizando-se água e o corante safranina.

Após a montagem das lâminas foram feitas as mensurações das fibras: 25 medições para diâmetro total máximo e 25 medições para largura do lúmen das fibras de cada indivíduo. Para essas mensurações, foi utilizado um microscópio da marca Olympus BH-2, dotado de uma câmera digital Olympus e objetiva de 40X. Essa câmera possibilitou a captação das imagens e visualização em vídeo de computador. As medições foram feitas com o auxílio do *software* Image Pro Plus. A espessura da parede das fibras foi determinada pela Equação 3.1.

$$EPF = \frac{DTF - LLF}{2} \quad (3.1)$$

Onde:

EPF é a espessura da parede da fibra, em micrometros;

DTF é o diâmetro total máximo da fibra, em micrometros;

LLF é a largura do lúmen da fibra, em micrometros.

3.6.5 Taxa de secagem

Para determinar as taxas de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade, do estado saturado até 30% de teor de umidade e de 30% até 12% de teor de umidade, selecionaram-se, para cada indivíduo, os três corpos-de-prova cujas dimensões mais se aproximavam de 1 cm de largura (tangencial) por 1 cm de altura (radial) por 1 cm de comprimento (longitudinal). Este procedimento teve por finalidade garantir a homogeneidade entre as áreas superficiais dos corpos-de-prova.

De acordo com a massa específica básica obtida do banco de dados do LPF para cada espécie, agruparam-se as madeiras de acordo com as seguintes classes propostas por Melo, Coradin e Mendes (1990):

- a) madeira leve – massa específica básica $\leq 0,50$ g/cm³;
- b) madeira média – $0,50$ g/cm³ < massa específica básica < $0,72$ g/cm³;
- c) madeira pesada – massa específica básica $\geq 0,72$ g/cm³.

Essa pré-seleção por massa específica básica teve por objetivo viabilizar o processo de secagem – uma vez que o número de corpos-de-prova era muito grande – e, também, para que se obtivesse tempos de secagem semelhantes entre as espécies. De acordo com Simpson e Baah (1989) e Simpson e Sagoe (1991), espera-se que espécies que apresentem massa específica dentro de uma mesma faixa sequem em tempos semelhantes e, dessa forma, segundo Simpson e Verrill (1997), podem ser agrupadas.

Os três corpos-de-prova de cada indivíduo das espécies estudadas foram pesados em balança digital com resolução de 0,001 g e colocados em frascos de vidro. Adicionou-se água a cada um dos frascos de vidro, que foram tampados e armazenados em recipientes plásticos com tampas. Os corpos-de-prova foram pesados regularmente até que não se observou mais variação de suas massas, indicando que atingiram o estado saturado.

Nesse momento, os corpos-de-prova foram pesados, medidos e colocados novamente nos frascos de vidro sem água, que foram dispostos em cubas acrílicas contendo solução salina saturada de carbonato de potássio (K₂CO₃). Essa solução salina saturada, quando mantida à temperatura de 20°C, propicia um ambiente controlado com umidade relativa do ar (URA)

de 44% e teor de umidade de equilíbrio (TUE) de 8,3%. De acordo com Young (1967), uma solução salina em uma concentração definida e em temperatura constante permanece em equilíbrio com uma determinada pressão parcial de vapor d'água, resultando em uma umidade relativa definida. Soluções salinas saturadas, colocadas em recipientes fechados, podem liberar ou adsorver grandes quantidades de água sem alterar o teor de umidade de equilíbrio. De acordo com Martins (1992), essa técnica, descrita por Stamm (1964) e por McLaren e Rowen (1951), é simples, rápida, econômica, razoavelmente precisa e tem sido amplamente empregada por constituir-se um método conveniente de controlar a umidade relativa em pequenos ambientes. Como os corpos-de-prova possuíam dimensões bastante reduzidas, optou-se por esse método para que a secagem pudesse ser conduzida de forma mais lenta e ser mais bem avaliada.

Durante a secagem os frascos de vidro permaneceram destampados, possibilitando o contato dos corpos-de-prova com a atmosfera dentro da cuba. Em intervalos preestabelecidos, os frascos de vidro foram tampados e retirados da cuba, tendo os corpos-de-prova sido pesados para determinação de suas massas. Para as madeiras leves, as massas foram determinadas em intervalos de 24 h no primeiro e segundo dias, em intervalos de 4 em 4 horas do terceiro ao sétimo dias e, a partir de então, de 24 em 24 horas, perfazendo um total de 9 dias. Para as madeiras médias, as massas foram determinadas em intervalos de 24 h no primeiro e segundo dias, em intervalos de 4 em 4 horas do terceiro ao sexto dias e, a partir de então, de 24 em 24 horas, perfazendo um total de 9 dias. Para as madeiras pesadas, as massas foram determinadas em intervalo de 24 h no primeiro dia, em intervalos de 4 em 4 horas do segundo ao terceiro dias e, a partir de então de 24 em 24 horas, perfazendo um total de 9 dias. Esses tempos foram determinados com base em um teste-piloto realizado com seis espécies de madeira antes do início do experimento: três espécies classificadas como leves, duas, como médias e uma, como pesada.

As condições de temperatura e umidade relativa do ar no interior das cubas foram monitoradas antes do início do ensaio, nas cubas vazias, e durante o processo de secagem, antes da realização de cada pesagem. Para tanto, utilizou-se um termoigrômetro digital com resolução de 0,1°C para temperatura e de 0,1% para umidade relativa do ar.

Ao término da secagem, os corpos-de-prova foram retirados das cubas, não tendo sido realizada a análise de defeitos em decorrência do seu reduzido tamanho. Em seguida, eles foram colocados em uma estufa de laboratório com circulação forçada de ar, secos a uma temperatura de $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ e pesados regularmente até que suas massas permanecessem constantes. Nesse momento, admitiu-se que os corpos-de-prova haviam atingido a massa seca a 0% de teor de umidade, tendo sido retirados da estufa. As massas secas foram utilizadas para determinar o teor de umidade inicial e os teores de umidade dos corpos-de-prova durante a secagem nas cubas acrílicas.

O teor de umidade inicial dos corpos-de-prova foi determinado pela Equação 3.2:

$$TUI = \left(\frac{M_v - M_s}{M_s} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

Onde:

TUI é o teor de umidade inicial do corpo-de-prova no estado saturado, em porcentagem;

M_v é a massa do corpo-de-prova no estado saturado, em gramas;

M_s é a massa seca do corpo-de-prova após secagem em estufa, a $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$, até atingir valor constante, em gramas.

A Equação 3.2 também foi utilizada para determinar os teores de umidade dos corpos-de-prova em um momento qualquer durante a secagem (TUA) nas cubas acrílicas. Para tanto, utilizou-se a massa no momento da pesagem (Ma) em vez da massa no estado saturado (M_v).

As taxas de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade, de 30% até 12% de teor de umidade e a taxa de secagem total, do estado saturado até 12% de teor de umidade, foram determinadas pela Equação 3.3:

$$TX = \frac{\Delta m}{t} \times \frac{1}{A} \quad (3.3)$$

Onde:

TX é a taxa de secagem para um determinado intervalo de teor de umidade, em gramas por centímetro quadrado vezes hora;

Δm é a diferença entre as massas de um determinado intervalo de teor de umidade, em gramas;

t é o tempo de secagem relativo a um determinado intervalo de teor de umidade, em horas;

A é a área de evaporação do corpo-de-prova, em centímetros quadrados.

Os tempos de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade e do estado saturado até 30% de teor de umidade foram estimados para cada corpo-de-prova a partir dos valores de massa determinados e dos respectivos tempos de pesagem. Esses valores foram plotados para alguns corpos-de-prova, resultando em curvas com tendência polinomial, cujas equações de regressão resultantes apresentaram ótimos valores de coeficientes de determinação (R^2). A partir de então foram calculados os coeficientes de um polinômio de sexto grau para cada um dos corpos-de-prova, de acordo com a Equação 3.4, utilizando a função PROJ.LIN da planilha eletrônica Microsoft Office Excel 2003.

$$y = ax^6 + bx^5 + cx^4 + dx^3 + ex^2 + fx + g \quad (3.4)$$

Onde:

y é o valor da massa, em gramas;

x é o valor do tempo, em horas;

a, b, c, d, e, f, g são os coeficientes do polinômio.

Em seguida, foram estimadas as massas a 30% e a 12% de teor de umidade, de acordo com a Equação 3.5.

$$M_a = \frac{Mv(TUA + 100)}{TUI + 100} \quad (3.5)$$

Onde:

M_a é a massa do corpo-de-prova correspondente ao teor de umidade de 30% ou 12%, em gramas;

M_v é a massa do corpo-de-prova no estado saturado, em gramas;

TUA é o teor de umidade correspondente a 30% ou a 12%, em porcentagem;

TUI é o teor de umidade inicial do corpo-de-prova no estado saturado, em porcentagem.

Os tempos correspondentes a essas massas foram determinados por um programa elaborado no Microsoft Visual Basic. O programa utilizou o método de interpolação para calcular os zeros da Equação 3.4. O tempo de 30% até 12% de teor de umidade foi aquele resultante da subtração do tempo de secagem do estado saturado até 30% do tempo total de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade.

3.6.6 Massa específica básica

A massa específica básica foi determinada com os mesmos corpos-de-prova utilizados no ensaio de taxa de secagem.

Para a realização dos ensaios de massa específica básica, utilizou-se, como referência, a norma da Comisión Panamericana de Normas Técnicas – Copant (1972b).

Os corpos-de-prova foram colocados em água e pesados regularmente em balança digital com resolução de 0,001 g até que não se observou mais variação de suas massas, indicando que atingiram o estado saturado. Nesse momento, foram determinadas as dimensões tangencial, radial e longitudinal com o auxílio de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm. Para determinação da massa seca a 0% de teor de umidade, os corpos-de-prova foram colocados em uma estufa de laboratório com circulação forçada de ar, onde foram secos a uma temperatura de $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ e pesados regularmente até que suas massas permanecessem constantes. Nesse momento, os corpos-de-prova foram retirados da estufa.

A massa específica básica foi determinada pela Equação 3.6:

$$ME_b = \frac{M_s}{V_v} \quad (3.6)$$

Onde:

ME_b é a massa específica básica do corpo-de-prova, em gramas por centímetro cúbico;

M_s é a massa seca do corpo-de-prova após secagem em estufa, a $(103\pm 2)^\circ\text{C}$, até atingir valor constante, em gramas;

V_v é o volume do corpo-de-prova no estado saturado, em centímetros cúbicos.

3.6.7 Contração volumétrica total

O ensaio para determinar a contração volumétrica total foi realizado com os mesmos corpos-de-prova utilizados no ensaio taxa de secagem, tendo como referência a norma da Comisión Panamericana de Normas Técnicas – Copant (1972a).

Os corpos-de-prova foram colocados em água e pesados regularmente em balança digital com resolução de 0,001 g até que não se observou mais variação de suas massas, indicando que não ocorria mais absorção de água e, portanto, que atingiram o estado saturado. Nesse momento, foram determinadas as dimensões tangencial, radial e longitudinal com o auxílio de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm.

Posteriormente, os corpos-de-prova foram colocados em uma estufa de laboratório com circulação forçada de ar, onde foram secos a temperatura de $(103\pm 2)^\circ\text{C}$ até que suas massas permanecessem constantes. Nesse momento, os corpos-de-prova foram retirados da estufa e colocados em dessecador até atingirem temperatura ambiente. Determinaram-se, então, as dimensões tangencial, radial e longitudinal na condição seca a 0% de teor de umidade.

A contração tangencial total do corpo-de-prova do estado saturado até o estado seco em estufa a $(103\pm 2)^\circ\text{C}$, com teor de umidade igual a 0%, foi determinada pela Equação 3.7:

$$C_t = \left(\frac{d_{vt} - d_{st}}{d_{vt}} \right) \times 100 \quad (3.7)$$

Onde:

C_t é a contração tangencial total do corpo-de-prova do estado saturado até o estado seco em estufa a 0% de teor de umidade, em porcentagem;

d_{vt} é a dimensão tangencial do corpo-de-prova no estado saturado, em milímetros;

d_{st} é a dimensão tangencial do corpo-de-prova no estado seco em estufa a 0% de teor de umidade, em milímetros.

A contração radial total do corpo-de-prova do estado saturado até o estado seco em estufa a 0% de teor de umidade foi determinada pela Equação 3.8:

$$C_r = \left(\frac{d_{vr} - d_{sr}}{d_{vr}} \right) \times 100 \quad (3.8)$$

Onde:

C_r é a contração radial total do corpo-de-prova do estado saturado até o estado seco em estufa a 0% de teor de umidade, em porcentagem;

d_{vr} é a dimensão radial do corpo-de-prova no estado saturado, em milímetros;

d_{sr} é a dimensão radial do corpo-de-prova no estado seco em estufa a 0% de teor de umidade, em milímetros.

A contração longitudinal total do corpo-de-prova do estado saturado até o estado seco em estufa a 0% de teor de umidade foi determinada pela Equação 3.9:

$$C_l = \left(\frac{d_{vl} - d_{sl}}{d_{vl}} \right) \times 100 \quad (3.9)$$

Onde:

C_l é a contração longitudinal total do corpo-de-prova do estado saturado até o estado seco em estufa a 0% de teor de umidade, em porcentagem;

d_{vl} é a dimensão longitudinal do corpo-de-prova no estado saturado, em milímetros;

d_{sl} é a dimensão longitudinal do corpo-de-prova no estado seco em estufa a 0% de teor de umidade, em milímetros.

A contração volumétrica total do corpo-de-prova foi calculada pela Equação 3.10:

$$C_v = C_t + C_r + C_l \quad (3.10)$$

Onde:

C_v é a contração volumétrica total do corpo-de-prova do estado saturado até o estado seco em estufa, em porcentagem;

C_t é a contração tangencial total do corpo-de-prova do estado saturado até o estado seco em estufa a 0% de teor de umidade, em porcentagem;

C_r é a contração radial total do corpo-de-prova do estado saturado até o estado seco em estufa a 0% de teor de umidade, em porcentagem;

C_l é a contração longitudinal total do corpo-de-prova do estado saturado até o estado seco em estufa a 0% de teor de umidade, em porcentagem.

3.7 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS

Os dados obtidos foram dispostos em planilha eletrônica, de acordo com a Tabela 3.2. Os valores apresentados para cada indivíduo representam a média das observações feitas para cada característica estudada.

Utilizando-se o programa estatístico SPSS, versão 13.0, fez-se, inicialmente, uma análise de gráficos *boxplots*, com a finalidade de identificar valores discrepantes (*outliers*) e extremos, que foram retirados da planilha de dados. Posteriormente, foi feita uma análise descritiva dos dados para as características estudadas e traçados histogramas com a curva normal.

A análise de correlação foi realizada para verificar inter-relações entre as diferentes variáveis consideradas.

Com o objetivo de estimar os tempos de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade, do estado saturado até 30% de teor de umidade e de 30% até 12% de teor de umidade em função das características anatômicas e físicas determinadas, foi ajustado um modelo de equação de regressão múltipla pelo método passo a passo (*stepwise*). Foram testados os seguintes modelos de regressão: linear, logarítmico, quadrático, cúbico e

Tabela 3.2 – Valores das propriedades determinadas para as espécies de madeiras da Amazônia.

Espécie	Indivíduo	(X ₁)	(X ₂)	(X ₃)	(X ₄)	(X ₅)	(X ₆)	(X ₇)	(X ₈)	(X ₉)	(Y ₁)	(Y ₂)	(Y ₃)	(Y ₄)	(Y ₅)	(Y ₆)
1	1	X _{1,1,1}	X _{2,1,1}	X _{3,1,1}	X _{4,1,1}	X _{5,1,1}	X _{6,1,1}	X _{7,1,1}	X _{8,1,1}	X _{9,1,1}	Y _{1,1,1}	Y _{2,1,1}	Y _{3,1,1}	Y _{4,1,1}	Y _{5,1,1}	Y _{6,1,1}
	2	X _{1,1,2}	X _{2,1,2}	X _{3,1,2}	X _{4,1,2}	X _{5,1,2}	X _{6,1,2}	X _{7,1,2}	X _{8,1,2}	X _{9,1,2}	Y _{1,1,2}	Y _{2,1,2}	Y _{3,1,2}	Y _{4,1,2}	Y _{5,1,2}	Y _{6,1,2}
	3	X _{1,1,3}	X _{2,1,3}	X _{3,1,3}	X _{4,1,3}	X _{5,1,3}	X _{6,1,3}	X _{7,1,3}	X _{8,1,3}	X _{9,1,3}	Y _{1,1,3}	Y _{2,1,3}	Y _{3,1,3}	Y _{4,1,3}	Y _{5,1,3}	Y _{6,1,3}
	4	X _{1,1,4}	X _{2,1,4}	X _{3,1,4}	X _{4,1,4}	X _{5,1,4}	X _{6,1,4}	X _{7,1,4}	X _{8,1,4}	X _{9,1,4}	Y _{1,1,4}	Y _{2,1,4}	Y _{3,1,4}	Y _{4,1,4}	Y _{5,1,4}	Y _{6,1,4}
	5	X _{1,1,1}	X _{2,1,1}	X _{3,1,1}	X _{4,1,1}	X _{5,1,1}	X _{6,1,1}	X _{7,1,1}	X _{8,1,1}	X _{9,1,1}	Y _{1,1,1}	Y _{2,1,1}	Y _{3,1,1}	Y _{4,1,1}	Y _{5,1,1}	Y _{6,1,1}
..
4I	1	X _{1,4I,1}	X _{2,4I,1}	X _{3,4I,1}	X _{4,4I,1}	X _{5,4I,1}	X _{6,4I,1}	X _{7,4I,1}	X _{8,4I,1}	X _{9,4I,1}	Y _{1,4I,1}	Y _{2,4I,1}	Y _{3,4I,1}	Y _{4,4I,1}	Y _{5,4I,1}	Y _{6,4I,1}
	2	X _{1,4I,2}	X _{2,4I,2}	X _{3,4I,2}	X _{4,4I,2}	X _{5,4I,2}	X _{6,4I,2}	X _{7,4I,2}	X _{8,4I,2}	X _{9,4I,2}	Y _{1,4I,2}	Y _{2,4I,2}	Y _{3,4I,2}	Y _{4,4I,2}	Y _{5,4I,2}	Y _{6,4I,2}
	3	X _{1,4I,3}	X _{2,4I,3}	X _{3,4I,3}	X _{4,4I,3}	X _{5,4I,3}	X _{6,4I,3}	X _{7,4I,3}	X _{8,4I,3}	X _{9,4I,3}	Y _{1,4I,3}	Y _{2,4I,3}	Y _{3,4I,3}	Y _{4,4I,3}	Y _{5,4I,3}	Y _{6,4I,3}
	4	X _{1,4I,4}	X _{2,4I,4}	X _{3,4I,4}	X _{4,4I,4}	X _{5,4I,4}	X _{6,4I,4}	X _{7,4I,4}	X _{8,4I,4}	X _{9,4I,4}	Y _{1,4I,4}	Y _{2,4I,4}	Y _{3,4I,4}	Y _{4,4I,4}	Y _{5,4I,4}	Y _{6,4I,4}
	5	X _{1,4I,1}	X _{2,4I,1}	X _{3,4I,1}	X _{4,4I,1}	X _{5,4I,1}	X _{6,4I,1}	X _{7,4I,1}	X _{8,4I,1}	X _{9,4I,1}	Y _{1,4I,1}	Y _{2,4I,1}	Y _{3,4I,1}	Y _{4,4I,1}	Y _{5,4I,1}	Y _{6,4I,1}

X₁ é o diâmetro tangencial dos poros, em µm.

X₂ é a frequência dos poros, em número de poros/mm².

X₃ é a razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de poros.

X₄ é o diâmetro total máximo das fibras, em µm.

X₅ é a largura do lúmen das fibras, em µm.

X₆ é a espessura da parede das fibras, em µm.

X₇ é a contração volumétrica total, em %.

X₈ é a massa específica básica, em g/cm³.

X₉ é o teor de umidade inicial, em %.

Y₁ é a taxa de secagem total, do estado saturado até 12% de teor de umidade, em g/h.cm².

Y₂ é a taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade, em g/h.cm².

Y₃ é a taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade, em g/h.cm².

Y₄ é o tempo de secagem total, do estado saturado até 12% de teor de umidade, em h.

Y₅ é o tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade, em h.

Y₆ é o tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade, em h.

exponencial. Para a seleção do mais ajustado, foram considerados o coeficiente de determinação (R^2) e o valor de F. Esse modelo permitirá estimar tempos de secagem para espécies que não fizeram parte deste estudo, possibilitando determinar suas taxas de secagem para as condições de secagem utilizadas neste estudo.

O agrupamento foi realizado pela análise de *clusters*, segundo as taxas de secagem determinadas do estado saturado até 12% de teor de umidade, do estado saturado até 30% de teor de umidade e de 30% até 12% de teor de umidade para as 41 espécies estudadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características anatômicas

A Tabela 4.1 apresenta as médias dos valores das características anatômicas determinadas para as 41 espécies estudadas. O cálculo dessas médias foi feito com base na Tabela B.1 do Apêndice B, após terem sido retirados os valores extremos e discrepantes (*outliers*).

O diâmetro tangencial dos poros variou de 66,5 μm , para a espécie 40 (*Zizyphus itacaiunenses*), a 337,6 μm , para a espécie 13 (*Cedrelinga catenaeformis*). Segundo o IAWA Committee (1989), em árvores, é mais comum ocorrer elementos de vasos com diâmetros tangenciais na faixa de 100 μm a 200 μm . Diâmetros tangenciais superiores a 200 μm e inferiores a 50 μm são mais raramente observados. De acordo com a Figura C.1 do Apêndice C, é possível verificar que 16 espécies apresentam diâmetros tangenciais dos poros superiores a 200 μm , o que corresponde a 39% das espécies.

As menores frequências de poros foram apresentadas pelas espécies 4 e 3 (*Anacardium microcarpum* e *A. giganteum*), de 1,7 poros/ mm^2 , e a maior, pela espécie 5 (*Aspidosperma macrocarpon*), de 31,4 poros/ mm^2 . O IAWA Committee (1989) classifica a frequência de poros em: ≤ 5 poros/ mm^2 ; de 5 a 20 poros/ mm^2 ; de 20 a 40 poros/ mm^2 ; de 40 a 100 poros/ mm^2 ; ≥ 100 poros/ mm^2 . Os valores das frequências de poros das espécies estudadas encontram-se distribuídos nas três primeiras classes determinadas pelo IAWA Committee (1989).

Para a razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de poros, a espécie 33 (*Pouteria pachycarpa*) apresentou o menor valor, de 0,01, enquanto as espécies 32, 1 e 41 (*Pouteria oblanceolata*, *Acioa edulis* e *Zollernia paraensis*) apresentaram o maior valor, de 1,00. As espécies 32 e 41 apresentaram poros obstruídos por tilos e óleo-resina, enquanto que, na espécie 1, os poros estavam obstruídos apenas por tilos.

Em geral, todos os indivíduos apresentaram poros preenchidos, exceto dois dos cinco indivíduos das espécies 3 (*Anacardium giganteum*) e 33 (*Pouteria pachycarpa*), que não apresentaram nenhum poro obstruído nos 10 campos em que foram feitas as contagens.

Tabela 4.1 – Valores médios, por espécie, das características anatômicas.

Nº	Espécie	Diâmetro tangencial dos poros (µm)	Frequência dos poros (poros/mm ²)	Razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de poros	Diâmetro total máximo das fibras (µm)	Largura do lúmen das fibras (µm)	Espessura da parede das fibras (µm)
1	<i>Acioa edulis</i>	233,8	2,5	1,00	33,5738	2,7906	15,2809
2	<i>Amburana acreana</i>	225,3	1,9	0,22	29,7352	20,5589	4,6364
3	<i>Anacardium giganteum</i>	199,4	1,7	0,37	25,3707	17,6314	3,8697
4	<i>Anacardium microcarpum</i>	200,7	1,7	0,57	24,2774	17,4005	3,2281
5	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	100,1	31,4	0,15	29,6358	8,9043	10,3657
6	<i>Bowdichia nitida</i>	197,8	3,8	0,09	19,6346	1,8776	8,8785
7	<i>Brosimum gaudichaudii</i>	097,7	10,4	0,67	14,5195	6,6461	3,9367
8	<i>Caraipa densiflora</i>	164,1	11,8	0,29	25,0039	11,8639	6,5700
9	<i>Cariniana micrantha</i>	222,5	2,7	0,97	23,8541	15,6365	3,7683
10	<i>Caryocar glabrum</i>	238,2	4,1	0,93	23,0968	8,2980	7,9683
11	<i>Cassia fastuosa</i>	207,9	3,1	0,42	16,8430	6,4663	5,1884
12	<i>Cedrela odorata</i>	266,6	3,2	0,41	33,2778	26,9765	3,0392
13	<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	337,6	2,7	0,26	30,0932	23,9878	3,0197
14	<i>Clarisia racemosa</i>	194,2	4,5	0,96	24,4206	16,9011	3,3263
15	<i>Dialium guianense</i>	145,9	7,6	0,42	18,9258	6,9838	5,9710
16	<i>Diploptropis purpurea</i>	258,1	3,7	0,13	27,4502	8,1346	10,0041
17	<i>Dipteryx odorata</i>	139,2	6,7	0,63	17,2722	3,6593	6,5698
18	<i>Euxylophora paraensis</i>	118,3	13,6	0,41	20,4573	11,1213	4,9674
19	<i>Goupia glabra</i>	174,1	7,1	0,08	32,6811	10,0939	10,9125
20	<i>Hymenolobium nitidum</i>	257,5	2,6	0,21	31,8112	14,1704	8,8204
21	<i>Hymenolobium cf. pulcherrimum</i>	276,8	2,7	0,50	26,7773	8,9333	8,9220

Tabela 4.1 (continuação) – Valores médios, por espécie, das características anatômicas.

Nº	Espécie	Diâmetro tangencial dos poros (µm)	Frequência dos poros (nº poros/mm²)	Razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de poros (µm)	Diâmetro total máximo das fibras (µm)	Largura do lúmen das fibras (µm)	Espessura da parede das fibras (µm)
22	<i>Laetia procera</i>	167,7	7,3	0,19	40,1082	16,5724	11,7679
23	<i>Licania oblongifolia</i>	273,1	3,7	0,65	31,9718	8,8567	11,5575
24	<i>Manilkara huberi</i>	128,3	11,4	0,97	24,8780	8,4520	8,2130
25	<i>Micrandra rossiana</i>	147,2	6,6	0,93	25,8470	16,4297	4,8163
26	<i>Myrocarpus frondosus</i>	101,7	23,0	0,25	14,9761	4,2677	5,4260
27	<i>Ocotea aciphylla</i>	156,3	7,7	0,61	25,5453	17,6669	3,9392
28	<i>Ormosia coccinea</i>	231,0	2,6	0,39	29,8263	15,2036	7,3114
29	<i>Osteophloeum platyspermum</i>	215,7	4,1	0,96	44,7345	32,6322	6,0511
30	<i>Parkia gigantocarpa</i>	195,2	3,4	0,32	31,2109	26,4106	2,4002
31	<i>Peltogyne cf. subsessilis</i>	126,0	10,2	0,49	15,3395	6,0506	4,6444
32	<i>Pouteria oblanceolata</i>	108,3	11,1	1,00	19,7407	7,1268	6,3069
33	<i>Pouteria pachycarpa</i>	72,3	21,0	0,01	22,9370	4,5122	9,2124
34	<i>Rauvolfia paraensis</i>	109,1	15,1	0,12	38,7875	16,8235	11,0722
35	<i>Tabebuia incana</i>	110,4	16,8	0,40	15,6702	3,8462	5,9120
36	<i>Tetragastris panamensis</i>	100,5	16,4	0,88	14,2236	6,6228	3,8004
37	<i>Vatairea guianensis</i>	178,6	4,1	0,40	25,9147	11,0430	7,5154
38	<i>Vatairea sericea</i>	209,2	3,8	0,47	24,4804	3,4219	10,2729
39	<i>Vataireopsis speciosa</i>	266,7	3,5	0,33	29,5862	9,2783	10,2500
40	<i>Zizyphus itacainenses</i>	66,5	22,5	0,51	17,7905	7,2497	5,0743
41	<i>Zollernia paraensis</i>	104,5	6,7	1,00	14,6160	4,1311	5,2315

Os poros observados estavam preenchidos por tilos e substância incrustantes, como óleo-resina e goma. A Tabela 4.2 apresenta uma relação das espécies de acordo com o tipo de preenchimento observado.

Tabela 4.2 – Relação das espécies de acordo com o tipo de preenchimento dos poros.

Tipo de preenchimento	Espécie
Tilos	1 – <i>Acioa edulis</i>
	3 – <i>Anacardium giganteum</i>
	9 – <i>Cariniana micrantha</i>
	10 – <i>Caryocar glabrum</i>
	27 – <i>Ocotea aciphylla</i>
Substâncias incrustantes	2 – <i>Amburana acreana</i>
	4 – <i>Anacardium microcarpum</i>
	5 – <i>Aspidosperma macrocarpon</i>
	6 – <i>Bowdichia nitida</i>
	7 – <i>Brosimum gaudichaudii</i>
	11 – <i>Cassia fastuosa</i>
	12 – <i>Cedrela odorata</i>
	13 – <i>Cedrelinga catenaeformis</i>
	15 – <i>Dialium guianense</i>
	17 – <i>Dipteryx odorata</i>
	18 – <i>Euxylophora paraensis</i>
	19 – <i>Goupia glabra</i>
	20 – <i>Hymenolobium nitidum</i>
	21 – <i>Hymenolobium</i> cf. <i>pulcherrimum</i>
	22 – <i>Laetia procera</i>
	26 – <i>Myrocarpus frondosus</i>
	28 – <i>Ormosia coccinea</i>
	31 – <i>Peltogyne</i> cf. <i>subsessilis</i>
	35 – <i>Tabebuia incana</i>
37 – <i>Vatairea guianensis</i>	
38 – <i>Vatairea sericea</i>	
39 – <i>Vataireopsis speciosa</i>	
Tilos e substâncias incrustantes	8 – <i>Caraipa densiflora</i>
	14 – <i>Clarisia racemosa</i>
	16 – <i>Diploptropis purpurea</i>
	23 – <i>Licania oblongifolia</i>
	24 – <i>Manilkara huberi</i>
	25 – <i>Micrandra rossiana</i>
	29 – <i>Osteophloeum platyspermum</i>
	30 – <i>Parkia gigantocarpa</i>
	32 – <i>Pouteria oblanceolata</i>
	33 – <i>Pouteria pachycarpa</i>
	34 – <i>Rauvolfia paraensis</i>
	36 – <i>Tetragastris panamensis</i>
40 – <i>Zizyphus itacaiunenses</i>	
41 – <i>Zollernia paraensis</i>	

É possível observar na Figura 4.1 que 53,7% das espécies apresentam poros preenchidos por substâncias incrustantes. Em 34,1% das espécies, além das substâncias incrustantes, os poros encontram-se preenchidos também por tilos. Apenas 12,2% das espécies apresentam poros preenchidos somente por tilos. De acordo com Carlquist (1988), os tilos tendem a estar presentes nos elementos de vasos mais largos e ausentes nos mais estreitos. Entretanto, neste trabalho observa-se a ocorrência de tilos em espécies com poros de diâmetros estreitos, como nas espécies 40 (*Zizyphus itacaiunenses*) e 33 (*Pouteria pachycarpa*), que apresentaram os menores diâmetros (66,5 μm e 72,3 μm) e em espécies com poros de diâmetros mais largos, como nas espécies 23 (*Licania oblongifolia*) e 16 (*Diploptropis purpurea*), cujos diâmetros foram, respectivamente, 273,1 μm e 258,1 μm .

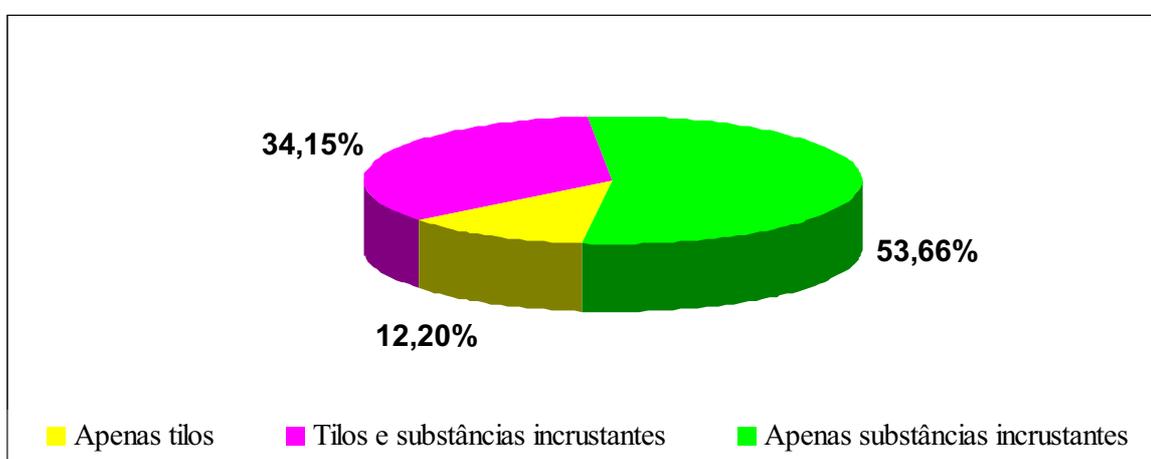


Figura 4.1 – Percentual de espécies por tipo de preenchimento dos poros.

Considerando-se os poros preenchidos por substâncias incrustantes e aqueles que apresentam substâncias incrustantes associadas aos tilos, é possível constatar que 87,81% das espécies possuem poros com algum tipo de preenchimento. De acordo com Oliveira, Santini e Haselein (2003), o aquecimento da madeira em água altera o comportamento dos extrativos, podendo remover parte deles, desobstruindo os poros. Os corpos-de-prova utilizados para determinar as características anatômicas macroscópicas foram cozidos em autoclave, verificando-se, posteriormente, mudança na cor da água, o que indica ter havido lixiviação de extrativos. Isso pode ter interferido na frequência de poros obstruídos determinada, já que alguns deles podem ter perdido essas substâncias, ficando desobstruídos, mesmo que apenas superficialmente.

Com relação ao diâmetro total máximo das fibras, houve uma variação de 14,2236 μm , referente à espécie 36 (*Tetragastris panamensis*), até 44,7345 μm , da espécie 29 (*Osteophloeum platyspermum*). As fibras com os lumens mais estreitos foram apresentadas pela espécie 6 (*Bowdichia nitida*) e as de maiores lumens, pela espécie 29 (*Osteophloeum platyspermum*). A espécie que apresentou o maior diâmetro total máximo foi também a que teve o lúmen mais largo. As fibras de paredes mais espessas foram observadas na espécie 1 (*Acioa edulis*) e as de paredes mais finas, na espécie 30 (*Parkia gigantocarpa*).

4.2 Características físicas

A Tabela 4.3 apresenta as médias dos valores das características físicas determinadas para as 41 espécies estudadas. O cálculo dessas médias foi feito com base na Tabela B.1 do Apêndice B, após terem sido retirados os valores extremos e discrepantes (*outliers*).

Apesar de os valores de massa específica básica e de contração volumétrica total encontrarem-se disponíveis no banco de dados do LPF, no sítio <http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira>, considerou-se necessária a determinação dessas características para os corpos-de-prova utilizados neste estudo, tendo em vista a conhecida variabilidade da madeira. Dessa forma, foi possível garantir uma maior precisão dos resultados.

Uma comparação rápida dos valores determinados neste trabalho com aqueles constantes do banco de dados do LPF, apresentados na Tabela 4.3, revela algumas discrepâncias, confirmando a variabilidade de massa específica e de contração volumétrica total existente em uma mesma espécie e, até mesmo, em uma mesma árvore, relatadas por Desch e Dinwoodie (1981) e por Simpson (1991). Isso vem ratificar o acerto na decisão de determinar novamente os valores dessas características para os corpos-de-prova utilizados neste trabalho.

A espécie 1 (*Acioa edulis*) foi a que apresentou o maior valor de contração volumétrica total, 20,19%, e o menor valor, 8,59%, foi apresentado pela espécie 2 (*Amburana acreana*). Simpson e Sagoe (1991), em estudo realizado com 650 espécies de folhosas tropicais, apresentam valores de contração volumétrica variando de 5,1% a 20,1%, e Schroeder (1972), em estudo com 52 espécies de folhosas, relata valores na faixa de 13,2%

Tabela 4.3 – Valores médios, por espécie, das características físicas.

Nº	Espécie	Contração volumétrica total (%)		Massa específica básica (g/cm ³)	
		Determinada neste trabalho	Banco de dados do LPF	Determinada neste trabalho	Banco de dados do LPF
1	<i>Acioa edulis</i>	20,19	17,49	0,846	0,82
2	<i>Amburana acreana</i>	8,59	8,22	0,496	0,47
3	<i>Anacardium giganteum</i>	9,60	8,47	0,415	0,38
4	<i>Anacardium microcarpum</i>	9,78	9,68	0,373	0,42
5	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	12,22	11,50	0,600	0,65
6	<i>Bowdichia nitida</i>	14,91	14,20	0,741	0,74
7	<i>Brosimum gaudichaudii</i>	12,12	14,10	0,793	0,67
8	<i>Caraipa densiflora</i>	14,37	15,60	0,541	0,63
9	<i>Cariniana micrantha</i>	14,69	13,95	0,540	0,58
10	<i>Caryocar glabrum</i>	13,64	11,85	0,611	0,78
11	<i>Cassia fastuosa</i>	9,87	-	0,719	0,71
12	<i>Cedrela odorata</i>	13,16	-	0,364	0,39
13	<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	12,04	11,61	0,457	0,45
14	<i>Clarisia racemosa</i>	9,54	9,61	0,541	0,56
15	<i>Dialium guianense</i>	15,45	13,67	0,829	0,85
16	<i>Diploptropis purpurea</i>	13,95	15,55	0,708	0,74
17	<i>Dipteryx odorata</i>	13,37	13,85	0,896	0,87
18	<i>Euxylophora paraensis</i>	13,56	13,10	0,693	0,69
19	<i>Goupia glabra</i>	13,30	13,12	0,674	0,71
20	<i>Hymenolobium nitidum</i>	12,13	11,81	0,562	0,55
21	<i>Hymenolobium cf. pulcherrimum</i>	11,72	14,00	0,576	0,60
22	<i>Laetia procera</i>	18,43	17,10	0,637	0,68
23	<i>Licania oblongifolia</i>	18,44	19,59	0,785	0,83
24	<i>Manilkara huberi</i>	17,06	16,38	0,845	0,87
25	<i>Micrandra rossiana</i>	17,55	13,82	0,686	0,67
26	<i>Myrocarpus frondosus</i>	12,42	11,30	0,776	0,78
27	<i>Ocotea aciphylla</i>	11,64	11,56	0,541	0,50
28	<i>Ormosia coccinea</i>	10,83	10,90	0,613	0,58
29	<i>Osteophloeum platyspermum</i>	11,73	14,50	0,497	0,46
30	<i>Parkia gigantocarpa</i>	10,19	8,76	0,354	0,26
31	<i>Peltogyne cf. subsessilis</i>	12,94	13,36	0,783	0,79
32	<i>Pouteria oblanceolata</i>	13,61	13,80	0,825	0,79
33	<i>Pouteria pachycarpa</i>	19,88	16,50	0,744	0,73
34	<i>Rauvolfia paraensis</i>	16,79	13,32	0,554	0,55
35	<i>Tabebuia incana</i>	14,10	13,30	0,872	0,82
36	<i>Tetragastris panamensis</i>	16,54	14,90	0,783	0,75
37	<i>Vatairea guianensis</i>	14,82	13,90	0,601	0,64
38	<i>Vatairea sericea</i>	13,98	15,00	0,693	0,73
39	<i>Vataireopsis speciosa</i>	10,72	9,93	0,566	0,62
40	<i>Zizyphus itacaiunenses</i>	16,27	15,70	0,827	0,80
41	<i>Zollernia paraensis</i>	15,35	16,80	1,083	0,97

a 16,4%. Alipon *et al.* (1996), para espécies de madeiras das Filipinas, citam valores na faixa de 4,7% a 21,8%.

Com relação à massa específica básica, o maior valor, 1,083 g/cm³, foi apresentado pela espécie 41 (*Zollernia paraensis*) e o menor, 0,354 g/cm³, pela espécie 30 (*Parkia gigantocarpa*). De acordo com a classificação de Melo, Coradin e Mendes (1990), das 41 espécies estudadas, 17% apresentaram massa específica baixa, 46%, massa específica média e 37%, massa específica alta. Trabalho realizado por Bello e Taguiling (1997), com 54 espécies de madeiras da Filipinas, relata valores de massa específica básica variando de 0,250 a 0,921. Simpson e Sagoe (1991) apresentam valores de massa específica básica variando de 0,120 a 1,044, sendo que a maioria dos dados foram agrupados na faixa de 0,400 a 0,800. Neste estudo, de acordo com a Figura C.8 do Apêndice C, a maioria dos dados concentra-se na faixa de 0,500 g/cm³ a 0,900 g/cm³.

4.3 Características de secagem

A Tabela 4.4 apresenta as médias dos valores das características de secagem determinadas para as 41 espécies estudadas. O cálculo dessas médias foi feito com base na Tabela B.1 do Apêndice B, após terem sido retirados os valores extremos e discrepantes (*outliers*).

Antes de as espécies serem submetidas à secagem, foi feita uma classificação pela massa específica, de acordo com os critérios definidos por Melo, Coradin e Mendes (1990). Nesse momento, utilizaram-se os valores de massa específica disponíveis no banco de dados do LPF, e a classificação correspondente para cada espécie encontra-se na Tabela A.1 do Apêndice A. Após a secagem foi feita a determinação das massas específicas dos corpos-de-prova utilizados no ensaio, e pôde-se constatar que a espécie 7 (*Brosimum gaudichaudii*), classificada inicialmente como madeira média, foi posteriormente classificada como madeira pesada. A espécie 27 (*Ocotea aciphylla*), classificada anteriormente como madeira leve, foi posteriormente classificada como madeira média. As espécies 16 (*Diploptropis purpurea*) e 38 (*Vatairea sericea*), classificadas inicialmente como madeiras pesadas, foram posteriormente classificadas como madeiras médias.

Tabela 4.4 – Valores médios, por espécie, das características de secagem.

Nº	Espécie	Teor de umidade inicial (%)	Taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (g/h.cm ²)	Taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (g/h.cm ²)	Taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (g/h.cm ²)	Tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (h)	Tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (h)	Tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (h)
1	<i>Acioa edulis</i>	51,0	4,8852E-04	6,9040E-04	3,6298E-04	124,6	48,0	79,4
2	<i>Amburana acreana</i>	131,6	7,3277E-04	8,3521E-04	4,5605E-04	146,0	108,9	36,4
3	<i>Anacardium giganteum</i>	170,1	8,8530E-04	9,7760E-04	5,0531E-04	139,5	114,4	26,9
4	<i>Anacardium microcarpum</i>	200,6	9,1312E-04	1,0595E-03	4,8315E-04	133,4	106,5	25,0
5	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	95,1	5,7724E-04	7,2180E-04	3,6262E-04	155,3	97,1	58,2
6	<i>Bowdichia nitida</i>	64,7	6,8317E-04	8,4097E-04	5,0149E-04	100,4	54,9	48,9
7	<i>Brosimum gaudichaudii</i>	57,7	3,6024E-04	6,3130E-04	2,1752E-04	177,8	61,3	116,4
8	<i>Caraipa densiflora</i>	119,7	6,0182E-04	7,4589E-04	3,5358E-04	172,4	113,4	59,0
9	<i>Cariniana micrantha</i>	111,9	6,8662E-04	8,7244E-04	3,8817E-04	145,3	95,8	49,0
10	<i>Caryocar glabrum</i>	93,1	6,8838E-04	9,9327E-04	3,2114E-04	132,9	72,2	63,8
11	<i>Cassia fastuosa</i>	71,2	4,9572E-04	7,5244E-04	2,6496E-04	148,5	65,9	81,4
12	<i>Cedrela odorata</i>	204,2	8,9912E-04	1,0039E-03	4,5472E-04	137,7	111,8	25,9
13	<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	149,1	8,8275E-04	1,0433E-03	4,6251E-04	127,5	92,5	31,8
14	<i>Clarisia racemosa</i>	113,4	6,7081E-04	7,9938E-04	4,2333E-04	140,3	99,9	47,6
15	<i>Dialium guianense</i>	50,0	5,0800E-04	7,8582E-04	3,5621E-04	114,0	36,4	77,6
16	<i>Diploptropis purpurea</i>	71,4	7,3445E-04	9,6895E-04	5,0976E-04	96,6	53,7	43,5
17	<i>Dipteryx odorata</i>	41,5	6,3330E-04	1,5215E-03	4,7106E-04	74,6	13,0	64,4
18	<i>Euxylophora paraensis</i>	73,8	5,2855E-04	7,4964E-04	3,2492E-04	145,1	73,7	67,9
19	<i>Goupia glabra</i>	78,1	5,5973E-04	7,8202E-04	3,2126E-04	142,4	73,9	68,5
20	<i>Hymenolobium nitidum</i>	107,0	6,9336E-04	8,0193E-04	4,6716E-04	142,4	97,7	44,7
21	<i>Hymenolobium cf. pulcherrimum</i>	91,9	4,7617E-04	5,2756E-04	3,8070E-04	181,5	134,1	47,9

Tabela 4.4 (continuação) – Valores médios, por espécie, das características de secagem.

Nº	Espécie	Teor de umidade inicial (%)	Taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (g/h.cm ²)	Taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (g/h.cm ²)	Taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (g/h.cm ²)	Tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (h)	Tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (h)	Tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (h)
22	<i>Laetia procera</i>	88,1	4,9104E-04	6,7561E-04	2,6950E-04	182,2	100,5	81,7
23	<i>Licania oblongifolia</i>	60,4	7,4722E-04	1,0635E-03	5,0241E-04	93,2	41,3	52,0
24	<i>Manilkara huberi</i>	49,8	5,3381E-04	8,6504E-04	3,7728E-04	111,3	36,0	75,3
25	<i>Micrandra rossiana</i>	75,9	4,0743E-04	5,5700E-04	2,4308E-04	199,4	104,3	92,3
26	<i>Myrocarpus frondosus</i>	58,2	6,4576E-04	7,9681E-04	4,8769E-04	100,9	49,4	51,3
27	<i>Ocotea aciphylla</i>	114,9	6,8906E-04	9,9027E-04	3,0326E-04	144,8	82,1	62,8
28	<i>Ormosia coccinea</i>	90,7	4,9041E-04	5,7858E-04	3,4270E-04	172,4	110,9	61,5
29	<i>Osteophloeum platyspermum</i>	131,9	8,1717E-04	9,3078E-04	4,9576E-04	131,8	97,9	33,8
30	<i>Parkia gigantocarpa</i>	213,4	9,3211E-04	1,0212E-03	5,1975E-04	138,4	115,2	23,2
31	<i>Peltogyne cf. subsessilis</i>	59,4	6,5551E-04	9,0181E-04	4,7050E-04	100,5	46,3	56,3
32	<i>Pouteria oblanceolata</i>	53,0	5,9058E-04	9,6181E-04	4,0301E-04	101,1	34,7	66,4
33	<i>Pouteria pachycarpa</i>	65,3	6,8600E-04	9,5510E-04	4,5123E-04	107,8	50,8	57,0
34	<i>Rauvolfia paraensis</i>	110,0	4,9279E-04	6,0062E-04	2,8373E-04	205,4	137,1	68,3
35	<i>Tabebuia incana</i>	42,5	5,0188E-04	1,0073E-03	3,7707E-04	94,4	19,5	74,9
36	<i>Tetragastris panamensis</i>	59,0	6,3758E-04	8,7216E-04	4,4809E-04	104,3	46,7	57,6
37	<i>Vatairea guianensis</i>	93,2	4,5992E-04	5,4945E-04	3,1316E-04	196,7	130,9	65,8
38	<i>Vatairea sericea</i>	70,5	7,9527E-04	9,7105E-04	5,3146E-04	99,6	53,8	45,7
39	<i>Vataireopsis speciosa</i>	93,0	5,3274E-04	5,7094E-04	4,1036E-04	169,5	123,3	46,3
40	<i>Zizyphus itacaiunenses</i>	54,7	5,4652E-04	9,9437E-04	3,4323E-04	117,9	36,6	81,2
41	<i>Zollernia paraensis*</i>	22,3	2,3576E-04	4,2196E-04*	1,2130E-04*	86,3	38,2*	48,2*

*Valores determinados considerando o PSF de 15% de teor de umidade.

As espécies de madeira classificadas como leves e médias permaneceram nas cubas acrílicas por um tempo médio de 216,6 h, enquanto que, para as espécies do grupo das pesadas, esse tempo foi de 227,9 h.

A Figura 4.2 apresenta as condições de temperatura, umidade relativa do ar (URA) e teor de umidade de equilíbrio (TUE) a que os corpos-de-prova foram submetidos durante a secagem nos três grupos de madeira (leves, médias e pesadas). A secagem do grupo de madeiras leves foi conduzida em duas cubas acrílicas com solução salina saturada de carbonato de potássio. O grupo de madeiras médias, assim como o grupo das madeiras pesadas, por conter maior número de espécies e indivíduos, teve a secagem realizada em três cubas acrílicas.

É possível observar que a temperatura dentro das cubas variou muito pouco nos três grupos de madeira. A umidade relativa do ar dentro das cubas variou para os três grupos de madeiras. Antes de a secagem ser iniciada, a URA no interior das cubas era a mesma. Após a introdução dos corpos-de-prova saturados a URA passou a apresentar comportamento diferenciado entre as cubas para os três grupos. Isso pode ser explicado pelo teor de umidade inicial do conjunto de espécies que ficou em cada caixa, ou seja, os grupos de espécies com teores de umidade inicial mais elevados liberaram para o meio uma maior quantidade de água no início da secagem, elevando a URA. O comportamento mais homogêneo para a URA foi observado no grupo das 15 espécies de madeira classificadas neste estudo como pesadas. Essas espécies também foram as que apresentaram os menores valores de teor de umidade inicial, na faixa de 22,26%, para a espécie 41 (*Zollernia paraensis*), a 65,33%, para a espécie 33 (*Pouteria pachycarpa*).

Os grupos das madeiras médias e leves apresentaram comportamentos para a URA mais diferenciados entre as cubas. As espécies que compunham esses grupos também foram as que apresentaram teores de umidade inicial mais elevados. As madeiras médias apresentaram teores de umidade inicial na faixa de 71,22%, para a espécie 11 (*Cassia fastuosa*), a 111,92%, para a espécie 9 (*Cariniana micrantha*). As madeiras leves apresentaram teores de umidade inicial na faixa de 131,91%, para a espécie 29 (*Osteophloeum platyspermum*), a 213,41%, para a espécie 30 (*Parkia gigantocarpa*). Na secagem das madeiras leves, os valores de URA na cuba 1, logo após o início da secagem,

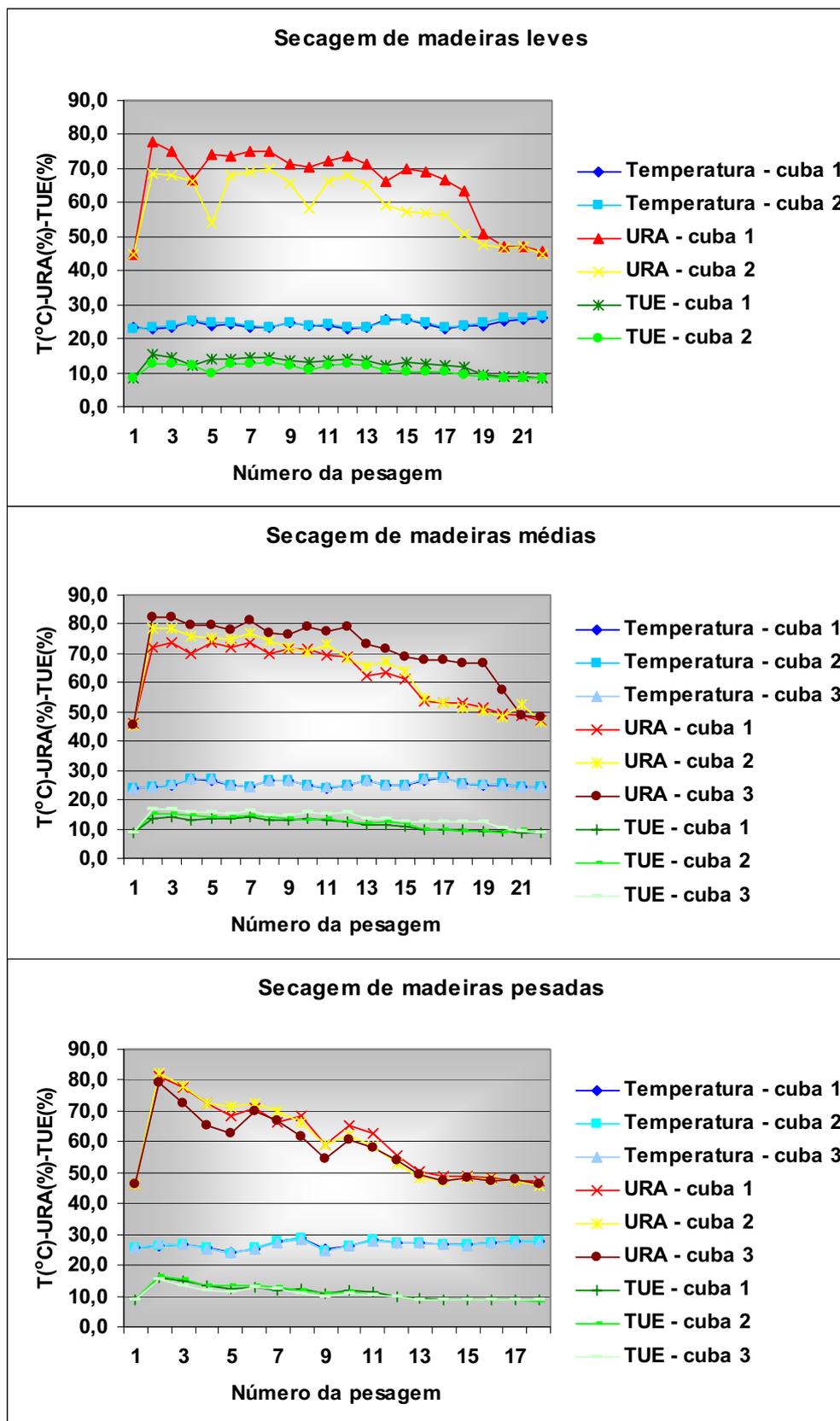


Figura 4.2 – Condições de temperatura, umidade relativa do ar e teor de umidade de equilíbrio a que os corpos-de-prova do grupo de madeiras leves, médias e pesadas foram expostos nas cubas acrílicas.

foram maiores que os de URA na cuba 2, uma vez que na cuba 1 ficaram as espécies com teor de umidade inicial mais elevado. Com relação à secagem das madeiras médias, constatou-se que os valores de URA na cuba 3 foram maiores que aqueles determinados nas cubas 1 e 2. Atribui-se essa diferença aos valores superiores de teor de umidade inicial das espécies que ficaram na cuba 3.

Entretanto, na secagem das madeiras pesadas observou-se que a cuba 3 foi a que apresentou os menores valores de URA, sendo também a cuba onde ficaram as espécies com os maiores teores de umidade inicial. Verificou-se então que o efeito sobre a URA não se dá apenas pelos valores mais altos de teor de umidade inicial do conjunto de espécies, mas também pela diferença entre esses valores. Quanto maior essa diferença, menores os valores de URA.

Apesar das diferenças apresentadas para a URA, o TUE alterou muito pouco tanto entre grupos de espécies como entre as cubas, e o comportamento das curvas é muito semelhante entre si. Isso indica que o uso de cubas com soluções salinas saturadas se constitui um método adequado para a secagem de corpos-de-prova de dimensões reduzidas, quando comparado ao método de secagem em estufas de laboratório.

Neste trabalho, o teor de umidade inicial variou de 213,41%, para a espécie 30 (*Parkia gigantocarpa*), a 22,26%, para a espécie 41 (*Zollernia paraensis*). Bello e Taguiling (1997), para 54 espécies de folhosas das Filipinas, relatam valores entre 43,8% e 192,9%. Simpson e Sagoe (1991) apresentam valores entre 16,9% e 556,0%, sendo que a maioria dos dados está na faixa de 50% a 100%. É possível observar na Figura C.9 do Apêndice C que neste trabalho os dados também se concentram nessa faixa de teor de umidade.

A taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade variou de 2,3576E-04 g/h.cm², para a espécie 41 (*Zollernia paraensis*), até 9,3211E-04 g/h.cm², para a espécie 30 (*Parkia gigantocarpa*).

A taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade variou de 4,2196E-04 g/h.cm², para a espécie 41 (*Zollernia paraensis*), a 1,5215E-03 g/h.cm², para a espécie 17 (*Dipteryx odorata*). Deve-se lembrar que, para a espécie 41, utilizou-se o valor de 15% para o ponto de saturação das fibras (PSF), em vez de 30%, utilizado para as demais

espécies, uma vez que o teor de umidade inicial médio para essa espécie foi de apenas 22%. De acordo com Hernández (2007), o ponto de saturação das fibras é negativamente correlacionado com a massa específica da madeira, e, em pesquisa realizada com nove espécies de folhosas do Peru, o autor encontrou valores de PSF variando de 15% a 25% de teor de umidade. Jará (1987), para madeiras nativas brasileiras, relata valores de PSF na faixa de 16,4% a 28%. O valor mais baixo de PSF (16,4%) foi observado para a espécie *Chlorophora tinctoria*, que, segundo Richter e Dallwitz (2006), apresenta massa específica básica variando de 0,7 a 0,9 g/cm³. Tendo em vista que a massa específica básica determinada para *Zollernia paraensis* neste trabalho foi de 1,083 g/cm³, sendo superior à de *Chlorophora tinctoria*, adotou-se o PSF de 15% para essa espécie.

A taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade variou de 1,2130E-04 g/h.cm², para a espécie 41 (*Zollernia paraensis*), a 5,3146E-04 g/h.cm², para a espécie 38 (*Vatairea sericea*). Para a espécie 41, a taxa de secagem foi calculada para o intervalo de 15% a 12% de teor de umidade, uma vez que se adotou o PSF de 15% para essa espécie.

Observa-se na Tabela 4.4 que as taxas de secagem desde o estado saturado até 30% de teor de umidade são maiores que as taxas obtidas de 30% até 12% de teor de umidade e, conseqüentemente, são também maiores que aquelas apresentadas desde o estado saturado até 12% de teor de umidade. Isso era esperado e está de acordo com a literatura, que descreve uma taxa maior para a saída de água livre decrescendo na faixa higroscópica. A taxa total do estado saturado até 12% de teor de umidade reflete a média geral das taxas, incluindo a saída de água livre e água higroscópica, tendo, portanto, que, necessariamente, ser menor que a taxa obtida apenas na faixa acima do PSF.

O tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade variou de 74,6 h, para a espécie 17 (*Dipteryx odorata*), a 205,4 h, para a espécie 34 (*Rauvolfia paraensis*). O tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade variou de 13,0 h, para a espécie 17 (*Dipteryx odorata*), a 137,1 h, para a espécie 34 (*Rauvolfia paraensis*). O tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade variou de 23,2 h, para a espécie 30 (*Parkia gigantocarpa*), a 116,4 h, para a espécie 7 (*Brosimum gaudichaudii*).

Em geral, observa-se na Tabela 4.4 que o tempo de secagem que leva para a madeira secar do estado saturado até 30% de teor de umidade, que corresponde à saída de água livre, é

maior que o tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade, relativo à saída de água higroscópica. Entretanto, para as espécies de massa específica mais alta e com teores de umidade inicial mais baixos, ocorre o oposto. O intervalo de teor de umidade de 30% até 12% é igual para todas as espécies, enquanto que o intervalo de teor de umidade do estado saturado até 30% é variável, uma vez que depende do teor de umidade inicial. As madeiras com maiores valores de massa específica básica também apresentam menores valores de teor de umidade inicial e, conseqüentemente, menores tempos de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade.

4.4 Análise das correlações entre as características estudadas para as 41 espécies

A Tabela D.1 do Apêndice D apresenta a matriz de correlações para as características das madeiras estudadas. Na Tabela 4.5 encontram-se apenas os coeficientes de correlação que apresentaram algum nível de significância.

4.4.1 Correlações entre as características anatômicas

O diâmetro tangencial dos poros apresentou forte correlação com a frequência de poros (-0,731), indicando que, quanto maior o diâmetro dos poros, menor a sua quantidade em determinada área. Também foi observada correlação com o diâmetro total máximo das fibras (0,506), indicando que, quanto maior o diâmetro tangencial dos poros, maior também o diâmetro total máximo das fibras. Deomano (1995), em estudo com três espécies de folhosas das Filipinas, relata valor de coeficiente de correlação de -0,38 entre o diâmetro dos poros e o diâmetro das fibras. O autor também menciona valor de coeficiente de correlação de -0,41 entre o diâmetro dos poros e a largura do lúmen. Neste trabalho esse valor, embora significativo, foi de 0,393. Observa-se que os valores de coeficientes de correlação determinados por Deomano (1995), referentes a apenas três espécies de folhosas, são inversos aos encontrados neste trabalho.

A frequência de poros, além da correlação com o diâmetro dos poros, apresentou ainda correlações com outras características estudadas, mas esses valores, apesar de significativos, foram baixos.

Tabela 4.5 – Matriz de correlações entre as características determinadas para as 41 espécies de madeiras estudadas.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P
A	1,000	-0,731**	-	0,506**	0,393**	-	-0,275**	0,465**	0,383**	-	0,316**	-	0,411**	-0,433**
B		1,000	-0,186*	-0,279**	-0,311**	-	0,260**	-0,323**	-0,215**	-	-	-	-0,250**	0,252**
C			1,000	-0,165*	-	-0,247**	-	0,246**	-0,180*	-	-0,194*	-	-0,239**	0,176*
D				1,000	0,667**	0,423**	-	-0,573**	0,494**	0,240**	-	0,458**	0,588**	-0,261**
E					1,000	-0,378**	-0,768**	0,791**	0,452**	-	0,155*	0,408**	0,635**	-0,428**
F						1,000	0,461**	0,224**	-0,357**	-0,217**	-	-	-	0,216**
G							1,000	0,493**	-0,485**	-0,338**	-0,246**	-	-0,369**	0,415**
H								1,000	-0,944**	-0,611**	-0,303**	-0,479**	-0,833**	0,598**
I									1,000	0,682**	0,349**	0,330**	0,727**	-0,648**
J										1,000	0,631**	0,824**	0,184*	-0,782**
L											1,000	0,593**	-0,612**	-0,409**
M												1,000	-0,447**	-0,709**
N													1,000	0,803**
O														1,000
P														

* Correlação significativa no nível de 5% de probabilidade.

** Correlação significativa no nível de 1% de probabilidade.

A - Diâmetro tangencial dos poros.

B - Frequência de poros.

C - Razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de poros.

D - Diâmetro total máximo das fibras.

E - Largura do lúmen das fibras.

F - Espessura da parede das fibras.

G - Contração volumétrica total.

H - Massa específica básica.

I - Teor de umidade inicial.

J - Taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade.

L - Taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade.

M - Taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade.

N - Tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade.

O - Tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade.

P - Tempo de 30% até 12% de teor de umidade.

O diâmetro total máximo das fibras apresentou correlações significativas e consideráveis com a largura do lúmen das fibras (0,667) e a espessura da parede das fibras (0,423). Ambos os valores são diretamente proporcionais, indicando que quanto maior o diâmetro total máximo das fibras, maiores a largura do lúmen e a espessura da parede. Deomano (1995) registra valores de coeficientes de correlação de 0,98 e de 0,29, respectivamente, para largura do lúmen e para a espessura da parede, sendo o primeiro valor superior ao determinado nesta pesquisa e o segundo, inferior.

4.4.2 Correlações entre as características físicas

A contração volumétrica total apresentou correlação significativa com a massa específica básica (0,493). Segundo Alipon e Tamayo (1997), Stamm (1964) e Brown *et al.* (1952), espécies que têm contração volumétrica elevada apresentam massa específica também elevada. Embora essa relação tenha sido confirmada pelo coeficiente de correlação determinado neste trabalho, esperava-se que esse valor fosse mais expressivo. Entretanto, Alipon e Tamayo (1997) ressaltam que essa relação pode ser mascarada pela presença de grandes quantidades de extrativos, que servem de agente preenchedor dos espaços presentes na parede celular, capazes de reduzir as alterações dimensionais esperadas para determinados valores de massa específica.

4.4.3 Correlações entre as características de secagem

O teor de umidade inicial apresentou correlações significativas com o tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (0,727), a taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (0,682) e o tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (-0,648). Deomano (1995) relata coeficiente de correlação de 0,78 entre o teor de umidade inicial e o tempo total de secagem, o que não foi observado neste trabalho. De acordo com Milota, Morrell e Lebow (1993), espécies com altos teores de umidade inicial também apresentam altas taxas de secagem no início do processo. Casin *et al.* (1979) salientam que espécies com alto teor de umidade inicial levarão mais tempo para secar no começo do processo. Essa relação pode ser observada neste trabalho ao analisarmos o coeficiente de correlação do TUI com o tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade. Na secagem realizada em temperaturas de 20°C,

50°C, 80°C e 120°C com duas espécies de coníferas, Muñiz (1993) verificou que, quanto mais elevado o teor de umidade inicial, maior a taxa de secagem.

A taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade apresentou fortes correlações com a taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (0,824), o tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (-0,782) e a taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (0,631). Essas relações indicam que quanto maior a taxa de secagem total, do estado saturado até 12% de teor de umidade, maiores as taxas de secagem tanto acima como abaixo do PSF, sendo que, a taxa de secagem abaixo do PSF exerceu maior influência na taxa de secagem total. Assim, quanto maior a taxa de secagem total, maior a taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade e, conseqüentemente, menor o tempo de secagem abaixo do PSF.

A taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade apresentou correlações com o tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (-0,612), a taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (0,593) e o tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (-0,409). Quanto maior a taxa de secagem acima do PSF, ou seja, quanto maior a velocidade de saída da água livre, menor o tempo de secagem necessário para a remoção desse tipo de água, causando redução do tempo de secagem total, do estado saturado até 12% de teor de umidade. Quanto maior a taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade, maior a taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade, indicando que as madeiras que apresentaram maior velocidade de remoção de água livre também apresentaram uma maior velocidade de remoção de água presa.

A taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade apresentou correlações com o tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (-0,709) e com o tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (-0,447). Essas relações indicam que quanto maior a velocidade de saída da água presa, menor o tempo de secagem abaixo do PSF e menor, conseqüentemente, o tempo de secagem total, do estado saturado até 12% de teor de umidade.

De uma maneira geral, observa-se que o tempo de secagem total foi influenciado pelas taxas de secagem apresentadas pelas madeiras tanto acima como abaixo do PSF, sendo que a influência da taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade foi maior.

Além das correlações já mencionadas com as taxas de secagem, o tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade apresentou forte correlação com o tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (0,803), indicando que quanto maior o tempo de secagem para a retirada de água livre, maior o tempo de secagem total. Isso é explicado pelo fato de o intervalo de teor de umidade do estado saturado até 12% ser variável para as espécies. Dessa forma, madeiras com maiores valores de TUI necessitam de um maior tempo para a retirada de água livre do que aquelas com menores valores de TUI, acarretando aumento do tempo de secagem total.

4.4.4 Correlações entre as características anatômicas e as características físicas

A massa específica básica apresentou valores de coeficientes de correlação significativos e consideráveis com a largura do lúmen das fibras (-0,768), o diâmetro total das fibras (-0,573) e o diâmetro tangencial dos poros (-0,527). Esses valores indicam que, quanto maior a massa específica básica, menores a largura do lúmen das fibras, o diâmetro total máximo das fibras e o diâmetro tangencial dos poros. De acordo com Panshin e De Zeeuw (1970), se as fibras possuem paredes espessas e lumens pequenos, então a quantidade total de espaços vazios é relativamente pequena, e a massa específica tende a ser alta; por outro lado, se as fibras possuem paredes finas, lumens largos ou ambos, a massa específica será baixa. Deomano (1995) relata valores de coeficientes de correlação superiores de -0,80 para a largura do lúmen das fibras, de -0,81 para o diâmetro total máximo das fibras e de 0,61 para o diâmetro tangencial dos poros, sendo que, para esta última característica, o valor do coeficiente de correlação foi positivo e contrário ao obtido nesta pesquisa.

A contração volumétrica total apresentou correlação com a espessura da parede das fibras (0,461), indicando que, quanto mais espessa a parede da fibra, maior a contração. Panshin e De Zeeuw (1970) afirmam que a contração volumétrica está diretamente relacionada com a espessura da parede das células, que, por sua vez, é controlada principalmente pela proporção entre os diversos tipos de tecido que compõem a madeira. Bello (1997)

observou, em algumas espécies das Filipinas, que, quanto mais espessa a parede, maior a contração volumétrica.

4.4.5 Correlações entre as características anatômicas e as características de secagem

O diâmetro tangencial dos poros apresentou correlações com o teor de umidade inicial (0,465), o tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (-0,433) e o tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (0,411). É interessante observar os coeficientes de correlação do diâmetro dos poros com os tempos de secagem acima do PSF, do estado saturado até 30% de teor de umidade, e abaixo do PSF, de 30% até 12% de teor de umidade. Acima do PSF essa relação é positiva, indicando que, quanto maior o diâmetro dos poros, maior o tempo de secagem. Poros com diâmetros tangenciais maiores implicam elementos de vasos também com lumens maiores, capazes de comportar maior quantidade de água livre, necessitando de maior tempo para sua retirada. Abaixo do PSF a relação do diâmetro dos poros com o tempo de secagem passa a ser negativa, ou seja, quanto maior o diâmetro dos poros, menor a quantidade de substância madeira e, conseqüentemente, menor quantidade de água presa nas paredes celulares, levando a um menor tempo de secagem. Deomano (1995) menciona valores de coeficientes de correlação entre o diâmetro dos poros e o teor de umidade inicial e o tempo de secagem total de, respectivamente, -0,49 e -0,26.

Em geral, os coeficientes de correlação apresentados para a razão entre a freqüência de poros obstruídos e a freqüência de poros e as demais características estudadas, embora significativos, foram baixos. Isso pode ser explicado pelo fato de a razão ser o resultado da divisão entre duas características, sendo uma delas a freqüência de poros, que foi analisada individualmente e também apresentou baixos coeficientes de correlação. De acordo com Thomas (1976), a efetividade dos vasos para o transporte de líquidos depende do tamanho, número, distribuição e, principalmente, das substâncias incrustantes e tilos, e Simpson (1991) afirma que o movimento de umidade através dos vasos pode ser impedido ou grandemente retardado pela presença de tilos. O objetivo de se utilizar a razão entre a freqüência de poros obstruídos e a freqüência de poros era ter uma medida que pudesse traduzir a influência dessas obstruções para o movimento de umidade tanto acima como abaixo do PSF. Entretanto, esse objetivo não foi alcançado, e outras formas de determinar essas interferências devem ser pesquisadas.

O diâmetro total máximo das fibras apresentou correlações com o tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (0,588), o teor de umidade inicial (0,494) e o tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (0,458). De acordo com esses valores, quanto maior o diâmetro total máximo das fibras, maiores o tempo de secagem acima do PSF, o teor de umidade inicial e o tempo de secagem total, do estado saturado até 12% de teor de umidade. Fibras com diâmetros maiores podem armazenar mais água tanto nos lumens como nas paredes, levando a um maior TUI e aumentando o tempo de secagem acima do PSF e, conseqüentemente, o tempo de secagem total. Para o teor de umidade inicial, Deomano (1995) menciona valor de coeficiente de correlação de 0,24, bem inferior ao encontrado neste estudo.

A largura do lúmen das fibras apresentou correlações significativas com o teor de umidade inicial (0,791), o tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (0,635), a taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (0,452), o tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (-0,428) e o tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (0,408). Fibras com lumens mais largos podem comportar mais água livre, aumentando o TUI. Dessa forma, o tempo de secagem acima do PSF aumentou, causando também um aumento no tempo de secagem total. Por outro lado, abaixo do PSF, o tempo de secagem foi menor, uma vez que as fibras com lumens mais largos geralmente têm as paredes mais finas e, por essa razão, contêm menos água presa. Com relação à taxa de secagem total, do estado saturado até 12% de teor de umidade, quanto maior a largura do lúmen, maior a velocidade de secagem e mais rápida a retirada de água da madeira. Para o teor de umidade inicial, Deomano (1995) relata valor de coeficiente de correlação de 0,34, bastante inferior ao determinado neste trabalho.

Deomano (1995), em estudo com três espécies de folhosas das Filipinas, relata valores de coeficientes de correlação da espessura da parede das fibras com o tempo de secagem e com o teor de umidade inicial de, respectivamente, -0,42 e de -0,38. Entretanto, neste trabalho, essas correlações não foram observadas.

4.4.6 Correlações entre as características físicas e as características de secagem

A massa específica básica foi a característica que mais apresentou correlações significativas e consideráveis com as demais, destacando-se o teor de umidade inicial

(-0,944), o tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (-0,833), a taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (-0,611), o tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (0,598) e o tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (-0,479). O valor do coeficiente de correlação entre a massa específica básica e o teor de umidade inicial foi o mais alto obtido neste trabalho. Essa relação pode ser constatada nos dados apresentados nas Tabelas 4.3 e 4.4. Observa-se que as madeiras mais densas são as que apresentam os menores valores de teor de umidade inicial e vice-versa. Essa relação também foi confirmada por Simpson e Baah (1989) e por Simpson e Sagoe (1991). De acordo com esses autores, essa relação tornava possível determinar combinações de massa específica e teor de umidade inicial que resultavam em tempos de secagem semelhantes, permitindo o agrupamento de espécies. Martins (1988) e Ponce e Watai (1985) comentam que as madeiras mais densas requerem mais tempo para secar e tendem a apresentar mais defeitos. Entretanto, Casin *et al.* (1979) e Andrade, Jankowsky e Ducatti (2001) afirmam que a massa específica básica não deve ser considerada isoladamente para a indicação de programas de secagem e agrupamento de espécies, uma vez que ela não foi capaz de explicar sozinha todas as variações observadas em sua pesquisa. Os autores concluem que outros fatores, além da massa específica, afetam o comportamento da madeira em relação à secagem e supõem que as diferenças observadas nas taxas de secagem entre espécies de massas específicas básicas similares são decorrentes de diferenças na estrutura anatômica e, conseqüentemente, da permeabilidade da madeira. Zhang, Oliveira e Avramidis (1996) afirmam que, quanto maior a massa específica, menor é a taxa de secagem, o que pode ser constatado pelo coeficiente de correlação de -0,611 obtido neste trabalho. Os autores também afirmam que, quanto menor a massa específica, menor o tempo de secagem. Neste trabalho observa-se que, acima do PSF, essa relação torna-se inversa, ou seja, quanto menor a massa específica, maior o tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade. As madeiras menos densas possuem uma maior quantidade de água livre nos lumens e espaços intercelulares que, durante a secagem, necessitam de mais tempo para ser retirada. Abaixo do PSF, essa relação é direta, indicando que, quanto maior a massa específica básica, maior o tempo de secagem, uma vez que madeiras mais densas possuem células de paredes mais espessas e maior quantidade de água presa, cuja remoção se dá de forma mais lenta, por difusão.

A contração volumétrica total apresentou correlações com o teor de umidade inicial (-0,485) e o tempo de secagem de 30% até 12% (0,415), indicando que madeiras com

maiores valores de contração volumétrica total apresentaram valores mais baixos de TUI e valores mais altos para o tempo de secagem abaixo do PSF. A contração é resultante da remoção de água presa abaixo do PSF, e, de acordo com Simpson (1991), esse tipo de água é mais difícil de ser retirada, levando mais tempo para a madeira secar de 30% até 12% de teor de umidade. As madeiras com valores mais baixos de TUI também foram aquelas que apresentaram valores mais altos de massa específica. Dessa forma, pode-se afirmar que as madeiras com maiores valores de contração foram também as que apresentaram maiores valores de massa específica. As fibras, segundo Panshin e De Zeeuw (1970), são particularmente importantes para a determinação da massa específica, pois se elas possuem paredes espessas e lumens pequenos, então a quantidade total de espaços vazios é relativamente pequena e a massa específica tende a ser alta. Por outro lado, se as fibras possuem paredes finas, lumens largos ou ambos, a massa específica será baixa. Bello (1997), ao estudar 80 espécies de madeira das Filipinas, constatou haver correlação direta e muito forte entre a massa específica e a contração volumétrica. O autor observou ainda que quanto mais espessa a parede celular, maior é a contração volumétrica. Na Tabela 4.1, observa-se que a espécie *Acioa edulis* foi a que apresentou fibras de parede mais espessa e, na Tabela 4.3, também a que apresentou maior valor de contração volumétrica.

4.5 Estimativa do tempo de secagem

Os dados das características anatômicas e físicas foram utilizados para estimar os tempos de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade, do estado saturado até 30% de teor de umidade e de 30% até 12% de teor de umidade.

Foram estimadas curvas de regressão para os modelos linear, logarítmico, quadrático, cúbico e exponencial. Inicialmente, os modelos quadrático e cúbico foram os que apresentaram os melhores valores de R^2 para as variáveis estudadas, tendo-se optado pelo modelo quadrático, uma vez que Deomano (1995) verificou ter sido esse o melhor modelo para estimar o tempo de secagem de três espécies de madeira de folhosas das Filipinas. Entretanto, após a transformação dos dados, observou-se que o modelo quadrático era muito semelhante ao modelo linear, e, por essa razão, optou-se por este último.

A Tabela 4.6 apresenta as características anatômicas e físicas que apresentaram valores de R^2 significativos, de acordo com o método de análise *stepwise*, para os modelos de

regressão linear múltipla indicados para estimar o tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade, do estado saturado até 30% de teor de umidade e de 30% até 12% de teor de umidade.

Tabela 4.6 – Valores dos coeficientes da regressão e de determinação das variáveis físicas e anatômicas selecionadas pelo método *stepwise* para estimar o tempo de secagem.

Tempo de secagem	Variáveis	Coefficientes da regressão	R²
Do estado saturado até 12% de teor de umidade	Constante	472,882	-
	Massa específica básica	-352,597	0,229
	Teor de umidade inicial	-0,913	0,366
	Diâmetro tangencial dos poros	-260,393	0,434
	Diâmetro total máximo das fibras	1,404	0,447
	Frequência de poros	-1,345	0,475
Do estado saturado até 30% de teor de umidade	Constante	314,136	-
	Massa específica básica	-292,821	0,694
	Teor de umidade inicial	-0,430	0,726
	Diâmetro total máximo das fibras	0,799	0,737
	Diâmetro tangencial dos poros	-109,012	0,744
	Frequência de poros	-0,643	0,751
De 30% até 12% de teor de umidade	Constante	92,718	-
	Teor de umidade inicial	-0,357	0,420
	Diâmetro tangencial dos poros	-57,076	0,442
	Largura do lúmen das fibras	0,703	0,463

Observa-se que as variáveis significativas para os modelos capazes de estimar os tempos de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade e do estado saturado até 30% de teor de umidade são as mesmas, sendo que, no segundo caso, os coeficientes de determinação são bem maiores. A massa específica é a variável mais importante, sendo que, no primeiro caso, contribui com 22,9% para explicar a variabilidade do tempo de secagem e, no segundo caso, essa variável contribui com 69,4%. Dessa forma, quanto maior a massa específica, maior o tempo de secagem.

Os maiores coeficientes de determinação foram obtidos para o tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade, indicando que esse foi o modelo que melhor se ajustou aos dados.

As Equações 4.1, 4.2 e 4.3 representam os modelos de regressão linear múltipla capazes de estimar os tempos de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade, do estado saturado até 30% de teor de umidade e de 30% até 12% de teor de umidade.

$$TS_{SAT-12\%} = 472,882 - 352,597(ME_b) - 0,913(TUI) - 260,393(DTF) + 1,404(DTP) - 1,345(FP) \quad (4.1)$$

$$TS_{SAT-30\%} = 314,136 - 292,821(ME_b) - 0,430(TUI) + 0,799(DTP) - 109,012(DTF) - 0,643(FP) \quad (4.2)$$

$$TS_{30\%-12\%} = 92,718 - 0,357(TUI) - 57,076(DTP) + 0,703(LLF) \quad (4.3)$$

Onde:

$TS_{SAT-12\%}$ é o tempo de secagem total, do estado saturado até 12% de teor de umidade, em horas;

$TS_{SAT-30\%}$ é o tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade, em horas,

$TS_{30\%-12\%}$ é o tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade, em horas;

ME_b é a massa específica básica, em gramas por centímetro cúbico;

TUI é o teor de umidade inicial, em porcentagem;

DTP é o diâmetro tangencial dos poros, em micrometros;

DTF é o diâmetro total máximo das fibras, em micrometros;

FP é a frequência dos poros, em número de poros por milímetro quadrado;

LLF é a largura do lúmen das fibras, em micrometros.

Observa-se, na Tabela 4.6, que as variáveis envolvidas nas Equações 4.1, para estimar o tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade, e 4.2, para estimar o tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade, são as mesmas. Entretanto, na Equação 4.3, para estimar o tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade, as variáveis que permanecem são TUI e DTP , tendo sido acrescida LLF . A variável ME_b , embora tenha apresentado um coeficiente de correlação de 0,598 com o tempo de secagem de 30% a 12% de teor de umidade, não aparece no modelo ajustado pelo método *stepwise*.

A Tabela 4.7 apresenta a análise de variância das equações melhor ajustadas para estimar os tempos de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade, do estado saturado até 30% de teor de umidade e de 30% até 12% de teor de umidade.

Tabela 4.7 – Análise de variância dos modelos para estimar os tempos de secagem das 41 espécies de madeiras estudadas.

Tempos de secagem	Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Valor de F	Probabilidade
Do estado saturado até 12%	Regressão	94884,988	5	18976,998	28,978	0,000*
	Resíduo	104779,497	160	654,872		
	Total	199664,484	165	-		
Do estado saturado até 30%	Regressão	153840,017	5	30768,003	96,364	0,000*
	Resíduo	51086,557	160	319,291		
	Total	204926,574	165	-		
De 30% a 12% de teor de umidade	Regressão	36492,620	3	12164,207	46,588	0,000*
	Resíduo	42298,333	162	261,101		
	Total	78790,953	165	-		

* Significativo no nível de 5% de probabilidade.

Deomano (1995), com o objetivo de estimar o tempo de secagem total para três espécies de folhosas das Filipinas, utilizou a seguinte equação de regressão: $DT = 418,182 - 41629,300(FD) + 523795,652(FD^2) + 45426,120(LW) - 789042,300(LW^2) + 777,920(SG) - 973,488(SG^2) - 4,862(IMC) + 0,240(IMC^2)$, em que DT é o tempo de secagem, FD é o diâmetro das fibras, LW é a largura do lúmen, SG é a massa específica básica e IMC é o teor de umidade inicial. O R^2 desse modelo foi de 0,788, e teor de umidade inicial, segundo o autor, foi a variável mais importante para explicar o tempo de secagem. Além dessas características, Deomano (1995) determinou, também, a espessura da parede das fibras, a largura dos vasos, o diâmetro dos poros e as pontuações intervasculares, mas essas características foram eliminadas do modelo de regressão.

Bello e Taguiling (1997), para estimar o tempo de secagem do estado saturado até 10% de teor de umidade, utilizaram a seguinte equação de regressão: $DT = 352,2502(SG) + 0,5125(IMC) - 1767,1849(LW)$, em que DT é o tempo de secagem, SG é a massa específica básica, IMC é o teor de umidade inicial e LW é a largura do lúmen. A equação foi determinada com base nos dados referentes a seis espécies de folhosas das Filipinas, e o R^2 foi de 0,9781.

Deve-se observar que, embora Deomano (1995) e Bello e Taguiling (1997) tenham obtido altos valores de R^2 , o número de espécies utilizado foi bastante reduzido. Neste trabalho, como foram utilizadas 41 espécies, observou-se uma ampla variação nas frequências das características determinadas (Apêndice C), o que pode ter contribuído para os baixos valores de R^2 . Entretanto, acredita-se que, uma vez que as Equações 4.1, 4.2 e 4.3 foram

elaboradas com base em dados de uma amostra mais representativa de uma população tão diversificada, como é a de espécies tropicais amazônicas, as estimativas dos tempos de secagem podem ser mais próximas da realidade.

Embora nem todas as características anatômicas e físicas determinadas tenham sido incluídas nas equações propostas neste trabalho para estimar os tempos de secagem de madeiras de folhosas da Amazônia, isso não significa que essas características não exerçam qualquer interferência no processo e, conseqüentemente, nos tempos de secagem. Além disso, existem outras características que não foram estudadas, tais como altura e largura de raios, direção da grã, textura, razão e diferença entre contrações tangencial e radial, entre outras, que podem influenciar no tempo de secagem.

4.6 Agrupamento das espécies

A Tabela 4.8 apresenta os grupos de espécies formados pela análise de cluster, para as taxas de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade, do estado saturado até 30% de teor de umidade e de 30% até 12% de teor de umidade. Para as três taxas de secagem determinadas, as espécies foram divididas em quatro grupos, classificados da seguinte forma:

- a) grupo 1 – madeiras de secagem muito difícil;
- b) grupo 2 – madeiras de secagem difícil;
- c) grupo 3 – madeiras de secagem fácil;
- d) grupo 4 – madeiras de secagem muito fácil.

Bello e Taguiling (1997) agruparam 54 espécies de madeiras das Filipinas em fáceis de secar, moderadamente difíceis de secar e muito difíceis de secar. O critério para a classificação das espécies também foi a taxa de secagem, mas os autores só consideraram a taxa total, do estado saturado até 10% de teor de umidade, tendo sido determinada pela diferença entre o teor de umidade inicial e o teor de umidade final de 10% dividida pelo tempo de secagem.

Neste estudo, o agrupamento das espécies também foi feito com base na taxa de secagem total, do estado saturado até 12% de teor de umidade, mas, adicionalmente, foram

Tabela 4.8 – Agrupamento das 41 espécies de madeira estudadas, de acordo com as taxas de secagem determinadas.

Estado saturado até 12% de teor de umidade			Estado saturado até 30% de teor de umidade			30% até 12% de teor de umidade		
Grupo	Taxa g/h.cm ²	Espécie	Grupo	Taxa g/h.cm ²	Espécie	Grupo	Taxa g/h.cm ²	Espécie
1	2,3576E-04	41	1	4,2196E-04	41	1	1,2130E-04	41
1	3,6024E-04	7	1	5,2756E-04	21	1	2,1752E-04	7
1	4,0743E-04	25	1	5,4945E-04	37	1	2,4308E-04	25
2	4,5992E-04	37	1	5,5700E-04	25	1	2,6496E-04	11
2	4,7617E-04	21	1	5,7094E-04	39	1	2,6950E-04	22
2	4,8852E-04	1	1	5,7858E-04	28	1	2,8373E-04	34
2	4,9041E-04	28	1	6,0062E-04	34	2	3,0326E-04	27
2	4,9104E-04	22	1	6,3130E-04	7	2	3,1316E-04	37
2	4,9279E-04	34	1	6,7561E-04	22	2	3,2114E-04	10
2	4,9572E-04	11	2	6,9040E-04	1	2	3,2126E-04	19
2	5,0188E-04	35	2	7,2180E-04	5	2	3,2492E-04	18
2	5,0800E-04	15	2	7,4589E-04	8	2	3,4270E-04	28
2	5,2855E-04	18	2	7,4964E-04	18	2	3,4323E-04	40
2	5,3274E-04	39	2	7,5244E-04	11	2	3,5358E-04	8
2	5,3381E-04	24	2	7,8202E-04	19	2	3,5621E-04	15
2	5,4652E-04	40	2	7,8582E-04	15	2	3,6262E-04	5
2	5,5973E-04	19	2	7,9681E-04	26	2	3,6298E-04	1
2	5,7724E-04	5	2	7,9938E-04	14	3	3,7707E-04	35
2	5,9058E-04	32	2	8,0193E-04	20	3	3,7728E-04	24
2	6,0182E-04	8	2	8,3521E-04	2	3	3,8070E-04	21
3	6,3330E-04	17	2	8,4097E-04	6	3	3,8817E-04	9
3	6,3758E-04	36	2	8,6504E-04	24	3	4,0301E-04	32
3	6,4576E-04	26	2	8,7216E-04	36	3	4,1036E-04	39
3	6,5551E-04	31	2	8,7244E-04	9	3	4,2333E-04	14
3	6,7081E-04	14	2	9,0181E-04	31	4	4,4809E-04	36
3	6,8317E-04	6	3	9,3078E-04	29	4	4,5123E-04	33
3	6,8600E-04	33	3	9,5510E-04	33	4	4,5472E-04	12
3	6,8662E-04	9	3	9,6181E-04	32	4	4,5605E-04	2
3	6,8838E-04	10	3	9,6895E-04	16	4	4,6251E-04	13
3	6,8906E-04	27	3	9,7105E-04	38	4	4,6716E-04	20
3	6,9336E-04	20	3	9,7760E-04	3	4	4,7050E-04	31
3	7,3277E-04	2	3	9,9027E-04	27	4	4,7106E-04	17
3	7,3445E-04	16	3	9,9327E-04	10	4	4,8315E-04	4
3	7,4722E-04	23	3	9,9437E-04	40	4	4,8769E-04	26
3	7,9527E-04	38	3	1,0039E-03	12	4	4,9576E-04	29
4	8,1717E-04	29	3	1,0073E-03	35	4	5,0149E-04	6
4	8,8275E-04	13	3	1,0212E-03	30	4	5,0241E-04	23
4	8,8530E-04	3	3	1,0433E-03	13	4	5,0531E-04	3
4	8,9912E-04	12	3	1,0595E-03	4	4	5,0976E-04	16
4	9,1312E-04	4	3	1,0635E-03	23	4	5,1975E-04	30
4	9,3211E-04	30	4	1,5215E-03	17	4	5,3146E-04	38

consideradas as taxas de secagem tanto acima como abaixo do ponto de saturação das fibras. É interessante observar na Tabela 4.8 que os grupos de espécies não são os mesmos para cada taxa de secagem determinada. Analisando-se o grupo 4, formado por espécies de madeira classificadas como de secagem muito fácil para a taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade, vê-se que, para a taxa de secagem do estado saturado

até 30% de teor de umidade, essas madeiras passam a ser do grupo 3, classificadas como de secagem fácil. Isso indica que, para essas espécies, a saída de água acima do PSF é mais lenta, e a secagem, quando realizada em estufa convencional, deve ser conduzida com cautela. Considerando-se a taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade, ou seja, abaixo do PSF, observa-se que essas espécies voltam a ser do grupo 4, sendo classificadas novamente como de secagem muito fácil.

Das 54 espécies estudadas por Bello e Taguiling (1997), apenas *Cedrela odorata* faz parte deste estudo. Comparando-se ambos os resultados, observa-se que os autores a classificaram como fácil de secar, enquanto neste trabalho a madeira dessa espécie foi classificada como de secagem muito fácil. Observa-se que, mesmo tendo sido utilizadas metodologias diferentes, a espécie foi classificada de forma muito próxima em ambos os trabalhos.

Louzada, Marcos e Silva (2002), em trabalho realizado para avaliar o comportamento da madeira de 14 espécies de folhosas submetidas à secagem em estufa, classificaram *Dipteryx odorata*, *Tabebuia serratifolia* e *Manilkara bidentata* como espécies densas, com taxas de secagem lentas, e reuniram-nas em um primeiro grupo. A madeira da espécie *Caryocar glabrum* foi classificada como de secagem intermediária, ficando em um segundo grupo. Neste trabalho também foi estudada a espécie *Dipteryx odorata*, além de outras três espécies de mesmo gênero das estudadas por Louzada, Marcos e Silva (2003), que são *Caryocar glabrum*, de massa específica média, *Manilkara huberi* e *Tabebuia incana*, de massa específica alta. Para a secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade, *M. huberi* e *T. incana* encontram-se no grupo 2, das madeiras moderadamente difíceis de secar, e *D. odorata* e *C. glabrum*, no grupo 3, das madeiras moderadamente fáceis de secar. Para a secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade, *M. huberi* continua no grupo 2, *C. glabrum* continua no grupo 3, mas *T. incana* passa a ser do grupo 3 e *D. odorata* passa do grupo 3 para o grupo 4, das madeiras fáceis de secar. Para a secagem de 30% a 12% de teor de umidade, *D. odorata* continua no grupo 4, *M. huberi* e *T. incana* passam para o grupo 3 e *C. glabrum* passa para o grupo 2. Se considerarmos a secagem total, do estado saturado até o teor de umidade final, observam-se semelhanças na classificação das espécies com relação à secagem. Entretanto, quando se analisa a secagem acima e abaixo do PSF, as madeiras dessas espécies apresentam comportamentos de secagem diferenciados, sendo classificadas em diferentes grupos. A umidade, de acordo

com Choong e Fogg (1968), se move na madeira na forma de vapor, nos espaços vazios, e na forma de água presa, nas paredes celulares, e qualquer variação nas taxas de secagem podem ser atribuídas às variações nas características anatômicas, assim como no teor de umidade e na massa específica.

Torna-se evidente que o sistema proposto possibilita tanto o agrupamento de espécies com teores de umidade inicial próximos ao estado saturado quanto daquelas espécies que tenham sido submetidas à pré-secagem e cujos teores de umidade não correspondam mais àqueles do estado saturado. Assim, espécies com teores de umidade próximos ao PSF podem ser agrupadas utilizando-se a classificação da taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade.

Novas espécies poderão ser classificadas e adicionadas a um dos quatro grupos estabelecidos neste estudo, desde que tenham suas taxas de secagem determinadas com base nos tempos estimados pelos modelos de regressão múltipla propostos no Item 4.5. Deve-se ressaltar que as taxas estimadas refletirão as condições de secagem adotadas neste trabalho.

Apesar de não ter sido testado na prática e de não considerar os defeitos, este sistema de agrupamento pode ser utilizado como uma primeira tentativa de separar espécies e agrupá-las pela taxa de secagem. Em uma segunda etapa, os grupos formados devem ser analisados com relação à tendência das espécies que os compõem a apresentar defeitos como rachaduras e empenos.

É importante lembrar que, independentemente do método de agrupamento proposto, a secagem conjunta de diversas espécies deve ser sempre conduzida com cautela e controlada pela espécie que apresente maior dificuldade de secagem, ou seja, por aquela que possua a menor taxa de secagem e a maior tendência a apresentar defeitos.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os coeficientes de correlação obtidos, observou-se que a largura do lúmen das fibras foi a característica anatômica que mais se correlacionou com as características de secagem – teor de umidade inicial, taxa e tempo de secagem.

A relação entre a massa específica básica e o teor de umidade inicial foi a que apresentou o maior valor de coeficiente de correlação ($-0,944$).

Apesar de as demais características anatômicas e físicas investigadas neste estudo terem apresentado valores mais baixos, embora significativos, de coeficientes de correlação, não se pode afirmar que elas não interferem no processo e nos tempos de secagem; de fato outras características, como altura e largura dos raios, direção da grã, textura, contração tangencial e radial, razão de contração, podem também interferir na secagem, devendo ser investigadas em estudos posteriores.

Os tempos de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade, do estado saturado até 30% de teor de umidade e de 30% até 12% de teor de umidade podem ser estimados pelas equações de regressão linear múltipla elaboradas com base nas características anatômicas e físicas determinadas neste estudo. Dessa forma, pôde-se constatar ser verdadeira a hipótese de que as propriedades anatômicas e físicas são determinantes do comportamento da madeira na secagem, de modo que as espécies podem ser agrupadas e submetidas a um mesmo programa de secagem. Deve-se ressaltar que os tempos de secagem podem ser estimados para qualquer outra espécie, desde que observadas as condições de temperatura e umidade relativa do ar em que a secagem foi conduzida nesta pesquisa. Recomenda-se a realização de estudos em outras condições de secagem, de modo a verificar a validade das relações estabelecidas pelas equações de regressão elaboradas neste trabalho.

As equações capazes de estimar os tempos de secagem apresentaram valores significativos no nível de 5% de probabilidade para o coeficiente de determinação (R^2). Entretanto, esses valores foram considerados baixos, constituindo-se um reflexo do grande número de espécies utilizado para o estudo e da grande variabilidade existente entre as espécies.

Como tentativa de reduzir essa variabilidade, sugere-se que a análise seja feita para grupos de espécies pré-classificadas pela massa específica. Dessa forma, coeficientes de determinação mais altos podem ser obtidos, resultando em estimativas de tempo mais precisas.

De acordo com a taxa de secagem, as espécies foram classificadas e reunidas em quatro grupos, e, em princípio, as espécies pertencentes a um mesmo grupo podem ser submetidas à secagem conjunta utilizando-se um programa de secagem adequado. Novas espécies poderão ser classificadas e adicionadas a um desses quatro grupos, desde que tenham suas taxas de secagem determinadas com base nos tempos estimados pelos modelos de regressão múltipla propostos.

O método de agrupamento de espécies de madeira para secagem desenvolvido poderá contribuir para aprimorar os estudos de secagem, substituindo os tradicionais trabalhos de caracterização e desenvolvimento de programas de secagem próprios para cada espécie. Além disso, poderá promover a utilização e introdução no mercado de espécies menos aceitas, utilizadas e conhecidas, cujas características de secagem ainda não foram determinadas.

Entretanto, deve-se salientar que o método de agrupamento proposto é teórico e não leva em conta a análise de defeitos, devendo ser, portanto, aprimorado, bem como verificada na prática a aplicabilidade dos modelos elaborados. Para tanto, recomenda-se avaliar a existência de relação entre as taxas e os defeitos de secagem, ou seja, se as espécies que apresentaram as menores taxas são as que apresentarão maior tendência a defeitos quando submetidas à secagem.

Trabalhos futuros poderão verificar a utilização da contração volumétrica total ou de outros tipos de contração como uma medida quantitativa dos defeitos, uma vez que foi observada uma correlação positiva da contração volumétrica total com o tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade, ou seja, na faixa higroscópica, que é quando os defeitos de secagem se manifestam, em decorrência das contrações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alipon, M. A.; Floresca, A. R.; Tamolang, F. B.; Cabral, Z. L. **Shrinkage characteristics of Philippine timbers**. Laguna: FPRDI Library, 1996.
- Alipon, M. A.; Tamayo, G. Y. Interrelationships among shrinkage properties, seasoning and relative density in Philippine timbers. **FPRDI Journal**, v. 23, n. 2, p. 1-13, 1997.
- Andrade, A. de. **Indicação de programas para a secagem convencional de madeiras**. 2000. 72 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Andrade, A. de; Jankowsky, I. P; Ducatti, M. A. Grupamento de madeiras para secagem convencional. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 89-99, 2001.
- Andrade, A. de; Jankowsky, I. P; Marques, M. H. B.; Ducatti, M. A. Alternativas de grupamento de madeiras tropicais para a secagem convencional. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE COMPENSADO E MADEIRA TROPICAL, 5., 2001, Belém. **Anais**. Belém: Abinmci/Aimex/Fiepa, 2001.
- Avanzado, M. B.; Rocafort, J. E. **Shrinkage-specific gravity relationships for Philippine Wood Species**. Philippines: Forest Products Research Institute, College, Laguna, 1968. (Final Report).
- Avramidis, S.; Oliveira, L. Influence of presteaming on kiln-drying of thick hem-fir lumber. **Forest Products Journal**, v. 43, n. 11/12, p. 7-12, 1993.
- Bello, E. D. Specific gravity-volumetric shrinkage relationship of some Philippines wood species. **FPRDI Journal**, v. 23, n. 2, p. 15-30, 1997.
- Bello, E. D.; Taguiling, N. K. A method for grouping wood species for kiln drying based on some physical and anatomical properties. **FPRDI Journal**, v. 23, n. 2, p. 31-41, jul./dec. 1997.
- Bramhall, G. Semi-empirical method to calculate kiln schedule modification for some lumber species. **Wood Science**, v. 8, n. 4, p. 213-222, 1976.
- Bramhall, G.; Wellwood, R. W. **Kiln drying of western Canadian lumber**. Vancouver: Fisheries and Environment Canada/Environmental Management Service, 1976. 112 p. il.
- Brown, H. P.; Panshin, A. J.; Forsaith, C. C. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill, 1952. 2 v. 384 p. il.
- Casin, R. F.; Laxamana, M. G.; Tamayo Jr., G. Y. Kiln-drying schedules of some Philippine commercial wood species. College, Laguna: Forest Products Research and Development Institute, 1979. 21 p. (FPRDI. Wood Preservation Tech. Publ., WPD - 2).

- Choong, E. T.; Fogg, P. J. Moisture movement in six wood species. **Forest Products Journal**, v. 18, n. 5, p. 66-70, 1968.
- Comisión Panamericana de Normas Técnicas. **Maderas: método de determinación de la contracción**. Buenos Aires: COPANT, 1972a. 462. 5 p.
- Comisión Panamericana de Normas Técnicas. **Maderas: método de determinación del peso específico aparente**. Buenos Aires: COPANT, 1972b. 464. 5 p.
- Coradin, V. T. R.; Camargos, J. A. A. **A estrutura anatômica da madeira e princípios para a sua identificação**. Brasília: LPF, 2002. 28 p. il.
- Denig, J.; Wengert, E. M.; Simpson, W. T. **Drying hardwood lumber**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2000. 138 p. il. (General Technical Report. FPL-GTR-118).
- Deomano, E. C. **Influence of some anatomical structures and physical properties on the drying rates of selected industrial tree plantation species**. 1995. 111 p. MS Thesis (Master of Science) – Wood Science Technology Department, UPLB College of Forestry, Los Baños.
- Desch, H. E.; Dinwoodie, J. M. **Timber: its structure, properties and utilisation**. 6 ed. London: Macmillan Education, 1981. 410 p. il.
- Dinwoodie, J. M. **Timber: its nature and behaviour**. Wokingham, Berkshire: Van Nostrand Reinhold, 1981. 190 p. il.
- Durand, P. Y. Contribution à l'étude de la détermination des tables de séchage à partir des caractères physiques du bois. **Revue Bois et Forêts des Tropiques**, n. 207, 1985.
- Eaton, R. A.; Hale, M. D. C. **Wood: decay, pests and protection**. London: Chapman & Hall, 1993. 546 p. il.
- Galvão, A. P. M.; Jankowsky, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111 p. il.
- Hart, C. A.; Darwin Jr., W. M. The slow drying rate of white oak. **Wood Science**, v. 4, n. 1, p. 46-54, 1971.
- Hernández, R. E. Effects of extraneous substances, wood density and interlocked grain on fiber saturation point of hardwoods. **Wood Material Science and Engineering**, v. 2, n. 1, p. 45-53, 2007.
- Hidayat, S.; Simpson, W. T. **Use of green moisture content and basic specific gravity to group tropical woods for kiln drying**. Madison: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1994. (Research Note, FPL-RN-0263).
- Hildebrand, R. **Kiln drying of sawn timber**. Nuertingen: Robert Hildebrand Maschinenbau GmbH, 1970. 199 p. il.

- Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. **Madeiras da Amazônia, características e utilização:** Estação Experimental de Curuá-Una. Brasília: IBDF/CNPq, 1988. 2 v. 236 p. il. (Publicação bilíngüe: português e inglês).
- Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. **Madeiras da Amazônia, características e utilização:** Floresta Nacional do Tapajós. Brasília: IBDF/CNPq, 1981. 1 v. 113 p. il. (Publicação bilíngüe: português e inglês).
- International Association of Wood Anatomists Committee. IAWA list of microscopic identification. **IAWA Bulletin n. s.**, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.
- Jacobs, M. **The tropical Rain Forest: a first encounter.** 2. ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1988. 295 p. il.
- Jane, F. W. **The structure of wood.** 2. ed. London: Adam & Charles Black, 1970. 478 p. il.
- Jankowsky, I. P.; Santos, G. R. V. dos.; Andrade, A. de. **Secagem da madeira serrada de eucalipto.** Piracicaba: IPEF, 2003. 12 p. il. (IPEF. Circular Técnica, 199).
- Jara, E. P. Determinação do ponto de saturação das fibras de madeiras utilizadas no Brasil. São Paulo: ABPM, 1987. 6 p. (ABPM. Boletim ABPM, 58).
- Junk, W. J. Flood tolerance and tree distribution in central Amazonian floodplains. In: Holm-Nielsen, L. B.; Nielsen, I. C.; Balslev, H. (eds.). **Tropical Forests: botanical dynamics, speciation and diversity.** 2. ed. London: Academic Press, 1990. p. 47-64.
- Kouali, M. el; Vergnaud, J. M. Modeling the process of adsorption and resorption of water above and below the fiber saturation point. **Wood Science Technology**, v. 25, n. 5, p. 327-339, 1991.
- Louzada, J. L. P. C.; Marcos, S. M. R.; Silva, M. E. C. M. Avaliação do comportamento de secagem da madeira em estufa para 14 espécies florestais. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2., 2002, Curitiba. **Anais.** Curitiba: UFPR/Funpar, 2002.
- Marques, M. H. B.; Melo, J. E. de; Martins, V. A. *et al.* **Madeiras da Amazônia, características e utilização:** Amazônia Oriental. Brasília: IBAMA, 1997. 3 v. 141 p. il.
- Marshall, P. E. The seasoning of thick tropical and semi-tropical hardwoods, using high and low temperature conditions. **Australian Forest Industries Journal**, v. 41, n. 3, p. 31-39, 1975.
- Martins, V. A. **Secagem de madeira serrada.** Brasília: IBDF/DPq/LPF, 1988. 56 p. il.
- Martins, V. A.; Oliveira, L. C. de S. **Secagem convencional de nove espécies de madeiras da Amazônia.** Brasília: IBAMA/DIRPED/LPF, 1989. 12 p. (IBAMA/DIRPED/LPF. Série Técnica, 3).

- Martins, V. A. **Dimensional stabilization by chemical modification of wood**. 1992. 268 p. Thesis (Philosophiae Doctor) – School of Agricultural and Forest Service, Department of Forestry and Wood Science, University College of North Wales, Bangor.
- Melo, J. E. de; Coradin, V. T. R.; Mendes, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., Campos do Jordão, 1990. **Anais**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. v. 3, p. 695-699.
- Mendes, A. de S.; Simpson, W. T.; Verrill, S. P. Laboratory test for grouping tropical species for kiln drying. **Wood Science and Technology**, n. 29, p. 353-362, 1995.
- Milota, M. R.; Morrell, J. J.; Lebow, S. T. Reducing moisture content variability in kiln-dried hem-fir lumber through sorting: a simulation. **Forest Products Journal**, v. 43, n. 6, p. 6-12, 1993.
- Muñiz, G. I. B. de. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1993. 235 p. Tese (Doutorado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Oliveira, L. da S.; Santini, E. J.; Haselein, C. R. Efeitos de pré-tratamentos de água quente e congelamento na taxa de secagem da madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 10, n. 2, p. 11-18, 2003.
- Panshin, A. J.; De Zeew, C. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970. 795 p. il.
- Richter, H. G.; Dallwitz, M. J. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. Version 16th April 2006. Disponível em: <http://delta-intkey.com> Acesso em: 02/01/2008.
- Santini, E. J.; Haselein, C. R. Efeito da temperatura e velocidade do ar sobre a taxa de secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 99-106, 2002.
- Schroeder, H. A. Shrinking and swelling differences between hardwoods and softwoods. **Wood and Fiber**, v. 4, n. 1, p. 20-25, 1972.
- Siau, J. F. **Transport processes in wood**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 245 p. il.
- Simpson, W. T. **Dry kiln operator's manual**. Madison: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1991. 274 p. il. (USDA. Agriculture Handbook, 188).
- Simpson, W. T. Grouping tropical wood species and thicknesses by similar estimated kiln drying time using mathematical models. In: IUFRO CONFERENCE ON WOOD DRYING: UNDERSTANDING THE WOOD DRYING PROCESS, A SYNTHESIS

- OF THEORY AND PRACTICE, 3., 1992, Viena. **Proceedings**. Viena: IUFRO, 1992. p. 38-48.
- Simpson, W. T.; Baah, C. K. **Grouping tropical wood species for kiln drying**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 14 p. 1989. (Research Note, FPL-RN-0256).
- Simpson, W. T.; Sagoe, J. A. **Relative drying times of 650 tropical woods: estimation by green moisture content, specific gravity, and green weight density**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 27 p. 1991. (General Technical Report, FPL-GTR-71).
- Simpson, W. T.; TenWolde, A. Physical properties and moisture relations of wood. In: Forest Products Laboratory. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. p. 3-1 – 3-24.
- Simpson, W. T.; Verrill, S. P. Estimating kiln schedules for tropical and temperate hardwoods using specific gravity. **Forest Products Journal**, v. 47, n. 7/8, p. 64-68, 1997.
- Skaar, C. **Water in wood**. New York: Syracuse University Press, 1972.
- Stamm, A. J. **Wood and cellulose science**. New York: The Ronald Press Company, 1964. 541 p. il.
- Swett, T. M.; Milota, M. R. Drying lumber of submerchantable length. **Forest Products Journal**, v. 49, n. 4, p. 71-76, 1999.
- Terborgh, J. **Diversity and the tropical rain forest**. New York: Scientific American Library, 1992. 242 p.il.
- Thomas, R. J. Anatomical features affecting liquid penetrability in three hardwood species. **Wood and Fiber**, v. 7, n. 4, p. 256-263, 1976.
- U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. **Seasoning mixed species of tropical hardwoods**. Yokohama: ITTO, 1988. 25 p. (ITTO. Pre-Project Report PPR 9/88).
- Young, J. F. Humidity control in the laboratory using salt solutions: a review. **Journal Appl. Chem.**, v. 17, p. 241-245, 1967.
- Zhang, S. Y.; Nepveu, G.; Mothe, F. Modeling intratree wood shrinkage in European oak by measuring wood density. **Forest Products Journal**, v. 44, n. 10, p. 42-46, 1994.
- Zhang, S. Y.; Oliveira, L.; Avramidis, S. Drying characteristics of hem-fir squares as affected by species and basic density presorting. **Forest Products Journal**, v. 46, n. 2, p. 44-50, 1996.

Zhang, S. Y.; Zhong, Y. Structure-property relationship of wood in East-Licoming oak.
Wood Science and Technololy, v. 26, n. 2, p. 139-149. 1992.

APÊNDICE A
RELAÇÃO DAS ESPÉCIES POR NOME CIENTÍFICO E DOS
INDIVÍDUOS ESTUDADOS

Tabela A.1 – Relação das espécies por nome científico, com respectivos nomes comuns e distinção de cerne e albúrnio, e dos indivíduos estudados, com respectivos números de coleta e da xiloteca.

Número da espécie	Nome científico	Nome comum	Distinção cerne e albúrnio	Classificação da madeira pela massa específica	Número do indivíduo	Número de coleta	Número da xiloteca
1	<i>Acioa edulis</i> Prance	Castanha-de-cutia	Distintos	Pesada	1	MB. 1697 – 138	1401
					2	JR. 0053 – 192	1402
					3	JR. 0060 – 199	1403
					4	PS. 0111 – 214	1404
					5	PS. 0134 – 237	1405
2	<i>Amburana acreana</i> (Ducke) A.C.Sm. = <i>Torresea acreana</i> Allemão	Amburana, cerejeira	Distintos	Leve	1	PS. 342 – 085	3107
					2	PS. 344 – 087	3108
					3	PS. 335 – 078	3200
					4	PS. 336 – 079	3201
					5	PS. 339 – 082	3202
3	<i>Anacardium giganteum</i> Hanck ex Engl.	Cajuaçu	Indistintos	Leve	1	PS. 264 – 007	3109
					2	PS. 274 – 017	3110
					3	PS. 334 – 077	3111
					4	PS. 297 – 040	3197
					5	PS. 328 – 071	3206
4	<i>Anacardium microcarpum</i> Ducke	Caju-do-campo, cajuaçu	Indistintos	Leve	1	PS. 0107 – 210	1409
					2	PS. 0117 – 220	1410
					3	PS. 0133 – 236	1411
					4	PS. 0143 – 246	1412
					5	PS. 0145 – 248	1413
5	<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart. = <i>A. duckei</i> Huber ex Ducke	Muirajuçara, peroba, peroba-amarga, peroba-mica, peroba-mico	Pouco distintos	Média	1	PS. 337 – 080	2078
					2	PS. 338 – 081	2079
					3	PS. 340 – 083	2080
					4	PS. 356 – 099	2081
6	<i>Bowdichia nitida</i> Spruce	Sucupira	Distintos	Pesada	1	PS. 343 – 086	3100
					2	PS. 324 – 067	3180
					3	PS. 315 – 058	3183
					4	PS. 298 – 041	3184
					5	PS. 346 – 089	3195
7	<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	Inharé, leiteira, mururerana	Distintos	Média	1	MB. 1645 – 06	1268
					2	MB. 1679 – 55	1269
					3	DS. 0001 – 14	1270
					4	MB. 1668 – 44	1271
8	<i>Caraipa densiflora</i> Mart.	Camaçari	Indistintos	Média	1	JR. 0020 – 159	1446
					2	JR. 0047 – 186	1447
					3	JR. 0051 – 190	1448
					4	JR. 0054 – 193	1449
9	<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	Jequitibá-rosa, tauari, tauari-vermelho	Pouco distintos	Média	1	PS. 301 – 044	2082
					2	PS. 310 – 053	2083
					3	PS. 313 – 056	2084
					4	PS. 322 – 065	2085
					5	PS. 325 – 068	2086
10	<i>Caryocar glabrum</i> (Aubl.) Pers.	Pequiarana, pequiarana-da-terra-firme	Indistintos (distinção feita pelo ataque de fungos)	Média	1	PS. 291 – 034	3103
					2	PS. 276 – 019	3104
					3	PS. 326 – 069	3179
					4	PS. 266 – 009	-
					5	PS. 269 – 012	-

Tabela A.1 (continuação) – Relação das espécies por nome científico, com respectivos nomes comuns e distinção de cerne e alborno, e dos indivíduos estudados, com respectivos números de coleta e da xiloteca.

Número da espécie	Nome científico	Nome comum	Distinção cerne e alborno	Classificação da madeira pela massa específica	Número do indivíduo	Número de coleta	Número da xiloteca
11	<i>Cassia fastuosa</i> Willd.	Baratinha, canafístula	Distintos	Média	1	DS. 0013 – 26	1272
					2	MB. 1641 – 02	1273
					3	MB. 1671 – 47	1274
					4	MB. 1680 – 56	1275
					5	MB. 1674 – 50	1276
12	<i>Cedrela odorata</i> L. = <i>C. glaziovii</i> C.DC.	Cedro, cedro-cheiroso, cedro-de-mato-grosso, cedro-rosa	Distintos	Leve	1	PS. 283 – 026	3112
					2	PS. 292 – 035	3113
					3	PS. 333 – 076	3120
					4	PS. 259 – 002	3185
					5	PS. 330 – 073	-
13	<i>Cedrelinga catenaeformis</i> Ducke	Cedrarana, cedrorana	Pouco distintos a indistintos	Leve	1	PS. 294 – 037	3101
					2	PS. 308 – 051	3102
					3	PS. 317 – 060	3198
					4	PS. 265 – 008	3203
					5	PS. 279 – 022	3205
14	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	Guariúba, oiticica	Distintos	Media	1	HB. 0020 – 020	1450
					2	PS. 0004 – 027	1451
					3	PS. 0036 – 059	1452
					4	PS. 0061 – 084	1453
					5	PS. 0072 – 095	1454
15	<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith = <i>D. divaricatum</i> Vahl	Jataipeba	Distintos	Pesada	1	HB. 0015 – 015	1472
					2	PS. 0011 – 034	1473
					3	JR. 0058 – 197	1474
					4	PS. 0109 – 212	1475
					5	PS. 0110 – 213	1476
16	<i>Diploptropis purpurea</i> (Rich.) Amshoff. Var. <i>leptophylla</i> (Kleinh.) Amsh.	Sucupira, sucupira-da-terra-firme	Distintos	Pesada	1	PS. 281 – 024	3115
					2	PS. 320 – 063	3116
					3	PS. 262 – 005	3117
					4	PS. 341 – 084	3178
					5	PS. 303 – 046	-
17	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd. = <i>Coumarouna odorata</i> Ducke	Cumaru, ipê-cumaru	Distintos	Pesada	1	PS. 296 – 039	3130
					2	PS. 312 – 055	3131
					3	PS. 316 – 059	3132
					4	PS. 271 – 014	3133
					5	PS. 305 – 048	3186
					6	PS. 278 – 021	-
18	<i>Euxylophora paraensis</i> Huber	Pau-amarelo	Indistintos	Média	1	MB. 1658 – 34	1277
					2	MB. 1660 – 36	1278
					3	MB. 1661 – 37	1279
					4	MB. 1666 – 42	1280
					5	MB. 1667 – 43	1281
19	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	Cupiúba	Pouco distintos	Média	1	PS. 0019 – 042	1495
					2	PS. 0051 – 074	1498
					3	PS. 0065 – 088	1499
					4	PS. 0083 – 106	1500
					5	JR. 0009 – 148	1502
					6	PS. 0013 – 036	1652

Tabela A.1 (continuação) – Relação das espécies por nome científico, com respectivos nomes comuns e distinção de cerne e albarno, e dos indivíduos estudados, com respectivos números de coleta e da xiloteca.

Número da espécie	Nome científico	Nome comum	Distinção cerne e albarno	Classificação da madeira pela massa específica	Número do indivíduo	Número de coleta	Número da xiloteca
20	<i>Hymenolobium nitidum</i> Benth.	Angelim-pedra	Distintos	Média	1	HB. 0007 – 007	1510
					2	PS. 0003 – 026	1511
					3	PS. 0022 – 045	1512
					4	PS. 0056 – 079	1513
21	<i>Hymenolobium</i> cf. <i>pulcherrimum</i> Ducke	Angelim-pedra	Distintos	Média	1	PS. 314 – 057	3098
					2	PS. 307 – 050	3099
					3	PS. 299 – 042	3181
					4	PS. 286 – 029	3208
					5	PS. 263 – 006	3209
22	<i>Laetia procera</i> (Poepp.) Eichler	Pau-jacaré	Indistintos	Média	1	DS. 0006 – 19	1282
					2	DS. 0015 – 28	1283
					3	MB. 1646 – 07	1284
					4	MB. 1675 – 51	1286
23	<i>Licania oblongifolia</i> Standl.	Macucu-branco, macucu-chiador	Pouco distintos a indistintos	Pesada	1	PS. 0016 – 039	1536
					2	PS. 0023 – 046	1537
					3	PS. 0030 – 053	1538
					4	PS. 0102 – 125	1539
24	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier	Maçaranduba	Distintos	Pesada	1	PS. 351 – 094	3134
					2	PS. 348 – 091	3135
					3	PS. 352 – 095	3193
					4	PS. 284 – 027	3194
25	<i>Micrandra rossiana</i> R.E.Schult.	Seringarana	Distintos	Média	1	PS. 0015 – 038	1520
					2	PS. 0050 – 073	1521
					3	PS. 0063 – 086	1522
					4	PS. 0093 – 116	1523
					5	MB. 1692 – 133	1524
					6	PS. 0035 – 058	1527
26	<i>Myrocarpus frondosus</i> Allemão	Caboretinga, cabriúva-parda, pau-bálsamo	Distintos	Pesada	1	DS. 0004 – 17	1287
					2	DS. 0010 – 23	1288
					3	MB. 1643 – 04	1289
					4	MB. 1664 – 40	1290
					5	MB. 1670 – 46	1291
27	<i>Ocotea aciphylla</i> (Nees) Mez = <i>O. costulata</i> (Nees) Mez	Canela-amarela, canela-branca	Distintos a pouco distintos	Leve	1	PS. 0067 – 090	1561
					2	JR. 0004 – 143	1562
					3	JR. 0013 – 152	1563
					4	JR. 0039 – 178	1564
28	<i>Ormosia coccínea</i> (Aubl.) Jack.	Tento	Distintos	Média	1	PS. 0026 – 049	1573
					2	MB. 1688 – 129	1574
					3	JR. 0056 – 195	1575
					4	JR. 0063 – 202	1576
29	<i>Osteophloeum platyspermum</i> (A.DC.) Warb.	Ucuubarana	Distintos	Leve	1	HB. 0019 – 019	1581
					2	PS. 0064 – 087	1586
					3	MB. 1691 – 132	1587
					4	JR. 0016 – 155	1588
30	<i>Parkia gigantocarpa</i> Ducke	Fava-bolota, faveira-bolota, visgueiro	Indistintos	Leve	1	HB. 0016 – 016	1590
					2	PS. 0018 – 041	1591
					3	JR. 0008 – 147	1592
					4	JR. 0028 – 167	1593

Tabela A.1 (continuação) – Relação das espécies por nome científico, com respectivos nomes comuns e distinção de cerne e alborno, e dos indivíduos estudados, com respectivos números de coleta e da xiloteca.

Número da espécie	Nome científico	Nome comum	Distinção cerne e alborno	Classificação da madeira pela massa específica	Número do indivíduo	Número de coleta	Número da xiloteca
31	<i>Peltogyne</i> cf. <i>subsessilis</i> W.Rodr.	Pau-roxo, roxinho	Distintos	Pesada	1	PS. 306 – 049	3105
					2	PS. 319 – 062	3106
					3	PS. 302 – 045	3188
					4	PS. 258 – 001	3189
					5	PS. 318 – 061	3190
					6	PS. 288 – 031	3191
					7	PS. 268 – 011	-
					8	PS. 277 – 020	-
32	<i>Pouteria oblanceolata</i> Pires = <i>Planchonella oblanceolata</i> Pires	Abiurana-preta, tuturubá	Pouco distintos	Pesada	1	DS. 0005 – 18	1292
					2	DS. 0014 – 27	1293
					3	MB. 1647 – 08	1294
					4	MB. 1652 – 13	1295
33	<i>Pouteria pachycarpa</i> Pires = <i>Planchonella pachycarpa</i> Pires	Goiabão	Indistintos	Pesada	1	DS. 0008 – 21	1296
					2	DS. 0011 – 24	1297
					3	MB. 1644 – 05	1298
					4	MB. 1651 – 12	1299
34	<i>Rauwolfia paraensis</i> Ducke = <i>Rauwolfia paraensis</i> Ducke	Gogó-de-guariba, perobad'água	Indistintos	Média	1	PS. 270 – 013	2087
					2	PS. 280 – 023	2088
					3	PS. 293 – 036	2089
					4	PS. 349 – 092	2090
					5	PS. 350 – 093	2091
35	<i>Tabebuia incana</i> A.Gentry	Ipê-amarelo	Distintos	Pesada	1	PS. 300 – 043	3127
					2	PS. 331 – 074	3128
					3	PS. 332 – 075	3129
					4	PS. 353 – 096	3177
36	<i>Tetragastris panamensis</i> (Engl.) Kuntze	Barrote	Pouco distintos	Pesada	1	DS. 0009 – 22	1313
					2	DS. 0012 – 25	1314
					3	MB. 1640 – 01	1315
					4	MB. 1650 – 11	1316
37	<i>Vatairea guianensis</i> Aubl.	Fava-amargosa	Distintos	Média	1	JR. 0005 – 144	1636
					2	PS. 0118 – 221	1637
					3	PS. 0120 – 223	1638
					4	PS. 0126 – 229	1639
					5	PS. 0138 – 241	1641
38	<i>Vatairea sericea</i> Ducke	Angelim-amargoso	Pouco distintos	Pesada	1	PS. 347 – 090	3119
					2	PS. 275 – 018	3121
					3	PS. 287 – 030	3182
					4	PS. 260 – 003	3187
					5	PS. 309 – 052	3196
39	<i>Vataireopsis speciosa</i> Ducke	Fava-amargosa	Pouco distintos	Média	1	PS. 267 – 010	2092
					2	PS. 285 – 028	2093
					3	PS. 304 – 047	2094
					4	PS. 311 – 054	2095
					5	PS. 323 – 066	2096

Tabela A.1 (continuação) – Relação das espécies por nome científico, com respectivos nomes comuns e distinção de cerne e alburno, e dos indivíduos estudados, com respectivos números de coleta e da xiloteca.

Número da espécie	Nome científico	Nome comum	Distinção cerne e alburno	Classificação da madeira pela massa específica	Número do indivíduo	Número de coleta	Número da xiloteca
40	<i>Zizyphus itacaiunenses Fróes</i>	Maria-preta	Distintos	Pesada	1	DS. 0002 – 15	1322
					2	MB. 1642 – 03	1323
					3	MB. 1654 – 30	1324
					4	MB. 1663 – 39	1325
					5	MB. 1673 – 49	1326
41	<i>Zollernia paraensis Huber</i>	Pau-santo	Distintos	Pesada	1	DS. 0003 – 16	1317
					2	MB. 1678 – 54	1318
					3	MB. 1682 – 58	1319
					4	MB. 1683 – 59	1320
					5	MB. 1649 – 10	1321

APÊNDICE B
VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS DETERMINADAS
PARA OS INDIVÍDUOS DAS 41 ESPÉCIES DE MADEIRAS DA
AMAZÔNIA ESTUDADAS

Tabela B.1 - Valores médios das características determinadas para os indivíduos das 41 espécies de madeiras da Amazônia estudadas.

		Características estudadas														
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R
1	0,2314	2,0	1,00	33,427	3,214	15,107	21,79	0,870	46,267	4,388E-04	6,315E-04	3,447E-04	127,1	42,0	85,1	
2	0,2067	3,0	1,00	18,541	1,905	8,318	20,64	0,849	51,929	5,251E-04	7,520E-04	3,843E-04	121,8	46,7	75,1	
3	0,2681	2,6	1,00	34,407	2,430	15,989	19,53	0,817	56,169	4,925E-04	7,065E-04	3,457E-04	138,9	56,2	82,8	
4	0,2039	2,1	0,98	35,187	3,451	15,868	20,59	0,845	50,304	4,833E-04	6,244E-04	3,861E-04	125,3	51,3	74,0	
5	0,2590	2,7	1,00	31,273	2,953	14,160	20,01	0,844	50,651	4,897E-04	7,376E-04	3,541E-04	124,1	44,0	80,1	
1	0,2265	2,0	0,36	30,969	22,538	4,216	7,13	0,476	136,724	7,305E-04	7,998E-04	4,836E-04	146,5	114,5	32,0	
2	0,2224	1,8	0,33	28,091	19,924	4,083	8,16	0,496	131,404	7,509E-04	8,348E-04	4,915E-04	145,7	111,5	34,2	
3	0,2053	2,9	0,21	29,934	20,782	4,576	8,83	0,492	131,211	7,520E-04	8,495E-04	4,624E-04	142,0	106,8	35,2	
4	0,2378	2,1	0,08	25,018	15,359	4,829	9,35	0,523	119,901	7,158E-04	8,239E-04	4,372E-04	145,4	105,4	40,0	
5	0,2268	1,7	0,13	29,947	18,992	5,477	9,46	0,500	127,111	7,146E-04	8,326E-04	4,056E-04	146,5	106,1	40,4	
1	0,1969	1,7	0,00	24,204	15,916	4,144	11,75	0,411	172,265	8,171E-04	8,713E-04	5,500E-04	148,5	123,6	24,9	
2	0,1678	2,0	0,51	25,842	17,308	4,267	7,52	0,421	170,277	8,685E-04	9,494E-04	5,290E-04	141,2	114,5	26,6	
3	0,2225	1,5	0,96	26,192	18,986	3,603	8,22	0,321	235,495	9,486E-04	1,022E-03	5,255E-04	139,2	118,9	20,3	
4	0,1859	3,5	0,40	23,937	17,010	3,463	9,99	0,443	162,204	8,891E-04	1,028E-03	4,480E-04	137,0	104,1	32,8	
5	0,2238	1,5	0,00	26,679	18,937	3,871	10,50	0,414	175,847	8,983E-04	1,017E-03	4,742E-04	140,6	110,7	29,9	
1	0,1969	1,5	0,43	25,094	19,504	2,795	8,90	0,375	201,282	9,117E-04	1,005E-03	4,883E-04	137,2	112,6	24,6	
2	0,2045	2,3	0,79	23,592	17,373	3,110	9,98	0,377	191,806	8,883E-04	9,766E-04	5,052E-04	135,8	111,3	24,5	
3	0,2583	1,8	0,43	25,002	17,604	3,699	9,76	0,370	203,475	8,499E-04	1,159E-03	3,262E-04	151,3	98,6	52,7	
4	0,1995	1,6	0,58	25,092	18,097	3,498	11,06	0,381	195,720	9,735E-04	1,103E-03	4,705E-04	127,9	101,9	26,1	
5	0,2020	1,8	0,64	22,606	16,528	3,039	9,20	0,361	210,467	9,422E-04	1,054E-03	4,686E-04	132,7	108,1	24,7	

Valores discrepantes (outliers) ou extremos.

A – Número da espécie correspondente ao nome científico relacionado na Tabela A.1 do Apêndice A.

B – Número do indivíduo.

C – Diâmetro tangencial dos poros (μm).

D – Frequência dos poros (n° de poros/ mm^2).

E – Razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de poros.

F – Diâmetro total máximo das fibras (μm).

G – Largura do lúmen das fibras (μm).

H – Espessura da parede das fibras (μm).

I – Contração volumétrica total (%).

J – Massa específica básica (g/cm^3).

L – Teor de umidade inicial (%).

M – Taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

N – Taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

O – Taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

P – Tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (h).

Q – Tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (h).

R – Tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (h).

Tabela B.1 (continuação) - Valores médios das características determinadas para os indivíduos das 41 espécies de madeiras da Amazônia estudadas.

A	B	Características estudadas															
		C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	
5	1	0,1056	28,1	0,31	28,966	8,140	10,413	11,46	0,559	104,024	6,199E-04	7,075E-04	4,123E-04	150,5	106,0	44,4	
	2	0,0940	41,9	0,03	30,297	10,054	10,122	11,54	0,551	108,469	6,310E-04	7,141E-04	4,227E-04	151,9	109,1	42,8	
	3	0,0922	32,5	0,04	31,095	9,503	10,796	12,82	0,618	90,715	5,786E-04	6,896E-04	3,759E-04	152,4	98,6	53,9	
	4	0,1086	23,0	0,20	28,185	7,921	10,132	13,06	0,674	77,235	4,795E-04	7,761E-04	2,396E-04	166,5	74,8	91,7	
6	1	0,1822	3,8	0,12	18,585	2,015	8,285	18,59	0,758	62,138	6,706E-04	8,391E-04	4,961E-04	103,2	52,9	50,2	
	2	0,1989	3,1	0,09	17,711	1,750	7,981	15,94	0,742	63,742	6,629E-04	8,154E-04	4,925E-04	105,2	55,7	49,5	
	3	0,1942	3,8	0,04	21,096	1,794	9,651	14,31	0,742	66,308	7,210E-04	8,489E-04	5,571E-04	99,3	56,5	42,9	
	4	0,2136	4,1	0,09	20,348	2,172	9,088	14,23	0,721	66,489	7,042E-04	8,605E-04	5,158E-04	99,6	54,6	45,0	
	5	0,2002	3,8	0,12	20,433	1,657	9,388	15,17	0,801	55,621	6,571E-04	9,703E-04	4,543E-04	94,6	37,8	56,7	
7	1	0,1066	10,3	0,71	14,148	6,091	4,029	11,88	0,816	55,063	3,510E-04	6,205E-04	2,189E-04	176,6	58,2	118,4	
	2	0,0833	9,8	0,50	14,644	7,137	3,754	12,60	0,826	52,165	3,429E-04	6,073E-04	2,235E-04	171,0	53,4	117,6	
	3	0,0910	10,4	0,81	13,896	6,223	3,837	12,51	0,755	63,845	3,858E-04	6,525E-04	2,181E-04	180,0	69,5	110,5	
	4	0,1098	11,1	0,68	15,390	7,135	4,127	11,49	0,775	59,724	3,613E-04	6,449E-04	2,096E-04	183,4	64,1	119,3	
8	1	0,1778	11,7	0,13	26,097	13,879	6,109	11,96	0,429	162,023	7,083E-04	7,707E-04	4,503E-04	166,5	134,7	31,8	
	2	0,1450	15,3	0,18	23,070	10,913	6,078	12,72	0,500	129,297	6,433E-04	7,312E-04	3,914E-04	167,6	124,7	42,9	
	3	0,1620	9,9	0,14	25,469	11,010	7,229	16,14	0,579	105,973	6,178E-04	7,350E-04	3,705E-04	163,1	110,8	52,3	
	4	0,1717	10,3	0,72	25,380	11,653	6,864	16,67	0,655	81,486	4,379E-04	7,467E-04	2,021E-04	192,4	83,5	108,8	

Valores discrepantes (outliers) ou extremos.

A – Número da espécie correspondente ao nome científico relacionado na Tabela A.1 do Apêndice A.

B – Número do indivíduo.

C – Diâmetro tangencial dos poros (μm).

D – Frequência dos poros (n° de poros/ mm^2).

E – Razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de poros.

F – Diâmetro total máximo das fibras (μm).

G – Largura do lúmen das fibras (μm).

H – Espessura da parede das fibras (μm).

I – Contração volumétrica total (%).

J – Massa específica básica (g/cm^3).

L – Teor de umidade inicial (%).

M – Taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

N – Taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

O – Taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

P – Tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (h).

Q – Tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (h).

R – Tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (h).

Tabela B.1 (continuação) - Valores médios das características determinadas para os indivíduos das 41 espécies de madeiras da Amazônia estudadas.

A	B	Características estudadas														
		C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R
1	0,2084	2,8	0,95	20,449	13,236	3,607	13,54	0,536	114,775	7,048E-04	8,388E-04	4,061E-04	144,8	100,4	44,4	
2	0,2342	2,7	0,94	23,299	16,108	3,596	15,96	0,580	103,814	6,728E-04	8,319E-04	3,788E-04	146,8	95,5	51,3	
9	0,2120	2,8	0,97	25,331	17,419	3,956	13,95	0,526	119,022	6,424E-04	9,297E-04	2,763E-04	168,2	93,7	74,5	
4	0,2388	3,2	1,00	22,799	14,875	3,962	15,13	0,548	112,647	6,905E-04	8,745E-04	3,689E-04	150,2	96,8	53,4	
5	0,2191	2,6	1,00	23,988	16,545	3,721	14,84	0,550	109,322	7,226E-04	8,873E-04	3,988E-04	139,5	92,5	47,0	
1	0,2258	4,3	0,98	27,616	10,184	8,716	14,82	0,623	90,065	6,065E-04	8,388E-04	3,173E-04	149,6	83,1	66,5	
2	0,2529	4,1	0,82	22,430	8,245	7,092	10,79	0,615	95,450	7,462E-04	9,483E-04	4,220E-04	126,0	77,8	48,2	
10	0,2498	4,7	0,87	23,492	7,929	7,781	12,64	0,598	94,134	7,242E-04	1,123E-03	3,269E-04	123,2	61,9	61,2	
4	0,2941	3,5	0,98	23,954	5,242	9,356	13,55	0,588	99,203	6,933E-04	9,794E-04	3,291E-04	137,3	77,3	59,9	
5	0,2244	3,9	1,00	22,512	8,719	6,896	13,55	0,629	86,479	6,718E-04	1,077E-03	3,113E-04	128,3	60,8	67,5	
1	0,2284	3,6	0,43	18,454	4,737	6,858	10,23	0,810	53,957	4,053E-04	7,585E-04	2,505E-04	146,6	44,8	101,8	
2	0,2344	2,8	0,37	17,934	7,103	5,415	9,65	0,619	88,489	5,486E-04	7,449E-04	2,969E-04	151,2	84,9	66,3	
11	0,2070	2,6	0,41	16,110	5,632	5,239	10,65	0,757	63,699	4,367E-04	7,214E-04	2,516E-04	159,1	63,0	96,0	
4	0,1815	3,6	0,42	14,404	6,416	3,994	9,83	0,783	59,669	4,394E-04	7,539E-04	2,609E-04	147,8	53,7	94,1	
5	0,1884	3,0	0,56	17,313	8,444	4,435	8,97	0,626	90,298	6,486E-04	7,942E-04	4,018E-04	132,0	83,0	49,0	
1	0,2522	2,7	0,38	40,008	32,815	3,597	14,16	0,346	216,758	8,652E-04	9,509E-04	4,514E-04	144,8	120,2	24,7	
2	0,2418	3,3	0,47	29,213	23,285	2,964	24,90	0,321	239,147	9,101E-04	9,900E-04	4,708E-04	144,0	121,9	22,1	
12	0,2707	3,4	0,45	34,790	28,652	3,069	12,91	0,372	194,619	9,472E-04	1,074E-03	4,598E-04	127,1	101,0	26,1	
4	0,2726	2,9	0,33	27,644	21,572	3,036	11,81	0,404	177,627	8,963E-04	1,023E-03	4,460E-04	133,6	104,3	29,3	
5	0,2958	3,7	0,66	34,734	28,559	3,087	13,77	0,376	192,665	8,768E-04	9,825E-04	4,457E-04	139,2	111,9	27,3	

Valores discrepantes (outliers) ou extremos.

A – Número da espécie correspondente ao nome.

B – Número relacionado na Tabela A.1 do Apêndice A.

C – Número do indivíduo.

D – Diâmetro tangencial dos poros (μm).

E – Razão entre a frequência de poros (mm^2).

F – Razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de poros.

G – Diâmetro total máximo das fibras (μm).

H – Largura do lúmen das fibras (μm).

H – Espessura da parede das fibras (μm).

I – Contração volumétrica total (%).

J – Massa específica básica (g/cm^3).

L – Teor de umidade inicial (%).

M – Taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

N – Taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

O – Taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

P – Tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (h).

Q – Tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (h).

R – Tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (h).

Tabela B.1 (continuação) - Valores médios das características determinadas para os indivíduos das 41 espécies de madeiras da Amazônia estudadas.

A	B	Características estudadas														
		C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R
1	0,3070	2,2	0,19	27,743	22,733	2,505	13,43	0,395	181,196	9,841E-04	1,115E-03	5,033E-04	125,6	99,0	26,6	
2	0,3572	3,1	0,14	38,806	33,031	2,888	13,55	0,424	162,338	8,936E-04	1,026E-03	4,649E-04	131,0	100,4	30,6	
13	0,3670	2,5	0,39	33,212	26,130	3,541	13,20	0,538	115,398	7,202E-04	1,055E-03	2,998E-04	144,0	79,6	64,4	
4	0,3150	2,7	0,38	29,894	23,245	3,324	10,78	0,478	135,300	8,631E-04	1,030E-03	4,463E-04	124,8	89,3	35,5	
5	0,3417	2,9	0,22	29,524	23,844	2,840	9,21	0,450	151,168	8,915E-04	1,062E-03	4,355E-04	128,7	94,2	34,6	
1	0,1996	5,8	0,99	26,113	18,192	3,960	8,84	0,657	81,677	6,369E-04	7,790E-04	4,180E-04	131,4	79,5	52,0	
2	0,1978	4,9	0,96	22,847	16,506	3,170	8,62	0,569	102,719	5,923E-04	7,843E-04	3,434E-04	164,7	95,3	69,4	
14	0,2130	4,2	0,98	22,726	15,017	3,855	10,40	0,567	104,246	6,674E-04	8,098E-04	3,879E-04	141,0	93,5	47,5	
4	0,1768	4,4	1,00	23,998	17,889	3,054	9,72	0,535	115,594	7,091E-04	8,103E-04	4,451E-04	139,0	100,5	38,5	
5	0,1838	4,4	0,91	26,419	21,236	2,592	10,14	0,491	130,862	7,483E-04	8,134E-04	5,223E-04	141,0	110,2	30,8	
1	0,1302	8,6	0,47	20,451	6,300	7,075	13,72	0,905	44,017	4,352E-04	7,649E-04	3,260E-04	121,2	30,1	91,0	
2	0,1419	7,8	0,34	19,442	7,218	6,112	16,49	0,828	52,058	5,406E-04	8,271E-04	3,824E-04	110,5	39,5	71,0	
15	0,1493	6,6	0,32	18,772	8,184	5,294	12,31	0,831	49,659	4,783E-04	7,232E-04	3,497E-04	117,0	40,5	76,6	
4	0,1619	7,0	0,48	17,823	5,545	6,139	19,09	0,855	48,116	4,838E-04	8,280E-04	3,424E-04	115,9	34,3	81,6	
5	0,1466	7,9	0,49	18,142	7,672	5,235	15,65	0,801	56,309	6,022E-04	1,004E-03	3,806E-04	105,2	37,5	67,7	
1	0,2862	4,1	0,16	29,094	8,008	10,543	11,42	0,850	47,662	5,769E-04	9,343E-04	4,204E-04	94,0	28,8	65,2	
2	0,2570	3,4	0,15	27,517	6,962	10,277	16,01	0,753	63,180	6,951E-04	8,602E-04	5,139E-04	99,3	52,0	47,3	
16	0,2713	3,8	0,09	26,102	6,736	9,683	12,86	0,659	80,179	8,338E-04	1,000E-03	5,706E-04	96,1	59,0	37,1	
4	0,2310	4,9	0,28	28,449	9,422	9,513	14,30	0,718	69,402	7,778E-04	1,098E-03	4,793E-04	95,5	46,6	48,9	
5	0,2448	3,7	0,12	26,090	9,545	8,272	15,16	0,703	72,752	7,886E-04	9,517E-04	5,645E-04	98,1	57,3	40,9	

Valores discrepantes (outliers) ou extremos.

A – Número da espécie correspondente ao nome.

B – Número relacionado na Tabela A.1 do Apêndice A.

C – Número do indivíduo.

D – Diâmetro tangencial dos poros (μm).

E – Razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de poros.

F – Diâmetro total máximo das fibras (μm).

G – Largura do lúmen das fibras (μm).

H – Espessura da parede das fibras (μm).

I – Contração volumétrica total (%).

J – Massa específica básica (g/cm^3).

L – Teor de umidade inicial (%).

M – Taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

N – Taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

O – Taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

P – Tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (h).

Q – Tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (h).

R – Tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (h).

Tabela B.1 (continuação) - Valores médios das características determinadas para os indivíduos das 41 espécies de madeiras da Amazônia estudadas.

A	B	Características estudadas														
		C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R
17	1	0,1409	6,5	0,61	18,291	4,592	6,849	14,20	0,866	45,933	6,485E-04	1,229E-03	4,679E-04	85,1	21,8	63,3
	2	0,1443	7,6	0,67	15,908	3,364	6,272	12,24	0,923	36,939	5,837E-04	1,495E-03	4,728E-04	73,3	8,0	65,3
	3	0,1428	5,2	0,50	20,817	6,499	7,159	15,93	0,837	48,420	6,998E-04	1,430E-03	4,621E-04	78,0	19,4	58,6
	4	0,1228	11,2	0,64	15,250	3,110	6,070	13,23	0,940	36,282	5,928E-04	1,805E-03	4,804E-04	72,1	6,1	66,0
	5	0,1376	7,2	0,52	17,753	3,404	7,175	12,93	0,883	42,344	6,533E-04	1,624E-03	4,646E-04	76,3	12,6	63,7
	6	0,1466	6,8	0,84	15,614	3,827	5,894	11,71	0,926	39,009	6,217E-04	1,546E-03	4,785E-04	73,3	9,8	63,5
18	1	0,1339	13,8	0,20	19,080	9,192	4,944	12,95	0,717	67,858	5,340E-04	7,593E-04	3,289E-04	138,7	66,1	72,6
	2	0,1093	13,4	0,28	21,866	11,691	5,088	13,80	0,734	66,998	5,110E-04	7,442E-04	3,109E-04	144,4	66,7	77,7
	3	0,1168	10,7	0,52	21,774	12,560	4,607	14,49	0,727	66,082	4,275E-04	7,395E-04	2,430E-04	174,8	66,0	108,9
	4	0,1186	14,4	0,49	18,437	11,496	3,470	13,24	0,628	87,850	6,031E-04	7,479E-04	3,729E-04	146,1	89,9	56,2
	5	0,1194	12,9	0,54	21,130	10,668	5,231	13,35	0,657	80,152	5,671E-04	7,574E-04	3,350E-04	145,0	79,8	65,1
19	1	0,1569	8,0	0,02	30,268	7,588	11,340	12,78	0,705	71,509	5,312E-04	7,372E-04	3,262E-04	139,3	69,9	69,4
	2	0,1828	6,4	0,13	35,735	9,336	13,199	15,59	0,692	73,950	5,190E-04	7,527E-04	2,955E-04	148,9	72,8	76,1
	3	0,1902	7,1	0,12	34,274	13,151	10,562	11,30	0,665	78,477	5,569E-04	7,302E-04	3,411E-04	142,1	79,1	63,0
	4	0,1858	6,8	0,08	31,347	8,333	11,507	13,25	0,678	77,164	5,477E-04	8,196E-04	2,934E-04	143,3	69,4	73,9
	5	0,1413	7,0	0,05	29,556	9,081	10,237	12,14	0,667	81,543	5,745E-04	8,247E-04	3,100E-04	145,5	74,7	70,8
	6	0,1874	7,5	0,05	34,907	13,073	10,917	14,73	0,638	85,816	6,290E-04	8,277E-04	3,614E-04	135,4	77,7	57,7

Valores discrepantes (outliers) ou extremos.

A – Número da espécie correspondente ao nome científico relacionado na Tabela A.1 do Apêndice A.

B – Número do indivíduo.

C – Diâmetro tangencial dos poros (μm).

D – Frequência dos poros (n° de poros/ mm^2).

E – Razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de poros.

F – Diâmetro total máximo das fibras (μm).

G – Largura do lúmen das fibras (μm).

H – Espessura da parede das fibras (μm).

I – Contração volumétrica total (%).

J – Massa específica básica (g/cm^3).

L – Teor de umidade inicial (%).

M – Taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

N – Taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

O – Taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

P – Tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (h).

Q – Tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (h).

R – Tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (h).

Tabela B.1 (continuação) - Valores médios das características determinadas para os indivíduos das 41 espécies de madeiras da Amazônia estudadas.

A	B	Características estudadas														
		C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R
20	1	0,2677	3,1	0,25	29,678	12,040	8,819	12,16	0,515	121,455	7,717E-04	8,498E-04	5,272E-04	134,8	102,3	32,5
	2	0,2265	3,0	0,24	29,464	11,447	9,008	12,54	0,620	90,956	6,620E-04	7,276E-04	5,102E-04	135,6	95,3	40,3
	3	0,2698	2,3	0,17	37,111	21,408	7,851	12,60	0,579	100,461	5,903E-04	7,652E-04	3,719E-04	163,6	96,2	67,4
	4	0,2657	2,3	0,19	30,992	11,786	9,603	11,21	0,535	115,176	7,494E-04	8,650E-04	4,593E-04	135,6	97,0	38,6
21	1	0,2546	2,3	0,55	26,735	11,542	7,596	12,73	0,774	58,992	3,716E-04	4,791E-04	2,819E-04	179,2	85,2	94,0
	2	0,2972	3,1	0,22	29,119	11,097	9,011	13,33	0,561	105,000	5,245E-04	5,651E-04	4,097E-04	180,3	134,8	45,5
	3	0,2763	2,4	0,76	24,967	6,145	9,411	10,43	0,644	82,020	4,418E-04	4,761E-04	3,663E-04	186,5	128,6	57,9
	4	0,2842	2,4	0,29	29,292	9,105	10,094	11,24	0,516	117,239	5,384E-04	5,504E-04	4,868E-04	183,7	149,0	34,8
	5	0,2718	3,3	0,68	23,774	6,777	8,498	10,88	0,584	96,307	5,045E-04	5,671E-04	3,661E-04	177,5	123,9	53,6
22	1	0,1542	5,6	0,18	39,968	12,350	13,809	18,03	0,707	71,025	4,264E-04	6,697E-04	2,345E-04	183,1	81,4	101,7
	2	0,1698	9,2	0,16	39,929	16,083	11,923	18,60	0,572	104,597	5,611E-04	6,881E-04	3,252E-04	176,4	115,5	60,8
	3	0,1634	8,2	0,20	38,028	20,041	8,993	17,52	0,627	89,713	4,898E-04	6,764E-04	2,560E-04	184,8	102,9	82,0
	4	0,1834	6,3	0,20	42,508	17,816	12,346	19,57	0,640	87,089	4,868E-04	6,683E-04	2,622E-04	184,3	102,2	82,1
23	1	0,2835	4,0	1,00	33,921	10,445	11,738	19,31	0,815	57,026	6,965E-04	9,757E-04	4,890E-04	96,2	41,3	54,9
	2	0,2778	3,6	0,76	29,426	9,709	9,858	18,79	0,803	56,672	6,806E-04	1,001E-03	4,663E-04	96,2	39,3	56,9
	3	0,2718	3,4	0,50	33,800	7,669	13,066	17,49	0,791	57,104	7,988E-04	1,175E-03	5,431E-04	85,2	35,7	49,5
	4	0,2592	3,8	0,35	30,740	7,603	11,568	18,18	0,730	70,737	8,130E-04	1,102E-03	5,113E-04	95,3	48,8	46,5

Valores discrepantes (outliers) ou extremos.

A – Número da espécie correspondente ao nome científico relacionado na Tabela A.1 do Apêndice A.

B – Número do indivíduo.

C – Diâmetro tangencial dos poros (μm).

D – Frequência dos poros (n° de poros/ mm^2).

E – Razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de poros.

F – Diâmetro total máximo das fibras (μm).

G – Largura do lúmen das fibras (μm).

H – Espessura da parede das fibras (μm).

I – Contração volumétrica total (%).

J – Massa específica básica (g/cm^3).

L – Teor de umidade inicial (%).

M – Taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

N – Taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

O – Taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

P – Tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (h).

Q – Tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (h).

R – Tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (h).

Tabela B.1 (continuação) - Valores médios das características determinadas para os indivíduos das 41 espécies de madeiras da Amazônia estudadas.

A	B	Características estudadas														
		C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R
24	1	0,1359	10,6	0,97	23,852	6,227	8,813	16,39	0,826	51,557	5,581E-04	8,825E-04	3,898E-04	106,9	37,1	69,8
	2	0,1356	11,5	0,99	23,880	5,328	9,276	17,16	0,840	50,748	4,980E-04	8,053E-04	3,464E-04	123,5	41,6	81,9
	3	0,1158	10,7	0,98	23,824	4,433	9,695	16,83	0,843	50,753	5,964E-04	9,745E-04	4,155E-04	102,4	33,0	69,4
	4	0,1259	13,0	0,93	27,956	17,820	5,068	17,87	0,870	46,094	4,827E-04	7,978E-04	3,575E-04	112,2	32,2	80,0
25	1	0,1470	8,2	0,97	27,956	17,820	5,068	17,83	0,665	80,748	4,336E-04	5,711E-04	2,589E-04	195,6	109,4	86,2
	2	0,1381	6,4	0,94	26,710	16,959	4,875	16,95	0,654	83,647	4,167E-04	5,604E-04	2,362E-04	206,9	115,2	91,7
	3	0,1257	7,1	0,89	24,624	15,380	4,622	18,39	0,722	66,776	3,662E-04	5,355E-04	2,228E-04	202,4	93,0	109,4
	4	0,1465	6,1	0,91	24,841	15,598	4,621	15,52	0,691	75,034	4,031E-04	5,581E-04	2,382E-04	201,2	103,9	97,4
	5	0,1663	5,6	0,92	24,770	12,819	5,976	19,80	0,724	68,163	3,970E-04	5,347E-04	2,581E-04	191,6	96,2	95,4
	6	0,1599	6,6	0,95	26,181	16,391	4,895	16,83	0,662	81,280	4,279E-04	5,824E-04	2,442E-04	199,0	108,1	90,9
26	1	0,0933	23,3	0,24	15,606	3,549	6,028	12,52	0,785	55,858	5,437E-04	7,478E-04	3,908E-04	115,2	49,3	65,9
	2	0,1053	23,3	0,26	13,300	4,459	4,421	14,84	0,767	60,269	6,565E-04	8,455E-04	4,779E-04	102,7	50,0	52,7
	3	0,1043	22,3	0,26	15,381	4,277	5,552	11,93	0,738	65,783	6,913E-04	8,051E-04	5,429E-04	101,2	57,9	43,3
	4	0,0932	28,1	0,29	14,635	4,083	5,276	12,81	0,781	57,916	6,387E-04	7,887E-04	4,937E-04	99,5	49,0	50,5
	5	0,1123	18,9	0,25	15,959	4,252	5,854	9,69	0,770	58,726	6,421E-04	7,966E-04	4,914E-04	100,0	49,4	50,6
27	1	0,1426	8,5	0,61	26,654	20,054	3,300	10,45	0,506	126,798	6,640E-04	1,055E-03	2,330E-04	155,8	81,3	74,5
	2	0,1637	8,0	0,35	22,820	14,699	4,060	10,69	0,526	120,825	7,329E-04	9,773E-04	3,500E-04	140,6	87,1	53,5
	3	0,1734	7,0	0,75	27,572	19,334	4,119	12,20	0,539	113,831	6,496E-04	9,716E-04	2,618E-04	153,6	83,7	69,9
	4	0,1455	7,5	0,72	25,136	16,581	4,277	13,21	0,593	98,130	7,097E-04	9,575E-04	3,683E-04	129,3	76,1	53,2

Valores discrepantes (outliers) ou extremos.

A – Número da espécie correspondente ao nome.

B – Número relacionado na Tabela A.1 do Apêndice A.

C – Número do indivíduo.

D – Diâmetro tangencial dos poros (μm).

E – Frequência dos poros (n° de poros/ mm^2).

F – Razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de poros.

G – Diâmetro total máximo das fibras (μm).

H – Largura do lúmen das fibras (μm).

H – Espessura da parede das fibras (μm).

I – Contração volumétrica total (%).

J – Massa específica básica (g/cm^3).

L – Teor de umidade inicial (%).

M – Taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

N – Taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

O – Taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

P – Tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (h).

Q – Tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (h).

R – Tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (h).

Tabela B.1 (continuação) - Valores médios das características determinadas para os indivíduos das 41 espécies de madeiras da Amazônia estudadas.

A	B	Características estudadas															
		C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	
	1	0,2445	2,7	0,50	32,201	17,627	7,287	9,85	0,547	108,041	5,466E-04	6,017E-04	3,921E-04	171,3	126,5	44,8	
	2	0,2231	2,7	0,21	28,226	13,992	7,117	10,61	0,575	98,047	5,324E-04	5,865E-04	3,953E-04	166,2	119,3	46,9	
28	3	0,2225	2,5	0,22	30,409	15,767	7,321	11,02	0,628	88,019	5,026E-04	5,826E-04	3,516E-04	164,5	108,3	56,2	
	4	0,2337	2,6	0,65	28,469	13,428	7,520	11,87	0,701	68,819	3,800E-04	5,435E-04	2,318E-04	187,7	89,7	97,9	
	1	0,1687	4,4	0,87	38,255	26,392	5,932	9,20	0,518	119,854	8,056E-04	9,355E-04	4,830E-04	127,1	91,2	35,9	
	2	0,2301	4,3	0,99	44,594	34,394	5,100	11,77	0,434	157,047	8,423E-04	9,332E-04	5,057E-04	138,3	109,3	29,0	
29	3	0,2163	4,0	0,98	45,327	31,884	6,722	11,61	0,575	102,932	7,528E-04	8,885E-04	4,699E-04	128,7	87,5	41,2	
	4	0,2476	3,8	1,00	50,761	37,858	6,451	14,36	0,460	147,813	8,680E-04	9,658E-04	5,244E-04	133,0	103,7	29,3	
	1	0,1848	3,5	0,13	28,541	23,971	2,285	10,63	0,429	164,935	9,521E-04	1,097E-03	4,914E-04	126,8	97,0	29,8	
	2	0,2082	3,1	0,67	31,454	25,759	2,848	9,70	0,334	223,948	9,570E-04	1,044E-03	5,074E-04	135,8	113,9	21,9	
30	3	0,2191	3,2	0,33	36,306	31,941	2,183	10,54	0,290	262,254	9,174E-04	9,667E-04	5,556E-04	148,2	130,6	17,6	
	4	0,1688	3,9	0,15	28,541	23,971	2,285	9,89	0,364	202,493	9,019E-04	9,764E-04	5,245E-04	142,9	119,5	23,4	
	1	0,1248	8,3	0,51	16,644	7,091	4,776	14,38	0,878	44,749	5,245E-04	9,579E-04	3,861E-04	99,7	25,1	74,7	
	2	0,1268	7,3	0,47	14,931	5,430	4,750	11,85	0,752	64,543	7,184E-04	9,118E-04	5,155E-04	100,9	52,4	48,5	
	3	0,1232	7,9	0,52	14,870	5,686	4,592	12,01	0,783	60,600	6,910E-04	8,833E-04	5,085E-04	100,3	49,5	50,8	
31	4	0,1435	9,3	0,52	15,512	6,153	4,679	13,12	0,770	62,661	6,213E-04	8,445E-04	4,211E-04	117,6	54,9	62,6	
	5	0,1275	14,9	0,44	13,751	5,099	4,326	12,31	0,812	53,403	6,013E-04	9,208E-04	4,149E-04	102,1	37,7	64,4	
	6	0,1242	8,6	0,46	15,088	6,637	4,226	13,66	0,814	53,692	6,275E-04	9,356E-04	4,396E-04	98,6	37,7	60,9	
	7	0,1315	11,8	0,53	16,072	6,234	4,919	13,99	0,747	64,821	7,077E-04	8,680E-04	5,235E-04	101,8	54,8	47,1	
	8	0,1240	13,2	0,29	15,847	6,075	4,886	12,23	0,705	71,045	7,524E-04	8,927E-04	5,549E-04	100,0	58,6	41,4	

Valores discrepantes (outliers) ou extremos.

A – Número da espécie correspondente ao nome.

B – Número relacionado na Tabela A.1 do Apêndice A.

C – Número do indivíduo.

D – Diâmetro tangencial dos poros (μm).

E – Razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de poros.

F – Diâmetro total máximo das fibras (μm).

G – Largura do lúmen das fibras (μm).

H – Espessura da parede das fibras (μm).

I – Contração volumétrica total (%).

J – Massa específica básica (g/cm^3).

L – Teor de umidade inicial (%).

M – Taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

N – Taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

O – Taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

P – Tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (h).

Q – Tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (h).

R – Tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (h).

Tabela B.1 (continuação) - Valores médios das características determinadas para os indivíduos das 41 espécies de madeiras da Amazônia estudadas.

A	B	Características estudadas															
		C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R	
32	1	0,0987	11,7	1,00	18,734	6,701	6,017	12,93	0,889	42,785	5,024E-04	9,388E-04	3,794E-04	98,6	21,7	76,9	
	2	0,1160	10,0	1,00	20,417	7,230	6,593	12,34	0,764	62,025	6,505E-04	9,322E-04	4,274E-04	105,1	47,2	57,9	
	3	0,1079	11,6	0,99	19,770	7,287	6,242	14,35	0,825	53,214	5,946E-04	9,082E-04	4,119E-04	102,1	37,7	64,4	
	4	0,1107	10,9	1,00	20,041	7,289	6,376	14,82	0,821	54,050	6,149E-04	1,068E-03	3,933E-04	98,6	32,4	66,2	
33	1	0,0741	17,8	0,00	24,488	4,481	10,003	20,08	0,741	64,351	6,917E-04	1,084E-03	4,113E-04	103,9	43,6	60,3	
	2	0,0705	27,5	0,05	20,558	4,388	8,085	20,32	0,673	77,746	8,092E-04	9,925E-04	5,434E-04	101,5	60,0	41,4	
	3	0,0776	22,6	0,01	24,932	4,269	10,331	19,96	0,790	58,891	6,001E-04	8,661E-04	4,052E-04	117,3	49,6	67,7	
	4	0,0671	16,1	0,00	21,770	4,910	8,430	19,15	0,771	60,342	6,430E-04	8,774E-04	4,450E-04	108,6	49,9	58,7	
34	1	0,1200	12,8	0,02	47,913	25,047	11,433	17,96	0,566	106,914	4,722E-04	6,048E-04	2,445E-04	212,0	134,1	77,9	
	2	0,1043	16,8	0,09	37,044	14,387	11,328	16,83	0,575	103,845	4,688E-04	5,985E-04	2,510E-04	210,3	132,3	78,0	
	3	0,1057	12,7	0,20	40,429	19,301	10,564	16,84	0,535	115,056	5,295E-04	5,981E-04	3,547E-04	194,5	142,0	52,4	
	4	0,1013	20,7	0,15	38,563	16,815	10,874	15,33	0,520	120,381	5,202E-04	6,081E-04	3,094E-04	201,8	143,7	58,1	
35	5	0,1143	12,8	0,16	39,114	16,790	11,162	16,68	0,572	103,655	4,734E-04	5,936E-04	2,591E-04	208,3	133,4	74,9	
	1	0,1211	18,1	0,22	16,068	3,814	6,127	12,78	0,876	43,682	5,708E-04	1,125E-03	4,221E-04	85,1	19,3	65,9	
	2	0,0858	11,8	0,57	15,465	3,788	5,838	15,34	0,853	44,732	4,938E-04	9,552E-04	3,545E-04	101,2	23,7	77,5	
	3	0,1175	19,7	0,42	15,844	4,220	5,812	13,99	0,843	44,751	5,280E-04	9,202E-04	3,919E-04	94,1	24,3	69,8	
4	0,1173	17,7	0,40	15,304	3,562	5,871	14,28	0,914	36,738	4,149E-04	1,029E-03	3,398E-04	97,0	10,8	86,2		

Valores discrepantes (outliers) ou extremos.

A – Número da espécie correspondente ao nome científico relacionado na Tabela A.1 do Apêndice A.

B – Número do indivíduo.

C – Diâmetro tangencial dos poros (μm).

D – Frequência dos poros (n° de poros/ mm^2).

E – Razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de poros.

F – Diâmetro total máximo das fibras (μm).

G – Largura do lúmen das fibras (μm).

H – Espessura da parede das fibras (μm).

I – Contração volumétrica total (%).

J – Massa específica básica (g/cm^3).

L – Teor de umidade inicial (%).

M – Taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

N – Taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

O – Taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

P – Tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (h).

Q – Tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (h).

R – Tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (h).

Tabela B.1 (continuação) - Valores médios das características determinadas para os indivíduos das 41 espécies de madeiras da Amazônia estudadas.

A	B	Características estudadas														
		C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R
36	1	0,1096	16,7	0,82	14,385	6,956	3,714	15,38	0,762	62,998	6,982E-04	9,204E-04	4,843E-04	99,1	48,7	50,4
	2	0,1017	17,7	0,95	14,194	6,719	3,737	15,91	0,779	59,159	6,374E-04	8,214E-04	4,692E-04	104,8	50,3	54,5
	3	0,0895	16,9	0,96	12,740	4,881	3,929	17,89	0,819	54,564	5,516E-04	8,391E-04	3,772E-04	114,3	43,0	71,3
	4	0,1012	14,2	0,79	15,576	7,934	3,821	16,97	0,771	59,375	6,632E-04	9,077E-04	4,617E-04	99,1	44,9	54,2
37	1	0,1750	4,3	0,34	25,243	8,072	8,585	15,31	0,659	80,463	4,271E-04	5,335E-04	2,743E-04	199,0	117,4	81,5
	2	0,2150	3,9	0,15	27,382	9,586	8,898	14,53	0,556	106,186	4,995E-04	5,716E-04	3,281E-04	193,3	136,5	56,8
	3	0,1862	4,6	0,58	25,872	9,196	8,338	14,42	0,629	87,907	4,496E-04	5,387E-04	2,950E-04	196,7	125,2	71,5
	4	0,1795	4,5	0,57	26,012	14,239	5,887	15,21	0,590	89,277	4,222E-04	4,774E-04	3,050E-04	202,4	136,2	66,1
	5	0,1738	3,5	0,36	25,860	14,122	5,869	14,64	0,570	102,029	5,012E-04	5,541E-04	3,634E-04	192,2	139,1	53,1
38	1	0,2406	3,6	0,48	26,446	3,408	11,519	12,55	0,647	84,137	8,428E-04	9,796E-04	6,017E-04	101,9	66,0	35,9
	2	0,1790	3,8	0,45	22,937	3,438	9,749	14,54	0,704	72,146	7,670E-04	9,324E-04	5,498E-04	102,1	59,1	43,0
	3	0,1933	4,0	0,75	21,909	3,169	9,370	14,89	0,821	52,807	6,254E-04	9,352E-04	4,411E-04	97,6	36,5	61,2
	4	0,2196	3,8	0,28	28,365	6,238	11,063	14,54	0,735	66,896	7,584E-04	1,038E-03	4,921E-04	97,0	47,8	49,3
	5	0,2133	3,1	0,48	22,745	3,420	9,663	13,39	0,687	76,622	8,129E-04	9,704E-04	5,726E-04	99,1	59,8	39,3
39	1	0,2533	3,6	0,22	30,713	7,330	11,691	10,82	0,636	82,561	5,020E-04	5,637E-04	3,870E-04	163,4	108,3	55,1
	2	0,2975	3,1	0,47	32,379	11,642	10,369	11,05	0,535	110,209	5,568E-04	5,842E-04	4,610E-04	168,5	131,1	37,3
	3	0,2924	3,6	0,62	29,648	9,290	10,179	11,23	0,624	87,500	4,884E-04	5,484E-04	3,623E-04	173,5	117,7	55,8
	4	0,2556	3,9	0,23	28,605	8,201	10,202	9,77	0,443	147,926	6,012E-04	6,305E-04	4,667E-04	178,9	148,1	30,8
	5	0,2347	3,6	0,12	26,586	9,929	8,329	7,83	0,591	91,676	5,153E-04	5,875E-04	3,748E-04	163,4	111,1	52,3

Valores discrepantes (outliers) ou extremos.

A – Número da espécie correspondente ao nome.

B – Número relacionado na Tabela A.1 do Apêndice A.

C – Número do indivíduo.

D – Diâmetro tangencial dos poros (μm).

E – Frequência dos poros (n° de poros/ mm^2).

F – Razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de poros.

G – Diâmetro total máximo das fibras (μm).

H – Largura do lúmen das fibras (μm).

H – Espessura da parede das fibras (μm).

I – Contração volumétrica total (%).

J – Massa específica básica (g/cm^3).

L – Teor de umidade inicial (%).

M – Taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

N – Taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

O – Taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

P – Tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (h).

Q – Tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (h).

R – Tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (h).

Tabela B.1 (continuação) - Valores médios das características determinadas para os indivíduos das 41 espécies de madeiras da Amazônia estudadas.

A	B	Características estudadas														
		C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	R
	1	0,0623	19,6	0,29	16,622	7,072	4,775	21,28	0,780	61,647	6,592E-04	1,001E-03	4,119E-04	107,7	45,2	62,5
	2	0,0707	22,1	0,47	18,021	8,041	4,990	16,72	0,848	51,946	4,684E-04	9,916E-04	2,851E-04	129,8	33,6	96,1
40	3	0,0647	27,6	0,52	17,672	7,298	5,187	16,19	0,892	45,283	4,249E-04	1,055E-03	2,819E-04	126,2	23,4	102,8
	4	0,0614	23,4	0,58	17,806	7,457	5,175	16,65	0,828	53,429	5,558E-04	1,009E-03	3,515E-04	113,1	35,3	77,8
	5	0,0737	22,1	0,45	17,663	7,172	5,245	15,53	0,787	61,000	6,243E-04	9,754E-04	3,857E-04	112,5	45,6	66,9
	1	0,0833	5,5	1,00	17,452	4,044	6,704	17,63	1,080	23,628	2,583E-04	3,939E-04	1,300E-04	88,1	42,9	45,2
	2	0,1047	9,7	0,99	14,345	3,622	5,362	13,64	1,096	20,099	2,112E-04	3,966E-04	1,177E-04	75,6	25,3	50,3
41	3	0,0963	7,7	1,00	13,756	3,429	5,163	15,35	1,085	23,127	2,190E-04	3,634E-04	1,054E-04	98,8	43,5	55,4
	4	0,1027	6,6	1,00	15,515	4,365	5,575	15,16	1,083	22,203	2,545E-04	4,530E-04	1,241E-04	78,0	31,0	47,0
	5	0,1141	7,0	1,00	14,847	5,195	4,826	15,55	1,024	28,112	3,267E-04	5,028E-04	1,292E-04	91,1	48,2	42,9

Valores discrepantes (outliers) ou extremos.

A – Número da espécie correspondente ao nome científico relacionado na Tabela A.1 do Apêndice A.

B – Número do indivíduo.

C – Diâmetro tangencial dos poros (μm).

D – Frequência dos poros (n° de poros/ mm^2).

E – Razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de poros.

F – Diâmetro total máximo das fibras (μm).

G – Largura do lúmen das fibras (μm).

H – Espessura da parede das fibras (μm).

I – Contração volumétrica total (%).

J – Massa específica básica (g/cm^3).

L – Teor de umidade inicial (%).

M – Taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

N – Taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

O – Taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade ($\text{g}/\text{h}\cdot\text{cm}^2$).

P – Tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade (h).

Q – Tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade (h).

R – Tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade (h).

APÊNDICE C
HISTOGRAMAS DE FREQUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS
ESTUDADAS

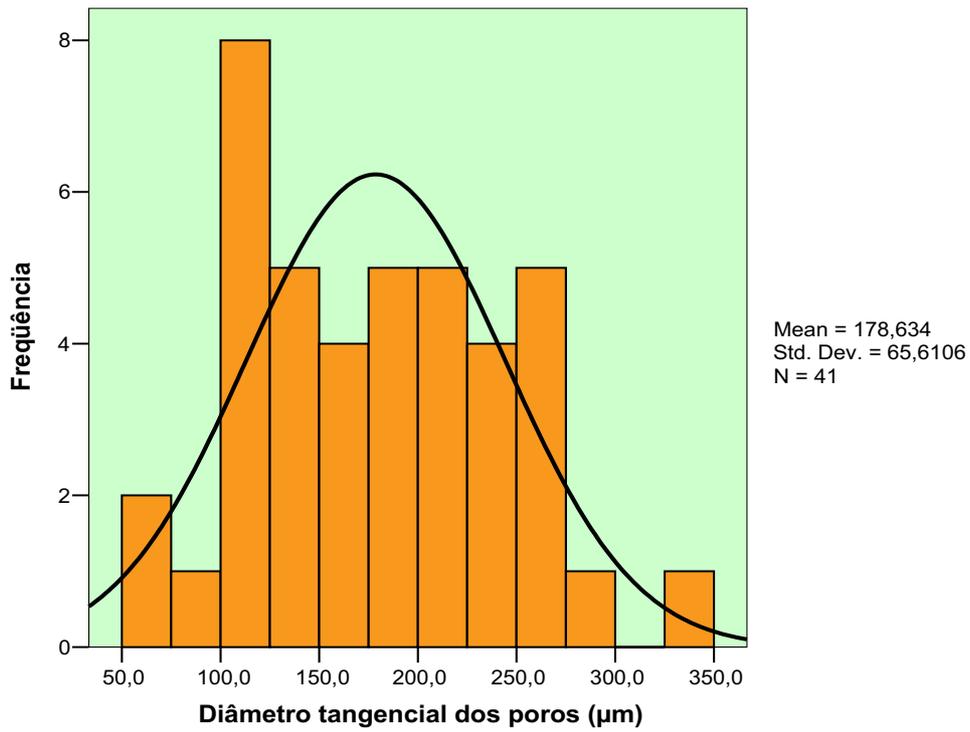


Figura C.1 – Histograma de frequência para diâmetro tangencial dos poros.

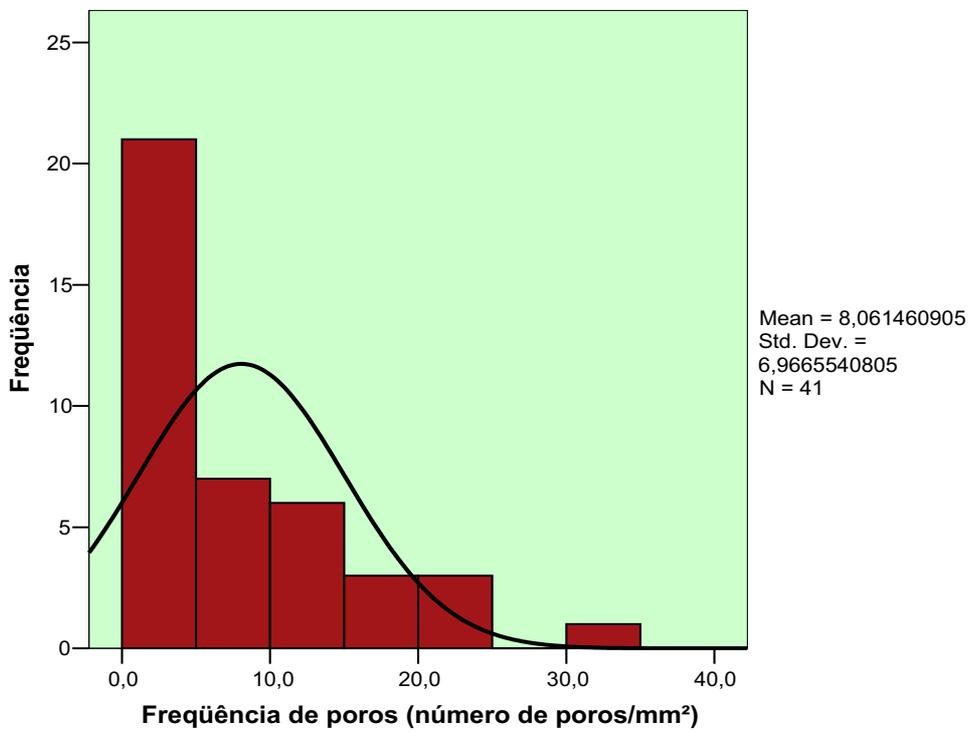


Figura C.2 – Histograma de frequência para frequência de poros.

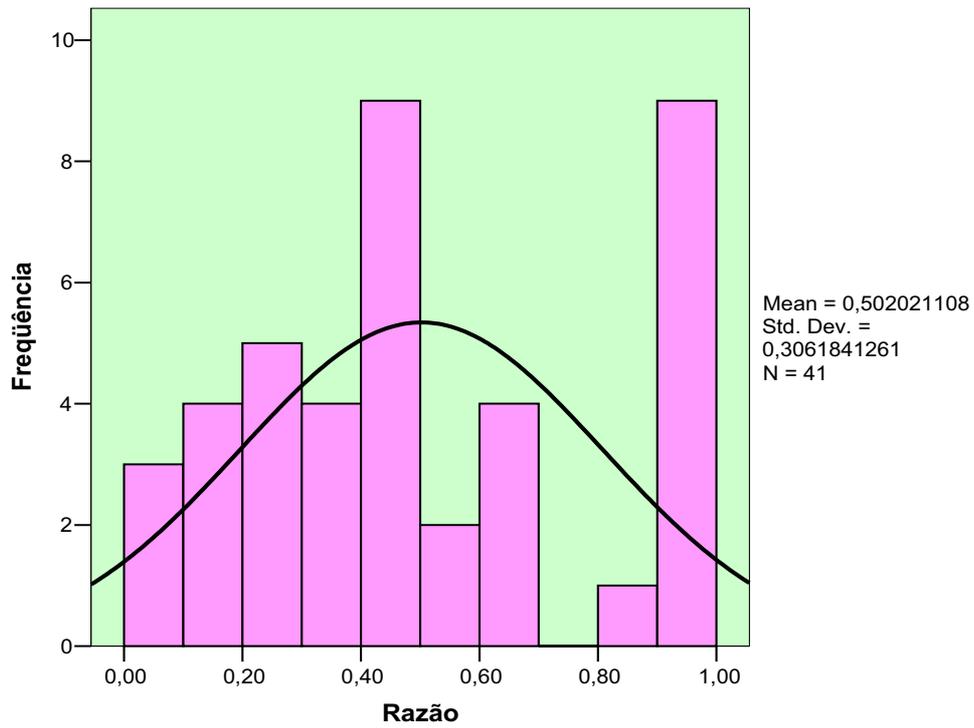


Figura C.3 – Histograma de frequência para a razão.

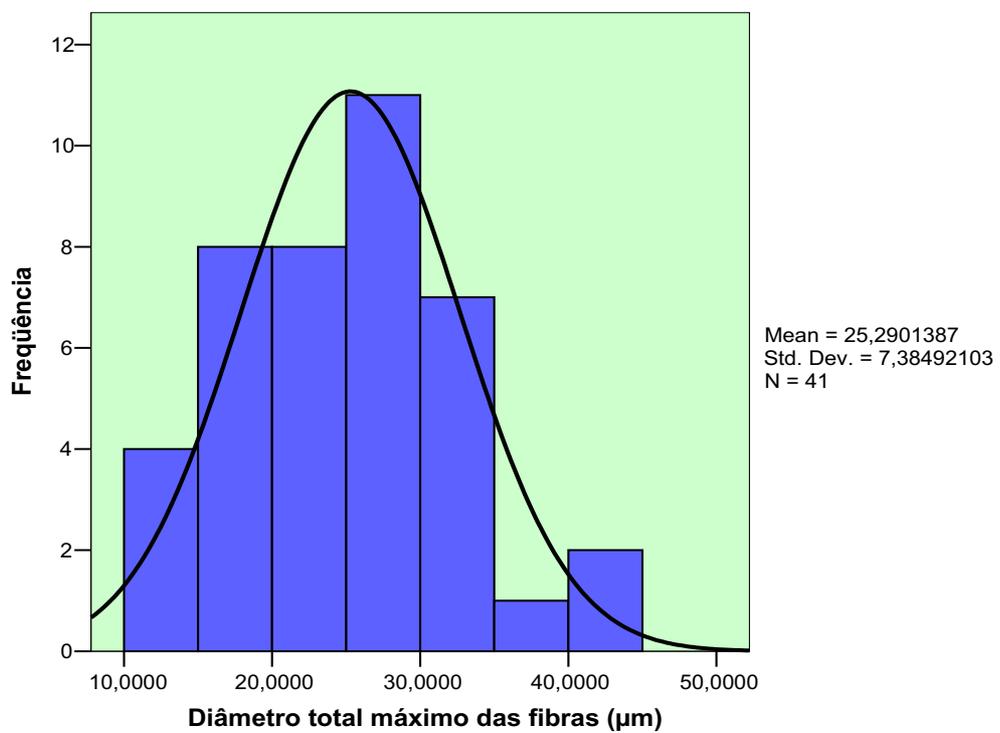


Figura C.4 – Histograma de frequência para o diâmetro total máximo das fibras.

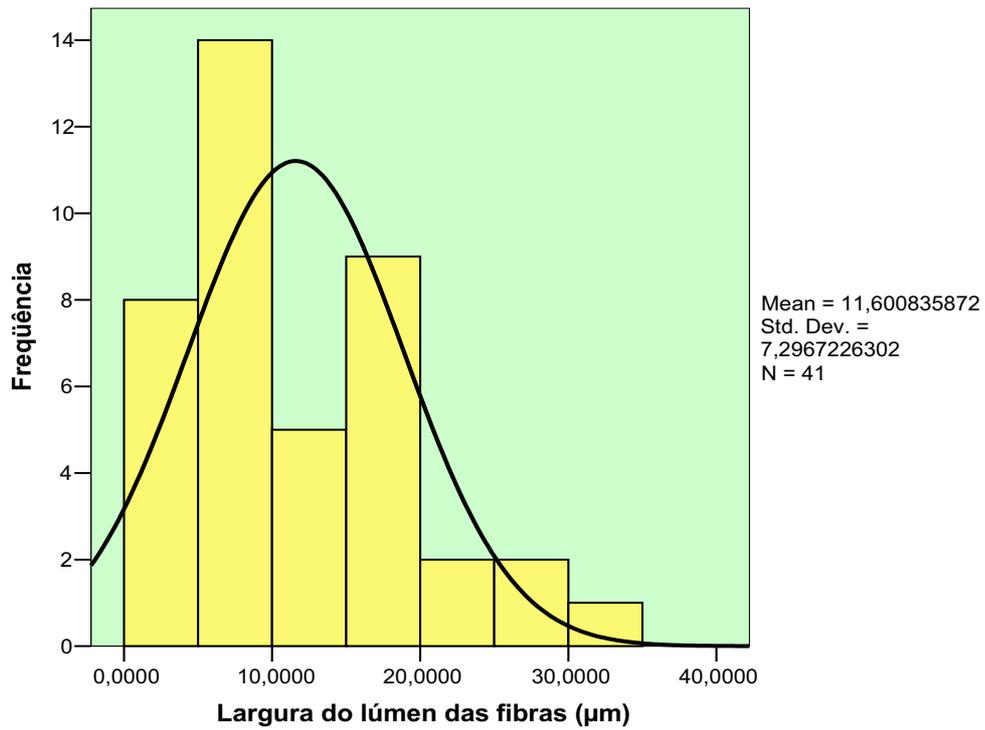


Figura C.5 – Histograma de frequência para a largura do lúmen das fibras.

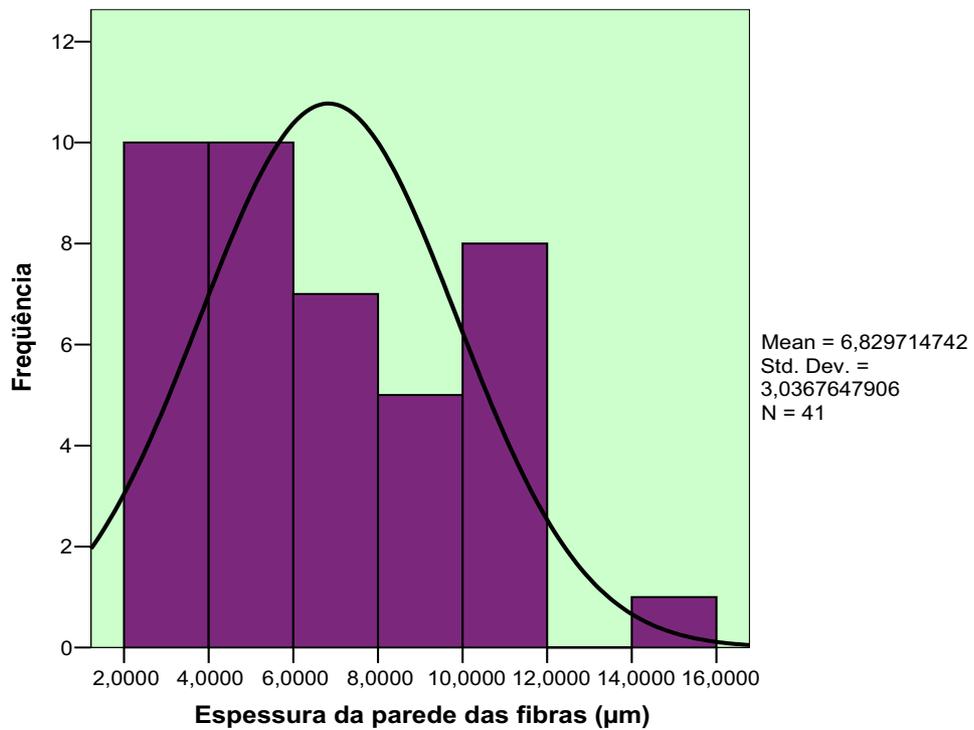


Figura C.6 – Histograma de frequência para a espessura da parede das fibras.

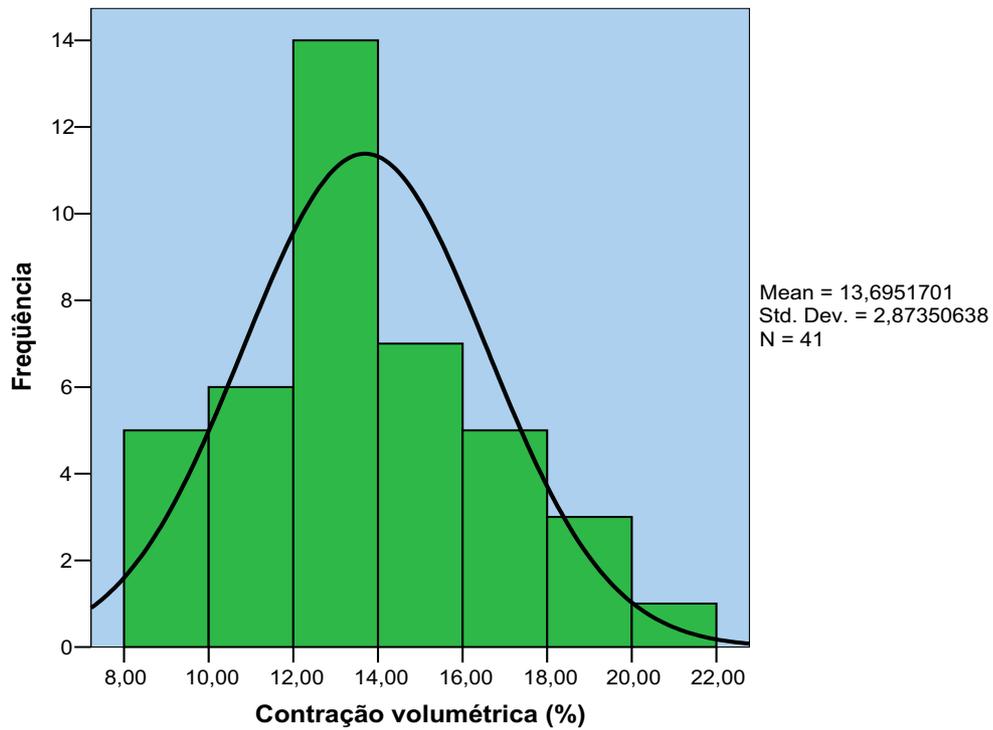


Figura C.7 – Histograma de frequência para a contração volumétrica total.

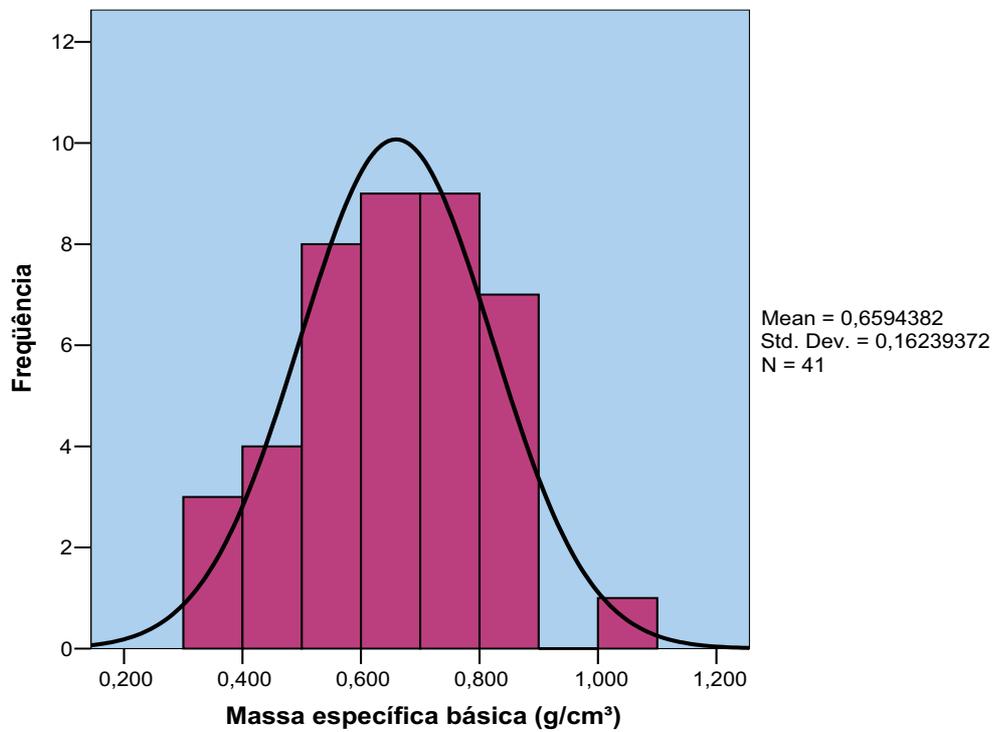


Figura C.8 – Histograma de frequência para a massa específica básica.

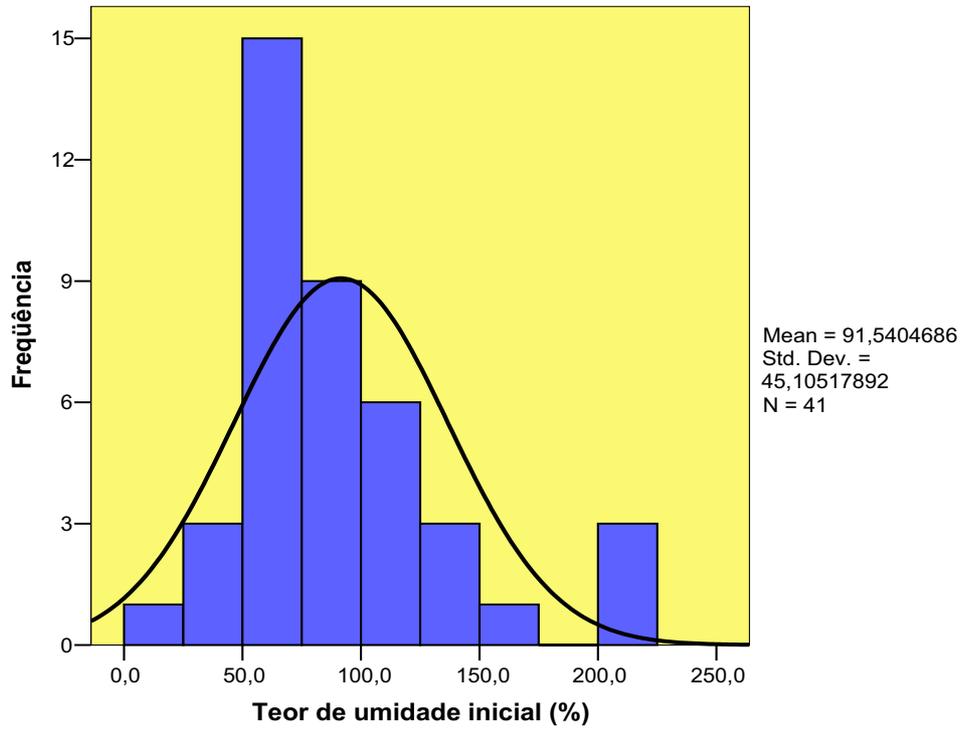


Figura C.9 – Histograma de frequência para o teor de umidade inicial.

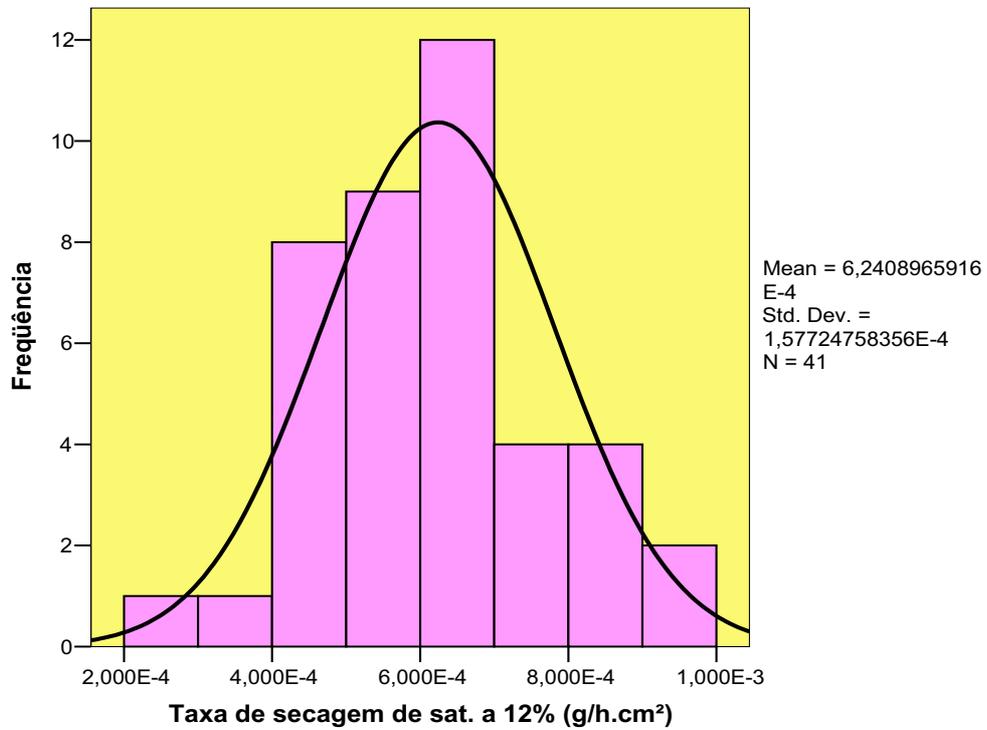


Figura C.10 – Histograma de frequência para a taxa de secagem do estado saturado até 12%.

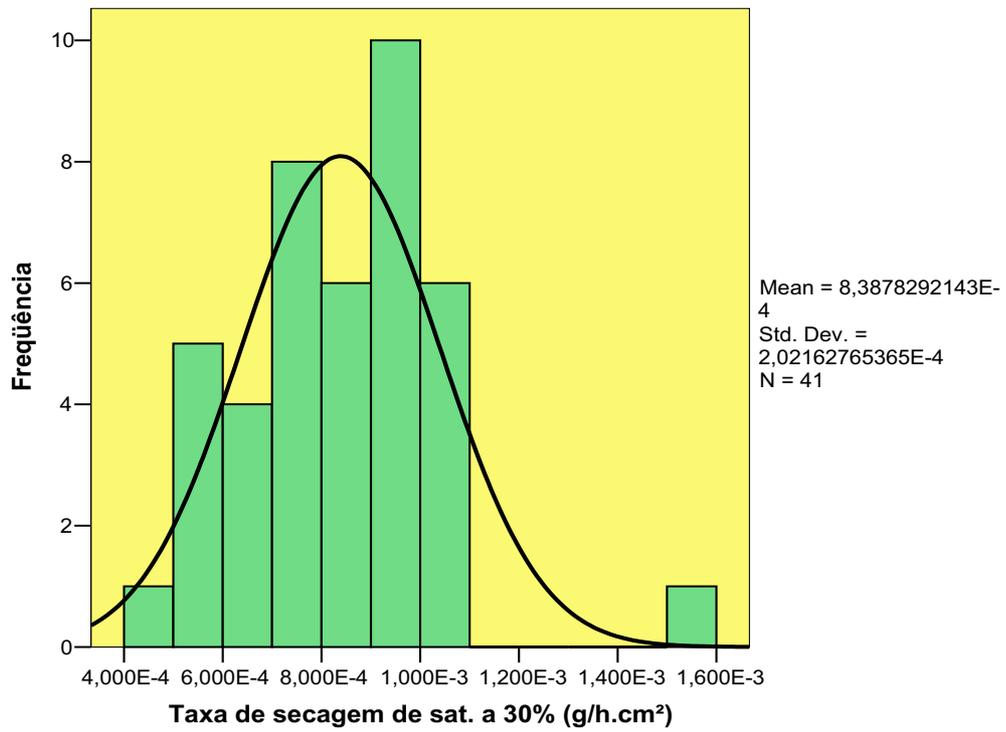


Figura C.11 – Histograma de frequência para a taxa de secagem do estado saturado até 30%.

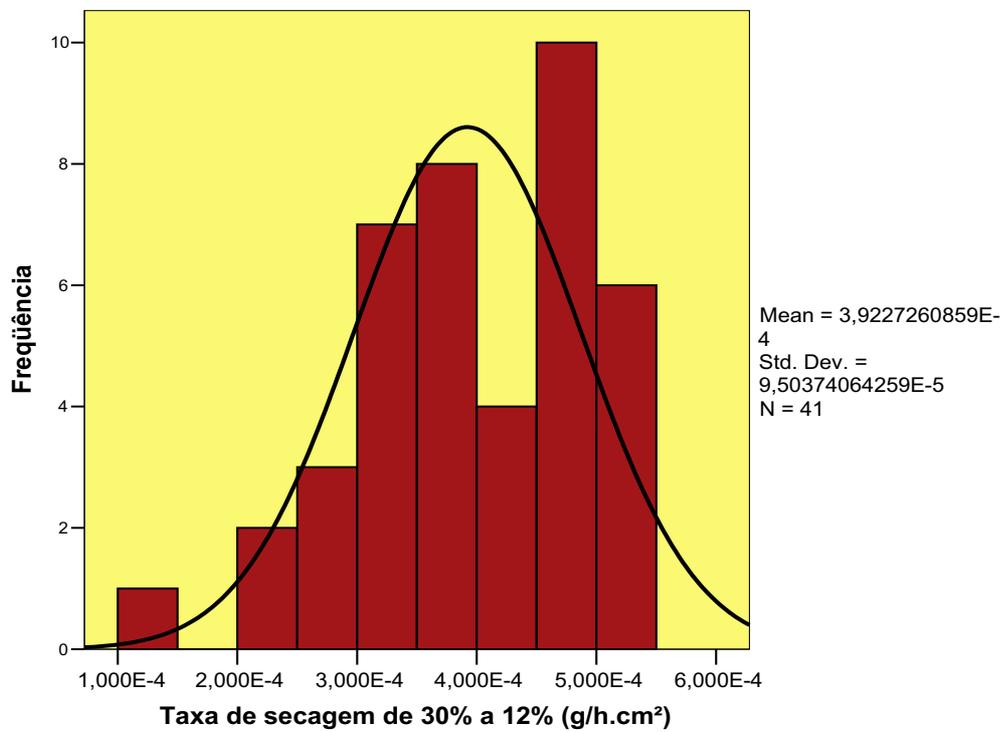


Figura C.12 – Histograma de frequência para a taxa de secagem de 30% até 12%.

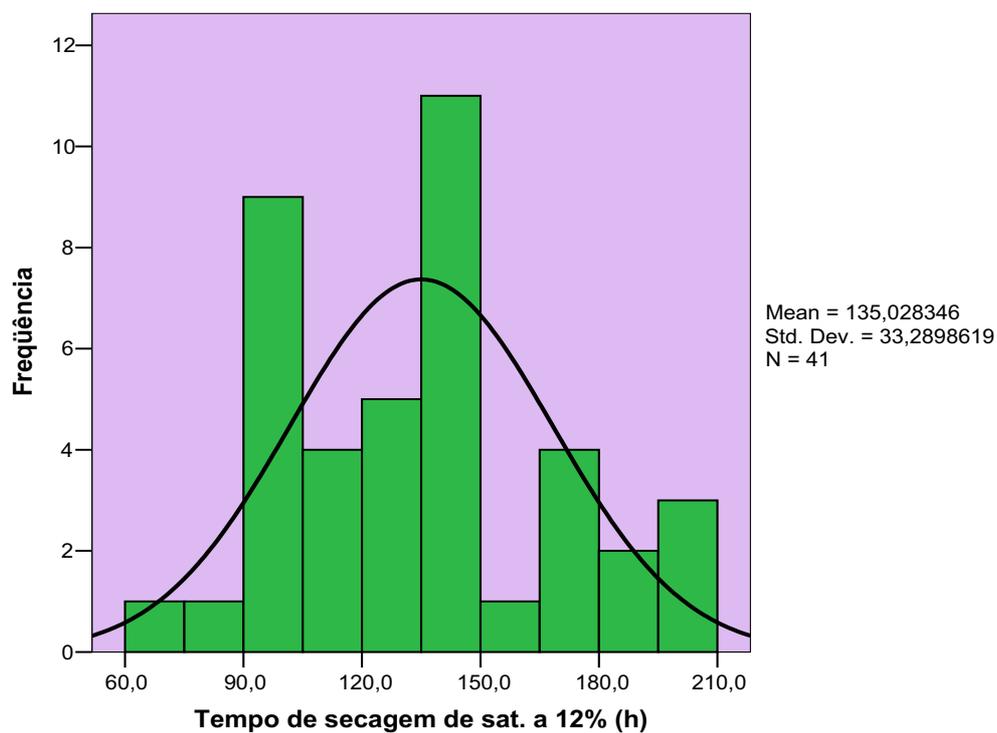


Figura C.13 – Histograma de frequência para o tempo de secagem do estado saturado até 12%.

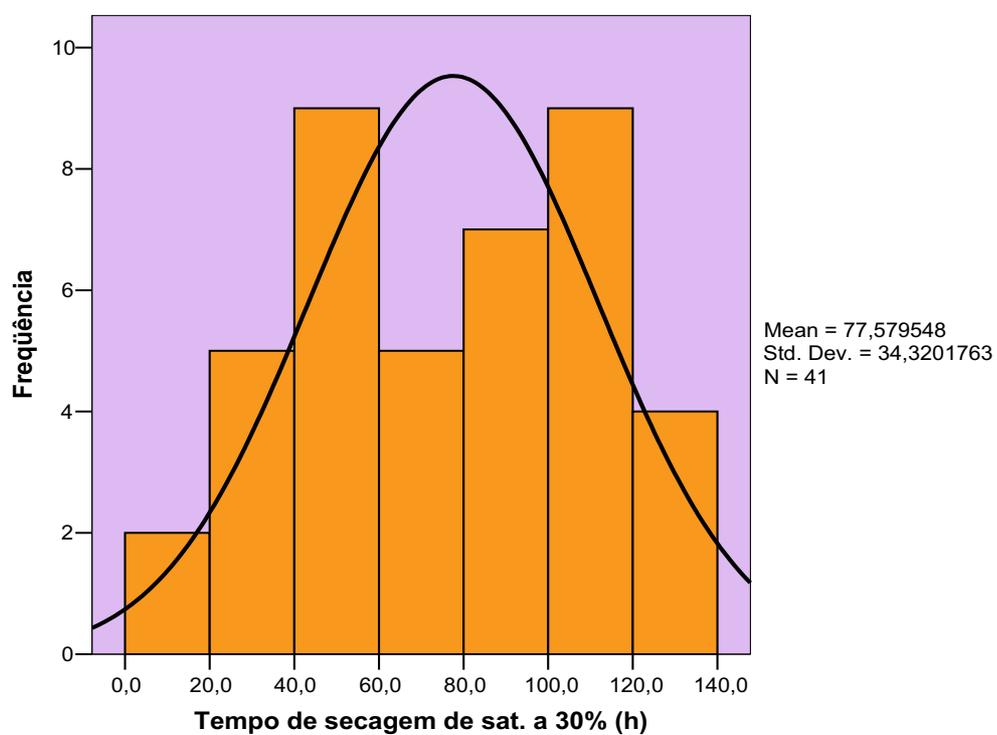


Figura C.14 – Histograma de frequência para o tempo de secagem do estado saturado até 30%.

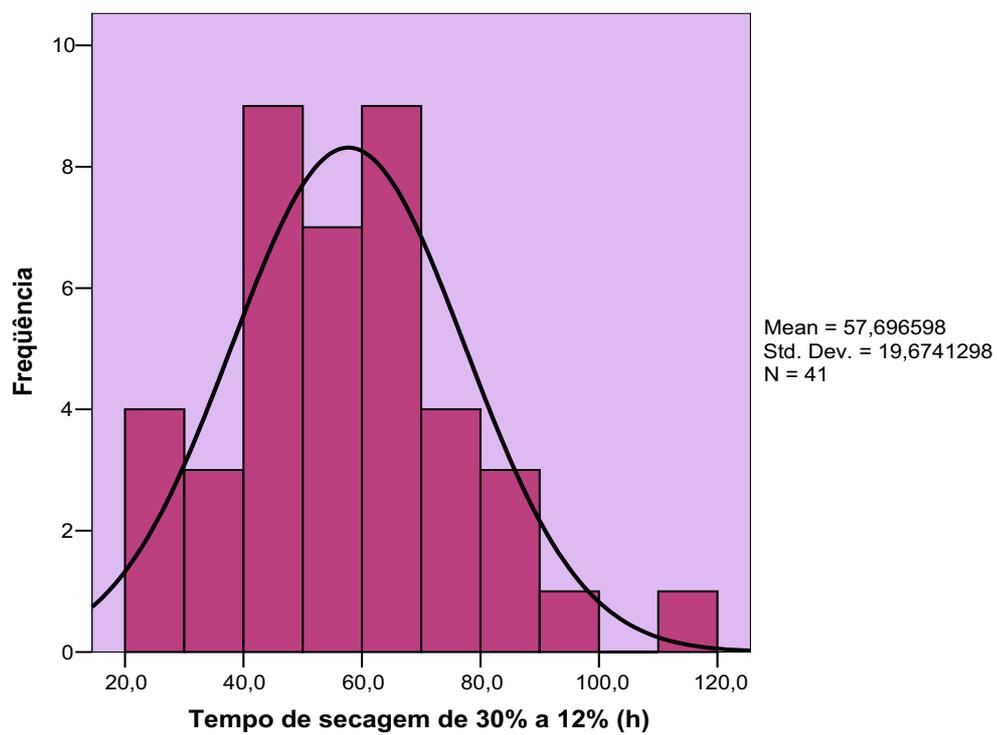


Figura C.15 – Histograma de frequência para o tempo de secagem de 30% até 12%.

APÊNDICE D
MATRIZ DE CORRELAÇÕES PARA AS CARACTERÍSTICAS
ESTUDADAS

Tabela D.1 – Matriz de correlações entre as características determinadas para as 41 espécies de madeiras estudadas.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P
Pearson A Correlation	1	-0,731**	-0,034	0,506**	0,393**	0,105	-0,275**	-0,527**	0,465**	0,383**	0,036	0,316**	0,138	0,411**	-0,433**
N	183	168	172	176	172	175	173	169	174	173	172	171	172	178	173
Pearson B Correlation		1	-0,186*	-0,279**	-0,311**	0,077	0,260**	0,309**	-0,323**	-0,215**	-0,024	-0,129	-0,091	-0,250**	0,252**
N		179	172	170	166	170	170	166	171	169	170	167	167	175	169
Pearson C Correlation			1	-0,165*	0,029	-0,247**	0,113	0,246**	-0,180*	-0,139	0,022	-0,194*	-0,114	-0,239**	0,176*
N			185	176	174	176	175	171	175	176	175	173	171	180	174
Pearson D Correlation				1	0,667**	,423**	0,036	-0,573**	0,494**	0,240**	-0,146	0,095	0,458**	0,588**	-0,261**
N				186	177	179	177	171	177	177	175	173	171	181	175
Pearson E Correlation					1	-0,378**	-0,327**	-0,768**	0,791**	0,452**	0,062	0,155*	0,408**	0,635**	-0,428**
N					183	175	172	169	174	175	173	171	169	178	174
Pearson F Correlation						1	0,461**	0,224**	-0,357**	-0,253**	-0,217**	-0,080	0,083	-0,049	0,216**
N						187	177	171	177	178	176	175	172	182	176

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

A - Diâmetro tangencial dos poros.

B - Frequência de poros.

C - Razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de poros.

D - Diâmetro total máximo das fibras.

E - Largura do lúmen das fibras.

F - Espessura da parede das fibras.

G - Contração volumétrica total.

H - Massa específica básica.

I - Teor de umidade inicial.

J - Taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade.

L - Taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade.

M - Taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade.

N - Tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade.

O - Tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade.

P - Tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade.

Tabela D.1 (continuação) – Matriz de correlações entre as características determinadas para as 41 espécies de madeiras estudadas.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P
Pearson G Correlation N							1 184	0,493** 170	-0,485** 175	-0,338** 175	-0,121 174	-0,246** 172	-0,087 169	-0,369** 179	0,415** 174
Pearson H Correlation N								1 180	-0,944** 179	-0,611** 175	0,006 171	-0,303** 170	-0,479** 167	-0,833** 180	0,598** 172
Pearson I Correlation N									1 186	0,682** 180	0,131 177	0,349** 175	0,330** 173	0,727** 185	-0,648** 177
Pearson J Correlation N										1 186	0,631** 177	0,824** 176	-0,319** 174	0,184* 182	-0,782** 178
Pearson L Correlation N											1 185	0,593** 175	-0,612** 173	-0,409** 181	-0,276** 175
Pearson M Correlation N												1 183	-0,447** 174	0,017 181	-,709** 180

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

A - Diâmetro tangencial dos poros.

B - Frequência de poros.

C - Razão entre a frequência de poros obstruídos e a frequência de poros.

D - Diâmetro total máximo das fibras.

E - Largura do lúmen das fibras.

F - Espessura da parede das fibras.

G - Contração volumétrica total.

H - Massa específica básica.

I - Teor de umidade inicial.

J - Taxa de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade.

L - Taxa de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade.

M - Taxa de secagem de 30% até 12% de teor de umidade.

N - Tempo de secagem do estado saturado até 12% de teor de umidade.

O - Tempo de secagem do estado saturado até 30% de teor de umidade.

P - Tempo de secagem de 30% até 12% de teor de umidade.

