**A SEGURANÇA DE ESTRUTURAS DE MADEIRA DETERMINADA A
PARTIR DA VARIABILIDADE DA DENSIDADE BÁSICA E DE
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MADEIRAS AMAZÔNICAS**

JADIR DE SOUZA ROCHA

Tecnólogo em Madeiras

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ NIVALDO GARCIA

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de
São Paulo, para obtenção do título de Mestre em
Ciências. Área de Concentração: Ciência e
Tecnologia de Madeiras.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Março - 1994

Ficha catalografica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

Rocha, Jadir de Souza

R672s A segurança de estruturas de madeira determinada a
partir da variabilidade da densidade básica e de pro-
priedades mecânicas de madeiras Amazônicas. Piracic-
aba, 1994.
141p.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Madeira - Densidade - Amazônia 2. Madeira - Es-
trutura - Amazônia 3. Madeira - Propriedade física -
Amazônia I. Escola Superior de Agricultura Luiz de
Queiroz, Piracicaba

CDD 634.983

**A SEGURANÇA DE ESTRUTURAS DE MADEIRA DETERMINADA A
PARTIR DA VARIABILIDADE DA DENSIDADE BÁSICA E DE
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MADEIRAS AMAZÔNICAS**

JADIR DE SOUZA ROCHA

Aprovado em: 06.04.94

Comissão julgadora:

Prof. Dr. José Nivaldo Garcia

ESALQ/USP

Prof. Dr. Francisco Rocco Lahr

EESC/USP

Dr. Rubens Dias Humphreys

IPT

Prof. Dr. José Nivaldo Garcia
Orientador

DEDICO ESTA DISSERTAÇÃO

À minha esposa Cecília e aos meus
filhos Sandro, Roberta e Susana,
pelo carinho, incentivo e
principalmente pela compreensão da
minha distância física em suas ~~vias~~
durante o transcorrer deste curso.

Aos meus pais e irmãos.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Nivaldo Garcia, pela valiosa orientação, dedicação, amizade e incentivo durante todo este curso.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, pela oportunidade que me foi dada para a realização deste curso à nível de mestrado.

Ao Laboratório de Produtos Florestais - LPF do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, pelo fornecimento dos dados individuais das propriedades físicas e mecânicas das espécies arbóreas das áreas de Curuá-Una e Tapajós.

Aos funcionários do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ / USP, especialmente ao Luis Eduardo Facco, pelos serviços computacionais prestados na execução deste trabalho.

À pesquisadora Maria de Jesus Coutinho Varejão, pela amizade e apoio incondicional em todos os momentos do meu afastamento do INPA para a realização deste curso.

Aos pesquisadores Newton Falcão, Francisco Mota e ao Eng^o. Francides Gomes Junior e suas famílias, pela preciosa ajuda durante a minha permanência em Piracicaba.

Aos pesquisadores José Murilo Ferraz Suano e Mário Siqueira, pela colaboração no levantamento dos dados

das regiões do Amapá, Balbina, Curuá-Una e Tapajós.

Aos pesquisadores Antonio Azevedo, Basílio Vianez e Estevão V. C. M. de Paula, pelo incentivo dado à minha carreira de pesquisa.

Aos pesquisadores Alberto Brito, Tereza Bessa, Vânia Câmara e aos técnicos Luís Ramos, Luís Serrão e Márcio Siqueira, pela amizade e ajuda prestada no Laboratório de Engenharia da Madeira da CPPF/INPA.

Aos pesquisadores Francisco Vasconcelos e Jorge Freitas e ao Eng^o. Domingos Macedo pela colaboração expontânea.

Aos professores do curso de pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Madeiras, pela amizade e incentivos recebidos.

À Sra. Mercedes Oliveira Ramos pela amizade, incentivo e fé.

À amiga Graciana Xavier pelo apoio recebido junto ao PDIRH/INPA.

À todos os colegas dos cursos de pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Madeiras e Ciências Florestais.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xiv
SIMBOLOGIA.....	xvi
RESUMO.....	xviii
SUMMARY.....	xxi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	6
2.1. Variabilidades das propriedades físicas e mecâ- nicas da madeira.....	7
2.2. Principais causas das variabilidades das pro- priedades físicas e mecânicas da madeira.....	12
2.2.1. Variabilidade da densidade.....	12
2.2.2. Variabilidade da retração.....	14
2.2.3. Variabilidades das propriedades mecâni- cas.....	17
2.2.4. Influência da umidade nas propriedades mecânicas.....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1. Regiões de origem das espécies estudadas.....	22
3.2. Seleção das espécies.....	23
3.3. Amostragem.....	23

3.4. Espécies estudadas.....	24
3.5. Preparação das amostras.....	29
3.6. Realização dos ensaios.....	29
3.7. Análises estatísticas.....	30
3.7.1. Coeficiente de variação.....	31
3.7.2. Análise da variância da regressão.....	31
3.7.3. Formação dos grupos de espécies por classes de densidade básica.....	31
3.7.4. Distribuição Weibull.....	33
3.7.5. Ajuste para a distribuição dos dados....	38
3.7.6. Teste de normalidade dos dados observa- dos.....	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1. Variabilidades da densidade básica, retrações tangencial, radial e volumétrica e propriedades mecânicas das madeiras estudadas nas condições verde e seca.....	40
4.2. Relações entre retrações tangencial, radial e volumétrica e entre propriedades mecânicas nas condições verde e seca com a densidade básica .	44
4.3. Agrupamento de espécies.....	56
4.4. Ajuste para a distribuição dos dados.....	60
4.5. Teste de normalidade dos dados observados.....	61

4.6. Distribuição Weibull para a densidade básica e o módulo de ruptura à flexão estática das madeiras amazônicas nas condições verde e seca...	61
4.7. Densidade básica da madeira como um estimador de propriedades mecânicas.....	68
4.8. Distribuição Weibull para grupos de espécies...	69
4.9. Probabilidades de segurança das estruturas baseadas nos grupos de espécies.....	73
4.10. Cálculo da segurança desejada através da variabilidade da densidade básica.....	86
5. CONCLUSÃO.....	91
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
ANEXOS 1.....	102
ANEXOS 2.....	127
ANEXOS 3.....	131
ANEXOS 4.....	134
ANEXOS 5.....	136
ANEXOS 6.....	138

LISTAS DE FIGURAS

FIGURA 1. Relação entre retração e conteúdo de umidade com a remoção dos extrativos e com a presença dos mesmos na madeira de kenuar (CHOONG & ACHMADI, 1991).....	16
FIGURA 2. Relação entre módulo de elasticidade (E_f) à flexão estática na condição verde e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões).....	48
FIGURA 3. Relação entre módulo de elasticidade (E_f) à flexão estática na condição seca e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões).....	48
FIGURA 4. Relação entre módulo de ruptura (f_f) à flexão estática na condição verde e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões).....	49
FIGURA 5. Relação entre módulo de ruptura (f_f) à flexão estática na condição seca e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões).....	49

- FIGURA 6. Relação entre tensão no limite de resistência (f_c) à compressão paralela às fibras na condição verde e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões)..... 50
- FIGURA 7. Relação entre tensão no limite de resistência (f_c) à compressão paralela às fibras na condição seca e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões)..... 50
- FIGURA 8. Relação entre módulo de resistência no limite de proporcionalidade (f_{cn}) à compressão normal às fibras na condição verde e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões)..... 51
- FIGURA 9. Relação entre módulo de resistência no limite de proporcionalidade (f_{cn}) à compressão normal às fibras na condição seca e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões)..... 51
- FIGURA 10. Relação entre tensão no limite de resistência (f_g) ao cisalhamento paralelo às fibras na condição verde e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões).. 52
- FIGURA 11. Relação entre tensão no limite de resistência (f_g) ao cisalhamento paralelo às fibras na condição seca e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões)..... 52

FIGURA 12. Relação entre retração tangencial (R_t) e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões).....	55
FIGURA 13. Relação entre retração radial (R_r) e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões).....	55
FIGURA 14. Relação entre retração volumétrica (R_v) e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões).....	56
FIGURA 15. Frequências de espécies arbóreas amazônicas por intervalos de classes de densidade básica.....	57
FIGURA 16. f.d.p. ajustada aos dados observados de Db das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição verde.....	62
FIGURA 17. f.d.p. ajustada aos dados observados de Db das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição seca.....	63
FIGURA 18. F.d.a. ajustada aos dados observados de Db das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição verde.....	63
FIGURA 19. F.d.a. ajustada aos dados observados de Db das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição seca.....	64

FIGURA 20. f.d.p. ajustada aos dados observados do f_f e aos dados do f_f estimados através dos valores da Db das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição verde.....	66
FIGURA 21. f.d.p. ajustada aos dados observados do f_f e aos dados do f_f estimados através dos valores da Db das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição seca.....	66
FIGURA 22. F.d.a. ajustada aos dados observados do f_f e aos dados do f_f estimados através dos valores da Db das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição verde.....	67
FIGURA 23. F.d.a. ajustada aos dados observados do f_f e aos dados do f_f estimados através dos valores da Db das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição seca.....	67
FIGURA 24. F.d.a. ajustada aos dados observados do f_f e aos dados do f_f estimados através dos valores observados da Db nos grupos de espécies 1 a 4 das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição verde.....	70
FIGURA 25. F.d.a. ajustada aos dados observados do f_f e aos dados do f_f estimados através dos valores observados da Db nos grupos de espécies 5 a 8 das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição verde.....	71

- FIGURA 26. F.d.a. ajustada aos dados observados do f_f e aos dados do f_f estimados através dos valores observados da Db nos grupos de espécies 1 a 4 das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição seca..... 71
- FIGURA 27. F.d.a. ajustada aos dados observados do f_f e aos dados do f_f estimados através dos valores observados da Db nos grupos de espécies 5 a 8 das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição seca..... 72
- FIGURA 28. F.d.a. ajustada aos dados observados de Db para os grupos de espécies 1 a 4 das madeiras da floresta amazônica..... 89
- FIGURA 29. F.d.a. ajustada aos dados observados de Db para os grupos de espécies 5 a 8 das madeiras da floresta amazônica..... 90

LISTAS DE TABELAS

TABELA 1. Valores médios dos coeficientes de variação de aproximadamente 50 espécies de madeiras testadas na condição verde.....	8
TABELA 2. Valores médios dos coeficientes de variação de 87 espécies coletadas nas regiões do Amapá, Balbina-AM, Curuá-Una e Tapajós-PA, testadas na condição seca (12% de umidade).....	9
TABELA 3. Relações entre propriedades mecânicas de espécies testadas na condição verde e densidade básica.....	10
TABELA 4. Relações entre propriedades mecânicas de espécies testadas à 12% de umidade e densidade básica.....	11
TABELA 5. Relações entre propriedades mecânicas de espécies testadas à 12% de umidade e densidade básica.....	11
TABELA 6. Relações entre retração e densidade básica e propriedades mecânicas com densidade básica..	12
TABELA 7. Relação das espécies estudadas no Amapá.....	24
TABELA 8. Relação das espécies estudadas em Balbina....	25
TABELA 9. Relação das espécies estudadas em Curuá-Una..	26
TABELA 10. Relação das espécies estudadas no Tapajós...	28

TABELA 11. Valores dos coeficientes de variação e das probabilidades de F, para a densidade básica, retrações tangencial, radial e volumétrica e propriedades mecânicas das espécies do Amapá, Balbina, Curuá-Una e Tapajós, nas condições verde e seca à 12% de umidade.....	41
TABELA 12. Análise da variância da regressão obtida entre as retrações tangencial, radial e volumétrica e densidade básica e entre propriedades mecânicas nas condições verde e seca à 12% de umidade e densidade básica.....	45
TABELA 13. Relação das espécies contidas nos grupos....	58
TABELA 14. Estimativas dos parâmetros a, b e c, da distribuição Weibull feitas em função da densidade básica observada das madeiras amazônicas estudadas nas condições verde e seca....	65

SIMBOLOGIA

Db	= Densidade básica (g/cm^3)
Db_o	= Densidade básica observada (g/cm^3)
Db_m	= Densidade básica média (g/cm^3)
Db_s	= Densidade básica solicitante (g/cm^3)
R_t	= Retração tangencial (%)
R_r	= Retração radial (%)
R_v	= Retração volumétrica (%)
E_f	= Módulo de elasticidade à flexão estática (MPa)
f_f	= Módulo de ruptura à flexão estática (MPa)
f_{fm}	= Módulo de ruptura médio à flexão estática (MPa)
f_{fmax} (MPa)	= Módulo de ruptura máximo à flexão estática (MPa)
f_{fmin} (MPa)	= Módulo de ruptura mínimo à flexão estática (MPa)
f_c	= Tensão no limite de resistência à compressão paralela às fibras (MPa)
f_{cn}	= Módulo de resistência no limite de proporcionalidade à compressão normal às fibras (MPa)
f_s	= Tensão no limite de máxima resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (MPa)
MPa	= Mega Pascal = 10 Kgf/cm^2
σ_f	= Esforço solicitante à flexão estática (MPa)
s	= Desvio padrão
CV	= Coeficiente de variação

R^2	= Coeficiente de determinação
F	= Parâmetro estatístico da distribuição F de Snedecor
P	= Probabilidade (%)
P_r	= Probabilidade de ruína
P_s	= Probabilidade de segurança
F.d.a.	= Função de densidade acumulada da distribuição Weibull
f.d.p.	= Função de densidade probabílistica da distribuição Weibull
a	= Parâmetro da posição da distribuição Weibull
b	= Parâmetro da escala da distribuição Weibull
c	= Parâmetro da forma da distribuição Weibull
N	= Tamanho da amostra
u	= Número de desvios padrão expresso pela diferença entre um determinado número e a média

**A SEGURANÇA DE ESTRUTURAS DE MADEIRA DETERMINADA A
PARTIR DA VARIABILIDADE DA DENSIDADE BÁSICA E DE
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MADEIRAS AMAZÔNICAS**

Autor: Jadir de Souza Rocha

Orientador: Prof. Dr. José Nivaldo Garcia

RESUMO:

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os dados individuais de densidade básica, de retrações e de cinco propriedades mecânicas nas condições verde e seca à 12% de umidade, obtidos de 150 espécies arbóreas, originárias das regiões do Estado do Amapá, Balbina no Estado do Amazonas, Curuá-Una e Tapajós no Pará.

Quantificaram-se as variabilidades das propriedades das espécies em cada uma destas regiões e também na floresta amazônica como um todo.

Avaliaram-se as relações entre retrações e densidade básica e entre propriedades mecânicas e densidade básica.

Formaram-se grupos de espécies a partir dos intervalos de classes adotados para a densidade básica.

Foram ajustadas as frequências de densidades probabilística e acumulada da distribuição Weibull para cada grupo para os dados de densidade básica e do módulo de ruptura à flexão estática, sendo que neste último caso, as

curvas foram estimadas sobre os próprios dados do módulo de ruptura observados e também sobre os dados do módulo de ruptura estimados a partir da própria densidade básica.

Estas curvas de frequência obtidas, foram então, utilizadas na elaboração de um critério prático de medição da segurança das estruturas.

Os resultados obtidos revelam que:

- As variabilidades das propriedades estudadas tem a mesma ordem de grandeza em todas as regiões e mesmo na floresta amazônica como um todo.
- As correlações entre retrações e densidade básica evidenciam que as primeiras não são diretamente proporcionais à segunda, enquanto que, entre propriedades mecânicas e densidade básica, os níveis de correlações são considerados satisfatórios;
- A formação de grupos de espécies por classes de densidade básica, possibilita maior e melhor aproveitamento volumétrico das madeiras amazônicas por unidade de área;
- A teoria desenvolvida possibilita quantificar a segurança das estruturas de madeira, tanto com os valores do módulo de ruptura à flexão estática como através de densidade básica;
- Os resultados alcançados com a aplicação da distribuição Weibull, permitem assegurar que a simples determinação da densidade básica é suficiente para estimar as propriedades de resistência em amostras pequenas, livres de defeitos,

- para usá-las nos cálculos das estruturas de madeira;
- Os níveis de segurança adotados pela norma brasileira nas estruturas de madeira são, do ponto de vista material, exageradamente elevados. Esta constatação implica na necessidade de reavaliação dos níveis de segurança das estruturas de madeira.

**THE SECURITY OF TIMBER STRUCTURES DETERMINED FROM
THE VARIABILITY OF BASIC DENSITY AND FROM THE
MECHANICAL PROPERTIES OF AMAZONIAN TIMBERS**

Author: Jadir de Souza Rocha

Adviser: Prof. Dr. José Nivaldo Garcia

SUMMARY:

To develop this research, individual data on basic density, shrinkage, and five mechanical properties, were used upon wet and dry conditions this at 12% of humidity.

The data were obtained from 150 wood tree species collected from three regions: State of Amapá, State of Amazonas (Balbina), and State of Pará (Curuá-Una and Tapajós).

The species' properties variability was determined for each region as well as for the whole of the Amazonian rain forest.

The relationship between shrinkage and basic density, and between mechanical properties and basic density were evaluated.

Groups of species were organized based on basic density using class intervals with the related property.

The probability density function and the

correlative distribution function from the Weibull distribution were adjusted for each group of basic density on modulus of rupture at static bending. From this group the curves were estimated from the data of modulus of rupture observed, and also from modulus of rupture at static bending data estimated from the basic density.

Finally, the security of timber structures was investigated.

The results showed that:

- The variability of the studied properties for each region and for the amazonian rain forest, seemed entirely uniform.
- The relationship between shrinkage and basic density makes clear that the first one isn't directly related with the second one. Meanwhile, between mechanical properties and basic density, the correlations are much higher.
- The classification of the species by class intervals of basic density, would allow for a better utilization of the Amazonian timbers per unity of area.
- The results obtained with the Weibull distribution, showed that: the determination of the basic density in small samples without defects is sufficient to estimate mechanical properties, for current use in timber structures calculus.
- The theory developed on this work let us to evaluate the security of wood structures, using data related to modulus

of rupture at static bending, or basic density.

- Levels of security adopted by the Brazilian standard for wood structure are extremely high.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material heterogêneo por ser formada por diversos tipos de células capacitadas a desempenhar, na árvore, funções específicas e também por ser constituída de uma série de compostos químicos orgânicos e inorgânicos, além de sofrer influência de fatores que afetam o desenvolvimento das árvores, tais como clima, solo, local de crescimento e genéticos. Consequentemente, este conjunto de fatores são responsáveis pelas variabilidades das características e propriedades da madeira.

A experiência e a literatura têm mostrado que as variabilidades nas propriedades físicas e mecânicas da madeira não ocorrem somente entre diferentes espécies, mas também entre árvores de uma mesma espécie e na madeira de uma mesma árvore. Nem mesmo duas amostras de uma mesma árvore apresentam valores de propriedades físicas e mecânicas absolutamente iguais.

Assim, as propriedades físicas e mecânicas são dependentes da estrutura anatômica e composição química da madeira e, estas por sua vez, são normalmente influenciadas pelos fatores já mencionados.

Em se tratando do imenso potencial florestal da Amazônia, sabe-se que a heterogeneidade da floresta é responsável pela grande diversidade de espécies arbóreas, onde, a maioria delas, apresenta um reduzido número de árvores por hectare.

Se por um lado, se considera que esta heterogeneidade da floresta se apresenta como um fator negativo, no que diz respeito à baixa quantidade volumétrica de madeira obtida de uma espécie por unidade de área, por outro lado é substancialmente positivo, tendo-se em vista que a grande diversidade de espécies possibilita um adequado agrupamento de espécies para as diversas categorias de usos finais. É necessário, entretanto, o conhecimento das variabilidades de suas características e propriedades e de suas implicações no uso final.

Estimativas referentes ao potencial florestal da região amazônica, revelam que em território brasileiro, a floresta cobre aproximadamente 260 milhões de hectares (KNOWLES, 1971; PANDOLFO, 1978, 1979).

Essa vasta extensão, divide-se em cerca de 6,5 milhões de hectares na floresta de várzea e os 253,5 milhões de hectares restantes são ocupados pela floresta de terra-firme (PANDOLFO, 1978, 1979). Segundo a autora os inventários florestais realizados na região, registram um potencial médio de 90 m³/ha para a várzea e 178 m³/ha para a terra-firme.

Estudos realizados por KNOWLES (1971), revelam

que o volume de madeira em pé de todas as árvores que apresentam diâmetro à altura do peito, maior do que 25 cm, totalizam em média 200 m³/ha. PANDOLFO (1978, 1979), baseando-se nos dados do Projeto RADAM, assegura que o volume de madeira em pé na região é superior a 45,5 bilhões de metros cúbicos.

Da literatura existente sobre estudos tecnológicos das madeiras da Amazônia Brasileira, pode-se estimar um total de 250 espécies, das quais, aproximadamente 50, são comercializadas em volume significativo.

Levando-se em consideração que na Amazônia Brasileira existem cerca de 3000 espécies arbóreas, enquanto, LOUREIRO et alii (1977), admitem a existência de 4000 espécies, pode-se concluir que a participação de espécies da floresta amazônica é muito pequena para o comércio de madeiras tropicais.

Esse pequeno aproveitamento das madeiras da região tem duas causas principais a saber:

- A exploração seletiva das madeiras, isto é, são extraídas da floresta somente as espécies tradicionalmente comercializadas ao longo dos anos.
- O desconhecimento tecnológico em torno da maioria das madeiras da Amazônia Brasileira.

Mediante os dados apresentados, estudos a cerca das variabilidades das madeiras amazônicas, como também a criação de alternativas que possam viabilizar a obtenção

das características e propriedades das espécies pouco conhecidas e/ou desconhecidas, de forma mais rápida, devem ser intensificados cada vez mais, objetivando maior e melhor utilização do imenso potencial florestal da região amazônica.

Por essa razão, o presente trabalho pretende alcançar os objetivos seguintes:

- Quantificar as variabilidades de propriedades físicas e mecânicas de espécies arbóreas, determinadas nas condições verde e seca, de diferentes regiões da Amazônia Brasileira e também na floresta amazônica como um todo;
- Estudar as relações entre as propriedades mecânicas, determinadas nas condições verde e seca com a densidade básica, na tentativa de criar-se um indicador que possibilite estimar as propriedades mecânicas da madeira;
- Propor e comparar as formas de distribuição dos valores das propriedades físicas e mecânicas das madeiras amazônicas, determinadas na condição verde, com aquelas determinadas na condição seca;
- Fazer uma avaliação crítica da necessidade de estudarem-se as madeiras nas condições verde e seca;
- Formar grupos de espécies visando a utilização de espécies não tradicionais, sem prejuízo da qualidade e segurança das estruturas, e com possibilidade de obter maior disponibilidade volumétrica de madeira por unidade de área;
- Quantificar a segurança das estruturas de madeira, através da distribuição Weibull e compará-la com as seguranças

exigidas pela norma brasileira e com aquela calculada sobre uma suposta distribuição normal.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A consulta bibliográfica foi dividida em duas fases, onde:

- Buscou-se na literatura informações a cerca de investigações que quantifiquem as variabilidades das propriedades físicas e mecânicas da madeira, dando-se maior ênfase, sobretudo, no que diz respeito aos estudos realizados com espécies arbóreas da região amazônica;
- Posteriormente, fez-se levantamento bibliográfico objetivando ampliar o conhecimento referente aos resultados e considerações mais importantes a cerca das influências de fatores inerentes à madeira, evidenciando aqueles que são os principais responsáveis pelas variabilidades das propriedades físicas e mecânicas da madeira. Desse modo, procurou-se informações no que tange à influência da estrutura anatômica, efeitos dos extrativos e da umidade da madeira visando explicar de forma consistente as causas das variabilidades das citadas propriedades.

2.1. Variabilidades das propriedades físicas e mecânicas da madeira

Nas investigações realizadas por PAULA et alii (1986), com propriedades mecânicas de trinta e nove espécies arbóreas do Estado do Amazonas, verificou-se que algumas espécies apresentaram uma grande variação nos seus resultados, sendo comum nas que possuem cerne e alburno distintos. Observou-se também que, outras espécies com densidade básica similares mostram valores das propriedades mecânicas bastante diferenciados. Com relação a esta última observação, NASCIMENTO (1993), realizando análises estatísticas objetivando investigar as variabilidades da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras da Amazônia, constatou situação idêntica.

Nesse caso particular, ROCHA et alii (1988), ressaltam que não se deve afirmar de imediato, que quanto mais densa for a madeira, mais resistente ela será, pois a organização e dimensões dos elementos anatômicos exercem influências na resistência da madeira. Portanto, em função disso, as propriedades mecânicas podem ser aumentadas ou diminuídas, quando amostras de madeira são submetidas a determinados tipos de esforços.

Dezesseis espécies arbóreas amazônicas coletadas de mais de uma centena de serrarias instaladas nas cidades de Belém, Manaus e Santarém, foram estudadas por

SLOOTEN et alii (1976). Os valores médios dos coeficientes de variação de algumas propriedades mecânicas na condição verde, variaram de 4,0% a 37,0%.

O U.S. FOREST PRODUCTS LABORATORY (1974), determinou os coeficientes de variação para algumas propriedades mecânicas de madeiras comercializadas nos Estados Unidos, conforme Tabela 1. Os valores obtidos são baseados nos resultados de testes de aproximadamente 50 espécies ensaiadas na condição verde. O autor admite ainda que para a condição seca (12% de umidade), as madeiras apresentam valores, aproximadamente, na mesma grandeza.

Tabela 1. Valores médios dos coeficientes de variação de aproximadamente 50 espécies de madeiras testadas na condição verde

Propriedades físicas e mecânicas	Db	E _f	f _f	f _c	f _{cn}	f _s
coeficiente de variação (%)	10	22	16	18	28	14

Fonte: U. S. FOREST PRODUCTS LABORATORY (1974) - adaptada

NASCIMENTO (1993), encontrou os coeficientes de variação de madeiras testadas à 12% de umidade, as quais são originárias das regiões do Amapá, Balbina-AM, Curuá-Una e Tapajós-PA. Os resultados apresentados na Tabela 2, são os valores médios dos coeficientes de variação englobando essas

quatro regiões.

Tabela 2. Valores médios dos coeficientes de variação de 87 espécies coletadas nas regiões do Amapá, Balbina-AM, Curuá-Una e Tapajós-PA, testadas na condição seca (12% de umidade)

Propriedades físicas e mecânicas	Db	E_f	f_f	f_c	f_{cn}	f_s
coeficiente de variação (%)	24,9	23,2	31,6	28,7	46,4	33,5

Fonte: NASCIMENTO (1993) - adaptada

Observando-se as duas tabelas, verifica-se que os coeficientes de variação encontrados por NASCIMENTO (1993), são bastante elevados em relação aos obtidos pelo U. S. FOREST PRODUCTS LABORATORY (1974), sendo que neste último, existe excessão no módulo de elasticidade à flexão estática (E_f).

As investigações realizadas por PAULA et alii (1986), permitiram-lhes afirmar que o coeficiente de variação em relação à média de uma mesma espécie ensaiada na condição seca, é superior aos valores obtidos na condição verde. Os autores explicam que a causa desta maior variação deve-se ao fato de que a madeira, ao ser submetida ao processo de climatização para alcançar o teor de 12% de umidade, sofre alterações físico-químicas, as quais contribuem para aumentar

a variação da resistência de uma mesma espécie.

Procurando relacionar propriedades mecânicas e densidade básica de madeiras do Estado do Amazonas, PAULA et alii (1986), através de uma análise de regressão simples, encontraram coeficientes de determinação (R^2) variando de 0,64 a 0,76 para madeiras testadas na condição verde e 0,58 a 0,77 para madeiras secas a 12% de umidade, conforme Tabelas 3 e 4.

Os coeficientes de determinação obtidos por NASCIMENTO (1993), em madeiras do Amapá, Balbina, Curuá-Una e Tapajós, todas testadas à 12% de umidade, variaram de 0,56 a 0,88, conforme Tabela 5. Dentre essas quatro áreas, as madeiras de Balbina foram as que apresentaram coeficientes de determinação mais próximos dos obtidos por PAULA et alii (1986), principalmente na condição verde.

Tabela 3. Relações entre propriedades mecânicas de 39 espécies testadas na condição verde e densidade básica

Regressão	R^2
$E_f \times Db$	0,65
$f_f \times Db$	0,76
$f_c \times Db$	0,76
$f_{cn} \times Db$	0,72
$f_s \times Db$	0,64

Fonte: PAULA et alii (1986) - adaptada

Tabela 4. Relações entre propriedades mecânicas de 39 espécies testadas à 12% de umidade e densidade básica

Regressão	R ²
$E_f \times Db$	0,61
$f_f \times Db$	0,58
$f_c \times Db$	0,76
$f_{cn} \times Db$	0,77
$f_s \times Db$	0,59

Fonte: PAULA et alii (1986) - adaptada

Tabela 5. Relações entre propriedades mecânicas de 87 espécies testadas à 12% de umidade e densidade básica

Regressão	REGIÕES			
	Amapá	Balbina	Curuá-Una	Tapajós
$E_f \times Db$	0,78	0,69	0,74	0,56
$f_f \times Db$	0,88	0,72	0,83	0,68
$f_c \times Db$	0,86	0,78	0,79	0,68
$f_{cn} \times Db$	0,81	0,70	0,88	0,67
$f_s \times Db$	0,69	0,66	0,76	0,56

Fonte: NASCIMENTO (1993)

Nos estudos desenvolvidos por CHIMELO (1980), com 32 espécies arbóreas da estação experimental de Curuá-Una, foram obtidos coeficientes de determinação variando de 0,02 a 0,09 nas relações entre as retrações tangencial e radial e densidade básica e de 0,63 a 0,78 nas relações entre

propriedades mecânicas (condição verde) e densidade básica, conforme Tabela 6.

Tabela 6. Relações entre retração e densidade básica e propriedades mecânicas com densidade básica

Regressão	R ²
Rt x Db	0,02
Rr x Db	0,09
E _f x Db	0,68
f _f x Db	0,78
f _c x Db	0,78
f _{cn} x Db	0,73
f _s x Db	0,66

Fonte: CHIMELO (1980) - adaptada

2.2. Principais causas das variabilidades das propriedades físicas e mecânicas da madeira

2.2.1. Variabilidade da densidade

Estudos efetuados por KOLLMANN & CÔTÉ (1968), revelam que variações na densidade da madeira são ocasionadas pelas diferenças na sua estrutura e devido à presença de constituintes estranhos. Segundo estes autores, a estrutura da madeira é caracterizada por quantidades proporcionais de diferentes tipos de células, tais como fibras, traqueídes, vasos, parênquimas, canais de resinas, raios e pelas suas dimensões, especialmente no que concerne à espessura das

paredes celulares.

Também a localização no sentido longitudinal e transversal na árvore, exerce um considerável efeito sobre a densidade da madeira e, conseqüentemente, sobre as propriedades mecânicas.

De acordo com Prutz (1941), citado por KOLLMANN & CÔTÉ (1968), madeiras tropicais são em média 23% mais pesadas do que espécies temperadas do hemisfério norte e de zona subtropical. Madeiras com grande quantidade de constituintes minerais (oxilato e silicato de cálcio) são pesadas e duras. É mencionando ainda que a presença de tiloses nos vasos aumenta a densidade, como também a presença de alto conteúdo de resina.

As principais características das madeiras pesadas são compacidade do tecido fibroso, pequena quantidade de vasos e parênquimas, além de uma forte lignificação das paredes celulares. Ao passo que, madeiras com tecido parenquimático abundante, poros numerosos ou de grande diâmetro, pequena porcentagem de fibras, paredes delgadas, são consideradas leves (PEREIRA, s/d).

GARCIA & QUIRINO (1993), estudando a madeira de ipê (*Tabebuia* sp), constataram que a remoção de extrativos, equivalente a 6,27% do peso das amostras, ocasionou um decréscimo de 2,30% no valor da densidade básica.

Segundo considerações feitas por JANKOWSKY

(1979), a deposição dos extrativos pode ocorrer nos espaços intra e inter-celulares, na superfície e no interior da parede celular, contribuindo para aumentar o peso seco da madeira e também, diminuirá a disponibilidade dos espaços para a fixação das moléculas de água. O autor explica que isso acontece devido à absorção da umidade do ar pela madeira ocorrer quase que exclusivamente na parede celular e que sua espessura, normalmente, tem relação com a densidade básica.

Visando detectar a localização dos extrativos na madeira, CHOONG (1969), relata que aqueles solúveis em água localizam-se, na sua totalidade, dentro da parede celular. Enquanto, aqueles insolúveis em água concentram-se, em uma moderada quantidade, nos capilares grossos, podendo portanto, afetar o peso da madeira. Por essa razão, o autor admite que a remoção dos extrativos dos capilares, deve afetar a higroscopicidade e, conseqüentemente, ocasionar a diminuição do peso inerte da madeira.

Investigações realizadas por FOELKEL et alii (1974), em espécies plantadas de *Eucalyptus*, mostraram que uma dada espécie, com o aumento da idade, ocorreu um ligeiro acréscimo na densidade básica, aumentando os teores de extrativos.

2.2.2. Variabilidade da retração

Nas observações feitas por STAMM (1964), é

revelado que os raios, alternância dos lenhos inicial e tardio, a quantidade de pontoações e respectivas localizações, assim como o desvio de orientação das microfibrilas, quando estas contornam as pontoações, afetam a retração transversal da madeira.

Os efeitos combinados da retração tangencial e radial ocasionam a mudança da forma das peças da madeira por causa das diferenças na retração e curvatura dos anéis de crescimento (U. S. FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1974). É explicado também que madeira de reação ou madeira de compressão, em espécies de madeira mole ou madeira de tensão em espécies de madeiras duras, tendem a se contrair excessivamente ao longo da grã. Madeira próxima ao centro da árvore (madeira juvenil), de algumas espécies, também se contrae excessivamente. Madeira com grã reversa, exibe diminuta retração longitudinalmente.

Em estudo recente, CHOONG & ACHMADI (1991), desenvolvendo experimentação com 16 espécies de madeiras tropicais, verificaram que a remoção dos extrativos provocou uma retração excessiva nas madeiras, conforme pode ser observado na Figura 1.

Estudos desenvolvidos por TARKOW & KRUEGER (1961), e Stone & Scallan (1967), citados por CHAFE (1987), revelam que apreciáveis quantidades de extrativos localizam-se nas paredes celulares da madeira. Conforme os relatos destes autores, pode-se admitir que devido aos extrativos

ocuparem espaços nas paredes celulares, os mesmos são, em efeito, agentes de enchimento natural que contribuem para uma menor retração da madeira durante a remoção da água.

Figura 1. Relação entre retração e conteúdo de umidade com a remoção dos extrativos e com a presença dos mesmos na madeira de kenuar (CHOONG & ACHMADI, 1991)

ARGANBRIGHT (1971), explica que a influência dos extrativos, não somente nas propriedades mecânicas, mas também nas propriedades físicas, depende dos diferentes componentes químicos que compreendem os extrativos totais e suas quantidades relativas.

2.2.3. Variabilidades das propriedades mecânicas

De uma maneira geral, a literatura menciona que as propriedades mecânicas da madeira não variam somente com a densidade, mas também com a estrutura anatômica, os extrativos e a umidade.

Segundo considerações feitas por BURGER & RICHTER (1991), os vasos, devido à sua grande dimensão, e às paredes delgadas, são estruturas fracas. Portanto, sua abundância, dimensão e distribuição influem na resistência mecânica da madeira. O lenho com porosidade em anel (poros grandes acumulados no início do período vegetativo) é menos resistente a determinados esforços mecânicos do que o lenho com porosidade difusa (poros distribuídos uniformemente ao longo do anel de crescimento). Os autores revelam também que o parênquima axial é um tecido fraco, cuja abundância e distribuição, principalmente quando se apresenta formando amplas faixas contínuas, pode ocasionar um considerável decréscimo nas propriedades mecânicas da madeira.

As investigações realizadas por PANSWIN & ZEEUW (1970), revelam que a capacidade da madeira em resistir a um determinado esforço não é somente concernente à quantidade total do material presente na parede celular, mas também das proporções dos componentes da parede celular existentes em uma dada amostra de madeira e, ainda da quantidade de extrativos no lúmen das células.

Uma amostra de madeira apresentando fibras a um determinado ângulo em relação ao eixo longitudinal, estará sujeita aos esforços diretos de tração e compressão, contribuindo para que os componentes dos esforços sejam induzidos por meio da grã. Isto torna a madeira menos resistente neste sentido do que ao longo do seu eixo longitudinal. Desse modo, madeiras com ângulo de inclinação acentuado da grã, apresentam baixa resistência mecânica (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968).

Luxford (1931), citado por ARGANBRIGHT (1971), revela que, aumentando os teores de extrativos da madeira, geralmente, aumentam os valores de propriedades mecânicas, tais como compressão paralela às fibras, módulo de ruptura à flexão estática e resistência ao choque.

O grau com que os extrativos influenciam a resistência, é aparentemente, uma função de suas quantidades, do teor de umidade da madeira e da propriedade mecânica considerada. Um pequeno acréscimo no módulo de ruptura e na resistência à compressão paralela às fibras tem sido detectado em algumas espécies que contêm extrativos (U. S. FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1974).

Pesquisas desenvolvidas por ARGANBRIGHT (1971), visando detectar possíveis influências dos extrativos na madeira de "redwood" (*Sequoia sempervirens*) submetida ao ensaio de flexão estática nas condições verde e seca à 12% de umidade, revelaram que a presença de extrativos não aumenta

a resistência à flexão, como anteriormente foi mencionado por Luxford (1931). Os valores do módulo de ruptura, verde e seco, não apresentaram relação com a quantidade de extrativos presentes. Enquanto que, os valores do módulo de elasticidade, verde e seco, diminuíram com o aumento da quantidade de extrativos.

A razão pela qual o módulo de elasticidade é afetado pelos extrativos, enquanto, o módulo de ruptura não sofre a influência destes, ainda permanece inexplicável. Todavia, o autor admite que os extrativos afetam a resistência com a mesma intensidade que a água.

Visando investigar os efeitos dos extrativos na compressão paralela às fibras, GARCIA & QUIRINO (1993), realizaram experimentação com a madeira de ipê (*Tabebuia* sp) e constataram que a remoção de apenas 1,9% de extrativos ocasionou um decréscimo de 17,30% naquela propriedade.

2.2.4. Influência da umidade nas propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas da madeira variam inversamente com o conteúdo de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras. Este comportamento é compreensível quando se considera a expansão ou a contração que ocorre na madeira, quando ela ganha ou perde umidade. Em efeito, as variações na umidade produzem diferenças no peso específico

da madeira e conseqüentemente resultam em variações na resistência (PANSWIN & ZEEUW, 1970).

KOLLMANN & CÔTÉ (1968), explicam que o decréscimo da resistência da madeira quando esta ganha umidade até o ponto de saturação das fibras, é compreendido por considerar que as moléculas de água são depositadas dentro das micelas e desse modo ocasionam um aumento das distâncias entre as mesmas. Devido a este fato, ocorre uma redução das forças de atração entre as micelas, contribuindo assim para diminuir a coesão.

Tem sido largamente evidenciado que as propriedades mecânicas da madeira, permanecem estáveis quando ocorrem variações da sua umidade acima do ponto de saturação das fibras. Porém, nos experimentos desenvolvidos por WILSON, CARLSON & LUXFORD (1960), foi constatado que a madeira apresenta uma ligeira variação nas propriedades mecânicas acima do referido ponto. Nesse caso particular, deve ser admitida a possibilidade de que as amostras não estavam no seus pontos de saturação reais, por não apresentarem umidade uniforme, ou seja, possuíam níveis de umidade diferenciados entre a superfície e as regiões mais internas das amostras.

Objetivando quantificar a influência da umidade nos módulos de ruptura e elasticidade à flexão estática de duas espécies de madeira, JOHNSON (1965), utilizou amostras nas condições verde e seca ao ar, climatizadas ou não. Constatou que no módulo de ruptura das

amostras secas ao ar, houve um acréscimo de 43% em relação às amostras em estado verde. Enquanto, no módulo de elasticidade, o acréscimo foi de aproximadamente 18%.

Investigações feitas por FINDLAY (1975), revelam que a madeira seca à 12% de umidade, quando submetida ao esforço de compressão paralela às fibras, pode apresentar o dobro da resistência alcançada quando a madeira está no estado verde.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os dados de propriedades físicas e mecânicas de 150 espécie de madeira, obtidas a partir de amostras, livres de defeitos, nas condições verde e seca à 12% de umidade. Os dados foram obtidos dos projetos de caracterização tecnológica realizados pelo Laboratório de Produtos Florestais (LPF) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e pela Coordenação de Pesquisas em Produtos Florestais (CPPF) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

3.1. Regiões de origem das espécies estudadas

O LPF estudou espécies arbóreas das regiões de Curuá-Una e Tapajós, ambas localizadas no Estado do Pará. Enquanto, a CPPF estudou espécies da área da hidrelétrica de Balbina, no Município de Presidente Figueiredo no Estado do Amazonas e espécies do Estado do Amapá.

3.2. Seleção das espécies

Foi realizada com base nos inventários pré-exploratórios efetuados em cada uma dessas áreas. Os requisitos para a seleção concentraram-se em espécies pouco conhecidas e/ou desconhecidas, com diâmetro à altura do peito (DAP) maior ou igual a 40 cm.

Deve ser ressaltado que devido a algumas espécies tradicionais que encontravam-se estudadas apenas parcialmente por outras instituições, o LPF e a CPPF coletaram-nas para a complementação de estudos que são imprescindíveis para maior e melhor utilização das mesmas.

3.3. Amostragem

Foi realizada de acordo com o sistema de amostragem ao acaso, conforme as especificações das normas COPANT (1972). Essas normas estabelecem que, em estudos tecnológicos, para se obter um valor médio mais confiável para as propriedades físicas e mecânicas, deve-se tomar, pelo menos, três árvores para cada espécie a ser ensaiada. Quando não se tem um conhecimento prévio da espécie, é recomendado trabalhar, preferivelmente, com uma segurança estatística de 95% e um intervalo de confiança de $\pm 15\%$, para o qual deve tomar-se o número mínimo de cinco árvores para cada espécie.

Apesar das recomendações das normas COPANT

quanto ao número de árvores a serem ensaiadas, houve falhas na identificação de algumas espécies no momento do abate. Após a identificação botânica e anatômica, detectou-se que determinadas espécies estavam apenas com duas árvores. Tendo em vista que tais espécies apresentavam diâmetro grande e, conseqüentemente, apreciável volume de madeira, tanto o LPF quanto a CPPF resolveram incluí-las nos estudos.

3.4. Espécies estudadas

Do Estado do Amapá foram estudadas 16 espécies, de Balbina 36, de Curuá-Una 69 e no Tapajós 29, perfazendo um total de 150 espécies. As espécies, com seus respectivos nomes comum e científico, encontram-se nas Tabelas 7, 8, 9 e 10, respectivamente para o Estado do Amapá, região de Balbina, de Curuá-Una e do Tapajós.

Tabela 7. Relação das espécies estudadas no Amapá

Nome científico	Nome vulgar
<i>Alexa imperatricis</i> (Schomb) Baill	melancieira
<i>Couratari guianensis</i> Aubl.	tauari
<i>Eperua</i> sp.	s/ nome vulgar
<i>Eschweilera sagotiana</i>	matá-matá-branco
<i>Lecythis poiteaui</i>	jarana
<i>Manilkara amazonica</i> (Huber) Standly	maparajuba
<i>Parkia nitida</i> Miq.	fava
<i>Parkia ulei</i> Kuhlm	fava
<i>Parinari montana</i>	uchirana
<i>Peltogyne paradoxo</i> Ducke	coatá-quicaúva

continuação

<i>Protium tenuifolium</i> (Engl.)	breu
<i>Sacoglottis guianensis</i> Benth.	achuá
<i>Sclerolobium</i> sp.	tachi-branco
<i>Tetragastris panamensis</i> (Engl.) O. Kuntze	breu-branco
<i>Thyrsodium guianensis</i> Aubl.	s/ nome vulgar
<i>Vochysia guianensis</i> Aubl.	quari

Tabela 8. Relação das espécies estudadas em Balbina

Nome científico	Nome vulgar
<i>Aldina heterophylla</i> Spr. ex. Benth.	macucu-de-paca
<i>Alexa grandiflora</i> Ducke	melancieira
<i>Andira parviflora</i> Ducke	sucupira-vermelha
<i>Aspidosperma obscurinervium</i> Azambuja	piquiá-marfim
<i>Brosimum rubescens</i> Taubert	pau-rainha
<i>Buchenavia oxycarpa</i> Eichler	tanimbuca
<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	andiroba
<i>Cariniana integrifolia</i> Ducke	tauari
<i>Cedrelinga catenaeformis</i> Ducke	cedrorana
<i>Clarisia racemosa</i> R. & Pav.	guariúba
<i>Corythophora ramosa</i> W. Rodr.	castanha-jacaré
<i>Couratari stellata</i> A. C. Smith	tauari
<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd	cumaru
<i>Dipteryx polyphylla</i> (Huber) Ducke	cumarurana
<i>Enterolobium schomburgkii</i> Benth.	sucupira-amarela
<i>Erismia uncinatum</i> Warm.	quarubarana
<i>Eschweilera odora</i> (Poepp) Miers	matá-matá-preto
<i>Goupia glabra</i> Aubl.	cupiuba
<i>Guarea trichilioides</i> L.	gitó
<i>Hymenolobium excelsum</i> Benth.	angelim-da-mata
<i>Hymenolobium pulcherrimum</i> Ducke	angelim-pedra
<i>Iryanthera tricornis</i> Ducke	ucuúba-punã
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don	caroba
<i>Licaria aritu</i> Ducke	louro-aritu
<i>Licaria canela</i> (Helssn) Kostern	louro-chumbo
<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) A. Chev.	maçaranduba
<i>Mezilaurus itauba</i> (Melssn) Taub.	itaúba-amarela
<i>Nectandra rubra</i> (Mez) C. K. Allen	louro-gamela
<i>Pithecelobium racemosum</i> Ducke	angelim-rajado
<i>Pouteria guianensis</i> Aubl.	abiurana-abiu

continuação

<i>Qualea paraensis</i> Ducke	mandioqueira
<i>Scleronema micranthum</i> Ducke	cardeiro
<i>Simaruba amara</i> Aubl.	marupá
<i>Swartzia panacoco</i> (Kubl.) Cowan	coração-de-negro
<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vani) Nich.	pau-d'arco
<i>Vataireopsis</i> sp.	angelim

Tabela 9. Relação das espécies estudadas em Curuá-Una

Nome científico	Nome vulgar
<i>Aniba canelilla</i> (H. B. K.) Mez	preciosa
<i>Astronium gracile</i> Engl.	muiracatiara
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	muiracatiara
<i>Astronium ulei</i> Mattick	muiracatiara
<i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth	sucupira
<i>Brosimum alicastrum</i> Swartz	janitá
<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	guariúba
<i>Cassia scleroxylon</i> Ducke	muirapixuna
<i>Couratari oblongifolia</i> Ducke & R. Knuth	tauari
<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandw.	jutaí-pororoca
<i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne & Planch	morototó
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	angelim-pedra
	verdadeiro
<i>Diploon venezuelana</i> Aubrév.	abiurana-seca
<i>Dipteryx odorata</i> Willd	cumarú
<i>Drypetes variabilis</i> Uittien	pau-branco
<i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatr.	uchi-liso
<i>Enterolobium schomburgkii</i> Benth	fava-de-rosca
<i>Erisma uncinatum</i> Warm.	quarubarana
<i>Eschweilera amara</i> (Aubl.) NDZ.	matá-matá-vermelho
<i>Eschweilera</i> sp.	matá-matá-ci
<i>Franchetella gongrijpii</i> (Eyma) Aubrév.	abiurana-branca
<i>Glycydendron amazonicum</i> Ducke	glícia
<i>Goupia glabra</i> Aubl.	cupiuba
<i>Guatteria olivacea</i> R. E. Fries	envira-preta
<i>Hymenaea courbaril</i> L. var <i>courbaril</i>	jutaí-açu
<i>Hymenaea parviflora</i> Huber	jutaí-mirim
<i>Hymenolobium modestum</i> Ducke	angelim-da-mata

continuação

<i>Inga alba</i> Willd.	ingá
<i>Inga paraensis</i> Ducke	ingarana
<i>Lecythis pisonis</i> Cambess. Subsp.	castanha-sapucaia
<i>usitata</i> (Miers) Mori & Prance	
<i>Licania octandra</i> (Hoffm. ex Roem & Schult) O. Kuntze	caraipé
<i>Licaria rigida</i> (Kosterm.) Kosterm.	louro-amarelo
<i>Lueheopsis duckeana</i> Burret	açoita-cavalo
<i>Malouetia duckei</i> Mgf.	sorva
<i>Manilkara amazonica</i> (Huber) Standley	maparajuba
<i>Micropholis venulosa</i> (Mart. & Eichl.) Pièrre	rosadinho
<i>Nemaluma anomala</i> (Pires) Pires (ined.)	rosadinho
<i>Ocotea neesiana</i> (Miq.) Kosterm.	louro-canela
<i>Ocotea</i> sp.	louro-canela
<i>Onychopetalum amazonicum</i> R. E. Fries	envira-preta
<i>Ormosia paraensis</i> Ducke	tento
<i>Parkia paraensis</i> Ducke	fava-arara-tucupi
<i>Parkia pendula</i> Benth. ex Walp.	faveira-bolota
<i>Piptadenia suaveolens</i> Miq.	fava-folha-fina
<i>Planchonella pachycarpa</i> Pires (ined.)	abiu-casca-grossa
<i>Pouteria caimito</i> (R. & P.) Radlk.	abiurana
<i>Protium</i> sp.	breu-manga
<i>Protium tenuifolium</i> (Engl.) Engl.	breu-preto
<i>Qualea albiflora</i> Warm.	mandioqueira-lisa
<i>Qualea brevipedicellata</i> Stafleu	mandioqueira-áspera
<i>Rollinia exsucca</i> (Dun) A. D. C.	envira
<i>Roupala montana</i> Aubl.	faeira
<i>Sandwithiodoxa egregia</i> (Sandw.) Aubr. & Pellegr.	abiu-pitomba
<i>Sclerolobium chrysophyllum</i> Poepp & Endl.	tachi-pitomba
<i>Sclerolobium paraense</i> Huber	tachi-branco
<i>Sclerolobium poeppigianum</i> Baill.	tachi-pitomba
<i>Sterculia speciosa</i> K. Schum	achichá
<i>Symphonia globulifera</i> L.	anani
<i>Tachigalia</i> cf. <i>Myrmecophila</i> Ducke	tachi-preto
<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swartz	breu-manga
<i>Tetragastris panamensis</i> (Engl.) O. Kuntze	breu-preto
<i>Trattinickia burserifolia</i> (Mart.) Willd.	breu-sucuruba
<i>Trattinickia</i> cf. <i>Burserifolia</i> Mart.	breu
<i>Trichilia lecointei</i> Ducke	pracuuba-da-terra-firme
<i>Vantanea parviflora</i> Lam.	uchirana

continuação

<i>Vatairea paraensis</i> Ducke	fava-amargosa
<i>Vatairea sericea</i> Ducke	faveira-bolacha
<i>Vochysia guianensis</i> Aubl.	guaruba-rosa
<i>Vochysia melinonii</i> Beckmann	guaruba-rosa
<i>Xylopia nitida</i> Dun.	envira-branca

Tabela 10. Relação das espécies estudadas no Tapajós

Nome científico	Nome vulgar
<i>Alexa grandiflora</i> Ducke	melancieira
<i>Anacardium spruceanum</i> Benth. ex Engl.	caju-açu
<i>Bertholletia excelsa</i> Humb. & Bonpl.	castanheira
<i>Brosimum acutifolium</i> Huber	mururé
<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	andiroba
<i>Copaifera reticulata</i> Ducke	copaíba
<i>Cordia Bicolor</i> D. C.	freijó
<i>Cordia goeldiana</i> Huber	freijó
<i>Couratari guianensis</i> Aubl.	tauari
<i>Couratari oblogifolia</i> Ducke et Knuth	tauari
<i>Couratari stellata</i> A. C. Smith	tauari
<i>Erisma uncinatum</i> Warm.	quarubarana
<i>Iryanthera grandis</i> Ducke	ucuubarana
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don.	para-pará
<i>Joanesia heveoides</i> Ducke	castanha-de-arara
<i>Laetia procera</i> (P. et E.) Eichl.	pau-jacaré
<i>Maquira sclerophylla</i> (Ducke) C. C. Berg.	muiratinga
<i>Mezilaurus itaúba</i> (Meissn.) Taubert ex Mez	itaúba-amarela
<i>Nectandra rubra</i> (Mez) C. K. Allen	louro-vermelho
<i>Onychopetalum amazonicum</i> R. E. Fries	envira-preta
<i>Parkia pendula</i> Benth. ex Walp.	faveira-bolota
<i>Piptadenia suaveolens</i> Miq.	faveira-folha-fina
<i>Protium Heptaphyllum</i> (Aubl.) March	breu
<i>Qualea cf. lancifolia</i> Ducke	mandioqueira
<i>Sclerolobium aff. chrysophyllum</i> Poepp. & Endl.	tachi-vermelho
<i>Simaruba amara</i> Aubl.	marupá
<i>Sterculia pilosa</i> Ducke	tacacazeiro
<i>Tachigalia myrmecophilla</i> Ducke	tachi-preto-folha-grande

continuação

<i>Tratattinickia burserifolia</i> (Mart.) Willd.	breu-sucuruba
--	---------------

3.5. Preparação das amostras

Cada árvore foi seccionada em toras com o comprimento de 4 m, sendo selecionada aleatoriamente, uma tora. De cada tora, foram retiradas quatro vigas com seção transversal de 8 x 8 cm e comprimento necessário para se confeccionar todas as amostras necessárias. Dessas quatro vigas, duas foram retiradas do cerne e duas do alburno, sendo que uma foi usada para ensaios na condição verde e outra para a condição seca, à 12% de umidade. No caso das espécies que não apresentavam cerne e alburno distintos, foram retiradas duas vigas próximas à medula e duas próximas à periferia da tora.

Cada viga foi retirada devidamente orientada, isto é, com faces tangencial e radial bem definidas.

3.6. Realização dos ensaios

Foram realizados ensaios para as determinações da densidade básica (Db), retração tangencial (Rt), radial (Rr) e volumétrica (Rv), módulos de ruptura (f_f) e

elasticidade (E_f) à flexão estática, tensão no limite de resistência à compressão paralela às fibras (f_c), módulo de resistência no limite de proporcionalidade à compressão normal às fibras (f_{cn}) e tensão no limite de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (f_g).

Todos estes ensaios foram realizados de acordo com as especificações das normas COPANT (1971 e 1972).

3.7. Análises estatísticas

Os coeficientes de variação (CV) para cada variável medida e de determinação (R^2) das análises de regressão, foram calculados através do programa Statistical Analysis System - SAS versão 6.03. Para o cálculo da distribuição WEIBULL, utilizou-se uma planilha eletrônica Quattro-Pro versão 3.0. Para testar o ajuste da distribuição Weibull aos dados foi utilizada a técnica conhecida como gráfico Q-Q. Esta técnica é baseada no gráfico dos quantis da distribuição envolvida. Para o teste de normalidade das distribuições das variáveis (densidade básica e módulo de ruptura à flexão estática), utilizou-se a linguagem estatística Generalized Linear Iterative Models - GLIM.

3.7.1. Coeficiente de variação

Determinaram-se os coeficientes de variação das espécies ensaiadas nas condições verde e seca a 12% de umidade, tanto para cada região como para o conjunto das quatro regiões. As variáveis analisadas foram: Db , Rt , Rr , Rv , E_f , f_f , f_c , f_{cn} e f_s . Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 11.

3.7.2. Análise da variância da regressão

Esta análise teve por objetivo avaliar a variabilidade dos modelos lineares que relacionam a densidade básica com as retrações tangencial, radial e volumétrica e com as propriedades mecânicas, nas condições verde e seca à 12% de umidade, em cada região, como também englobando todas as quatro regiões. Os resultados encontram-se na Tabela 12.

3.7.3. Formação dos grupos de espécies por classes de densidade básica

Os grupos foram formados definindo-se classes para a densidade básica, ignorando as demais propriedades. As classes por densidade básica formadas foram as seguintes:

Grupos	Classes de densidade básica (g/cm^3)
1	0,25 a 0,34
2	0,35 a 0,44
3	0,45 a 0,54
4	0,55 a 0,64
5	0,65 a 0,74
6	0,75 a 0,84
7	0,85 a 0,94
8	0,95 a 1,14

Observa-se que o grupo 8 apresenta um intervalo de classe igual a $0,19 \text{ g/cm}^3$, e enquanto os outros grupos apresentam intervalo de $0,09 \text{ g/cm}^3$. Tomou-se esta decisão porque, no caso da formação de mais uma classe com densidade variando de $1,05 \text{ g/cm}^3$ a $1,14 \text{ g/cm}^3$, teria-se apenas uma espécie contida nela, a qual apresentava somente quatro indivíduos e, conseqüentemente, esta pequena frequência seria insuficiente para uma satisfatória distribuição do grupo.

Todos os grupos foram formados com os valores de densidade básica individual das espécies. Desse modo, algumas espécies que apresentavam grande dispersão dos valores individuais, para a definição do grupo a que a mesma deveria pertencer, foi baseada na maior concentração de indivíduos dentro de um dado intervalo de classe.

Esta definição dos intervalos de classes por

densidade possibilitou a formação de oito grupos. As espécies que compõem cada grupo encontram-se na Tabela 13.

3.7.4. Distribuição Weibull

Inicialmente havia sido prevista a aplicação dos métodos dos percentis e o da máxima verossimilhança para o ajuste dos valores observados de densidade básica para as funções de densidades probabilística e acumulada. Todavia, tendo-se verificado que nos estudos desenvolvidos por NASCIMENTO (1993), o método da máxima verossimilhança se ajustou melhor aos valores observados, optou-se portanto, pelo mesmo, principalmente, porque este fornece estimadores mais consistentes (MCGULLACH & NELDER, 1969).

O primeiro passo para avaliar a precisão do ajuste da distribuição Weibull em relação aos dados observados de densidade básica para os grupos de espécies, foi determinar a amplitude de classe a ser usada. Desse modo, testaram-se as amplitudes de 0,01; 0,02; 0,03 e 0,05. Enquanto, no geral, a amplitude usada foi de 0,09 que se encontrou na primeira tentativa, a qual possibilitou o número adequado de 10 classes.

Em seguida foram estimados os parâmetros da distribuição Weibull para todas estas amplitudes. Mediante análises dos gráficos das distribuições, constatou-se que a amplitude de 0,02 foi a que apresentou a maior precisão.

Obteve-se um satisfatório número de classes por grupo, proporcionando portanto, uma frequência adequada para a formação de uma distribuição estimada. Esta foi submetida à técnica de gráfico Q-Q, descrita mais adiante.

A amplitude de classe para as propriedades mecânicas foi feita da maneira seguinte:

- Observando-se o número de classes da densidade de cada grupo de espécie, foram tomados os valores mínimos e máximos de cada propriedade mecânica. Dividiu-se então pelo número de classe do seu respectivo grupo de densidade, obtendo-se assim o mesmo número de classe dentro do grupo para cada propriedade. Enquanto, no geral, foi feita a divisão pelo número de classes de densidade.

Finalmente foram estimados os parâmetros da distribuição Weibull para a densidade básica e propriedades mecânicas nas condições verde e seca a 12% de umidade.

Johnson & Kotz (1970), citados por BATISTA (1989), apresentaram as Equações 1 e 2, onde, na Equação 1, sua função de densidade probabilística (f.d.p.) é apresentada de diversas formas, sendo comum nos trabalhos de distribuição de diâmetro apresentá-la da maneira seguinte:

$$f(x) = \left(\frac{c}{b}\right) \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \exp\left(-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right) \quad (1)$$

para $x \geq a$ e $f(x) = 0$ para $x < a$

onde,

x é a variável aleatória e, $a \geq 0$, $b > 0$ e $c > 0$, são os parâmetros da distribuição.

A sua função de densidade acumulada (f.d.a.) é dada por:

$$F(x) = \int_0^{+\infty} f(x) dx = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right) \quad (2)$$

Estas Equações 1 e 2, foram adaptadas para este trabalho de distribuição de densidade básica das madeiras da região amazônica, conforme Equações 3 e 4.

$$f(Db) = \frac{c}{b} \left(\frac{Db - Db_{\min}}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{Db - Db_{\min}}{b}\right)^c} \quad (3)$$

onde:

f = frequência de densidade probabilística

Db = centro de classe da densidade básica

$Db_{\min}$ = centro de classe da densidade básica mínima

b = parâmetro da escala da distribuição Weibull

c = parâmetro da forma da distribuição Weibull

$$F(Db) = 1 - e^{-\left(\frac{Db - Db_{\min}}{b}\right)^c} \quad (4)$$

onde:

F = frequência de densidade acumulada

O parâmetro (a), da distribuição Weibull, foi obtido tomando-se um valor da densidade básica imediatamente abaixo ao limite inferior da maior dispersão de uma dada espécie, que faz parte de cada grupo. Nesse caso, o parâmetro (a) teve os valores seguintes: 0,24; 0,32; 0,34; 0,42; 0,52; 0,66; 0,70; 0,92.

A estimativa do parâmetro (c) foi feita de acordo com as frequências observadas dos dados. Para isto, utilizando-se a Equação 5, em um processo iterativo. Portanto, fez-se sucessivas operações por tentativa, até que a equação fosse igualada a zero e/ou, no mínimo, próximo desse valor.

$$\frac{1}{c} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i (Db - Db_{\min})^c \ln(Db - Db_{\min})}{\sum_{i=1}^n f_i (Db - Db_{\min})^c} + \frac{\sum_{i=1}^n f_i \ln(Db - Db_{\min})}{n} = 0 \quad (5)$$

onde:

f_i = frequência da densidade básica dentro da classe

n = tamanho da amostra

Através da Equação 6, estimou-se o parâmetro (b), utilizando-se o valor do parâmetro (c) calculado anteriormente.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n f_i (Db - Db_{\min})^{\frac{1}{c}}}{n} \quad (6)$$

Para as determinações das frequências de densidade probabilística e de densidade acumulada, foram utilizadas as Equações 3 e 4.

Posteriormente, fez-se os ajustes da maneira seguinte:

- Para a densidade básica foram plotados os dados observados tanto na curva de frequência de densidade probabilística, quanto na frequência de densidade acumulada e, também na distribuição Weibull utilizando-se o método da máxima verossimilhança;
- Para as propriedades de resistência, além de terem sido plotados os dados observados nas curvas de frequência de densidade probabilística e acumulada, comparou-se a distribuição Weibull através do método da máxima verossimilhança, tanto em função de cada propriedade mecânica, como também em função da densidade básica.

3.7.5. Ajuste para a distribuição dos dados

Um método prático para comparar uma distribuição amostral com uma teórica conhecida, é através do gráfico Q-Q, ou gráfico dos quantis das distribuições envolvidas.

Um quantil, para uma variável aleatória contínua com distribuição de frequências acumuladas $F(x)$, é um número $Q_t(p)$, tal que:

$$F(Q_t(p)) = p \quad \text{ou} \quad Q_t(p) = F^{-1}(p)$$

onde $F^{-1}(\cdot)$ é a função inversa de $F(\cdot)$. Intuitivamente um $Q_t(p)$ é um valor tal que, uma fração p , da distribuição de frequências acumuladas, ocorre para valores menores ou iguais a $Q_t(p)$.

Os quantis empíricos computados para uma amostra $x_1, x_2, \dots, x_n$ são indicados por $Q_e(p)$. Seja $x_{(1)}, \dots, x_{(n)}$ uma amostra ordenada na ordem crescente. Logo, $Q_e(p_i) = x_{(i)}$, onde $p_i = (i - 0,5) / n$. Ou seja, a fração p_i da amostra é menor ou igual a $Q_e(p_i)$.

Plotando-se os valores de $Q_e(p_i)$ e $Q_t(p)$, $i=1, \dots, n$, tem-se o gráfico Q-Q. Assim, se a amostra provém de uma população com a distribuição teórica escolhida, o gráfico terá que ser aproximadamente uma reta. Desvios dessa reta estarão indicando-a quanto a distribuição observada se desvia da distribuição teórica. Segundo Sokal & Rohlf (1981), citados por DIAZ et alii (1992), os Q-Q plots são versões

gráficas do que se conhece com o nome de Teste de Aderência ou "Bondade" do Ajuste, dos quais o teste de Kolmogorov-Smirnov e o teste de Chi-quadrado são os mais frequentemente usados.

3.7.6. Teste de normalidade dos dados observados

A verificação da normalidade dos dados foi realizada somente com as variáveis densidade básica e o módulo de ruptura à flexão estática. Tomou-se essa decisão em razão de que as mesmas foram as únicas utilizadas no segmento que abrangeu a discussão à cerca das estruturas de madeira.

Para testar a normalidade utilizou-se a linguagem estatística (Generalized Linear Iterative Models - GLIM).

A nível de exemplo, para o teste de consistência da distribuição das duas variáveis, o GLIM determina o valor da estatística de Anderson e Darling, que possibilita a condução do teste de normalidade.

Segundo STEPHENS (1974), essa estatística, geralmente, tem maior poder quando comparada aos demais testes de normalidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentro deste segmento serão apresentados os resultados concernentes aos objetivos propostos neste trabalho. Estes serão acompanhados de abordagens visando melhor entendimento das variabilidades da madeira, dentro e entre propriedades, os níveis de relações entre ambas, os principais fatores que exercem influências nos seus valores, a importância da formação de grupos de espécies com base em uma única propriedade (densidade básica). Será também discutida uma forma mais viável do emprego da madeira em estruturas, sem necessitar de recorrer aos dados tabelados das propriedades mecânicas e, finalmente, discutir a segurança das estruturas de madeira.

4.1. Variabilidades da densidade básica, retrações tangencial, radial e volumétrica e propriedades mecânicas das madeiras estudadas nas condições verde e seca

Na Tabela 11, observa-se que dentre todas as propriedades, a densidade básica é a que apresenta a menor

variabilidade.

Esse resultado era de se esperar, haja visto que fatores inerentes à madeira, tais como tipos, arranjo e dimensões dos elementos anatômicos, composição, quantidade e localização dos extrativos da madeira, exercem menor influência na variabilidade da densidade do que na retração e nas propriedades mecânicas, durante as suas determinações.

Tabela 11. Valores dos coeficientes de variação e das probabilidades de F, para a densidade básica, retrações tangencial, radial e volumétrica e propriedades mecânicas das espécies do Amapá, Balbina, Curuá-Una e Tapajós, nas condições verde e seca à 12% de umidade

Propriedades	Amapá		Balbina		Curuá-Una		Tapajós		Geral	
	CV (%)	Prob>F	CV (%)	Prob>F	CV (%)	Prob>F	CV (%)	Prob>F	CV (%)	Prob>F
Db	6,52	0,0001	7,87	0,0001	7,58	0,0001	9,58	0,0001	8,03	0,0001
Rt	12,80	0,0001	14,20	0,0001	11,57	0,0001	14,28	0,0001	13,89	0,0001
Rr	15,49	0,0001	16,61	0,0001	16,07	0,0001	20,92	0,0001	18,03	0,0001
Rv	11,75	0,0001	13,62	0,0001	10,40	0,0001	13,42	0,0001	13,61	0,0001
E _f (verde)	10,99	0,0001	14,39	0,0001	11,22	0,0001	13,90	0,0001	12,61	0,0001
E _f (12%)	6,87	0,0001	11,90	0,0001	9,37	0,0001	12,95	0,0001	10,84	0,0001
f _f (verde)	18,03	0,0001	14,33	0,0001	12,90	0,0001	13,13	0,0001	13,97	0,0001
f _f (12%)	11,22	0,0001	17,29	0,0001	13,43	0,0001	13,26	0,0001	14,39	0,0001
f _f ^c (verde)	11,02	0,0001	16,94	0,0001	13,39	0,0001	15,90	0,0001	14,73	0,0001
f _f ^c (12%)	12,29	0,0001	14,05	0,0001	11,80	0,0001	12,72	0,0001	12,76	0,0001
f _f ^{cn} (verde)	20,42	0,0001	24,44	0,0001	22,04	0,0001	25,13	0,0001	25,09	0,0001
f _f ^{cn} (12%)	13,37	0,0001	17,04	0,0001	15,80	0,0001	22,39	0,0001	17,30	0,0001
f _s ^{cn} (verde)	10,78	0,0001	18,61	0,0001	14,13	0,0001	17,66	0,0001	15,83	0,0001
f _s ^s (12%)	15,27	0,0001	16,99	0,0001	14,26	0,0001	21,01	0,0001	15,88	0,0001

Na determinação da densidade básica, em cada amostra, o volume é o mesmo para todas, haja visto que as

mesmas foram confeccionadas com dimensões padronizadas e que, teoricamente, as amostras estando saturadas, não ocorre variação nas suas dimensões. O que varia é a quantidade de massa, sendo que durante a secagem pode ocorrer uma volatilização parcial de extrativos, caso, a espécie contenha substâncias voláteis.

Na retração, a remoção da água ocasiona a redução das dimensões das amostras, cujo decréscimo depende do ponto de saturação das fibras de cada espécie, dos tipos, teores e localização dos extrativos e da estrutura anatômica, onde cada espécie é um caso particular.

As propriedades de resistência, além de dependerem da quantidade de massa lenhosa, ainda sofrem influências dos extrativos, do arranjo e dimensões dos elementos anatômicos e da umidade.

Os coeficientes de variação obtidos para densidade básica são compatíveis com o que foi encontrado pelo U. S. FOREST PRODUCTS LABORATORY (1974), com 50 espécies de madeiras, com exceção do CV do E_f . Entretanto, em comparação com os obtidos por NASCIMENTO (1993), mostraram-se similares somente por regiões, porém, para o conjunto de todas as regiões, a autora obteve uma variação superior a três vezes ao obtido neste trabalho.

Nas retrações, o menor coeficiente obtido foi nas madeiras de Curuá-Una (tangencial), enquanto o maior, foi nas madeiras de Tapajós (radial). Mediante os valores

observados, a retração volumétrica das madeiras das quatro regiões varia de 10,40% a 13,62%. Esta variabilidade está relativamente compatível com o U. S. FOREST PRODUCTS LABORATORY (1974), o qual admite que as variabilidades na retração transversal e volumétrica, pode ser expressa por um coeficiente de variação de aproximadamente 15%.

Nas propriedades mecânicas, os menores coeficientes de variação foram obtidos no módulo de elasticidade à flexão estática (E_f). Enquanto os maiores coeficientes de variação foram obtidos no módulo de resistência no limite de proporcionalidade à compressão normal às fibras (f_{cn}).

Comparando as variabilidades das propriedades de resistência entre madeiras nas condições verde e seca, observa-se que o E_f à 12% de umidade, apresentou menor variabilidade. No f_f à 12%, observa-se maior variabilidade. A f_c , apresentou situação idêntica ao ocorrido no E_f . O mesmo fato ocorreu com o f_{cn} . Enquanto, na f_s a situação foi similar ao f_f .

De uma maneira geral, observa-se que os coeficientes de variação obtidos das madeiras ensaiadas na condição seca, foram menores do que os obtidos com as madeiras na condição verde. Estes resultados divergem das afirmações de PAULA et alii (1986), os quais encontraram situação inversa.

Na tentativa de explicar a acentuada

variabilidade no f_{cn} , admite-se que a causa, é a sua determinação imprecisa, pois a placa metálica não age somente na área da amostra que é comprimida pela mesma, tendo em vista que a sua ação de compressão produz tensão nas regiões da superfície superior da amostra que não se encontram sob tensão.

Na realidade, neste tipo de ensaio, ocorre uma compressão normal às fibras na área que está sendo comprimida pela placa. Enquanto, nas regiões da superfície superior da amostra que não estão sendo comprimidas pela mesma, está ocorrendo um esforço de cisalhamento perpendicular às fibras. Isto pode ser observado perfeitamente em muitas amostras que mostram fissuras nas suas extremidades próximas à superfície superior.

Os valores das probabilidades de F, significam se existem diferenças entre espécies, tanto para cada região como para a Amazônia como um todo. Portanto, de acordo com os valores apresentados na Tabela 11, pode-se observar que existem diferenças significativas entre espécies, em cada uma das regiões como em toda a Amazônia, ao nível de 1%.

4.2. Relações entre retrações tangencial, radial e volumétrica e entre propriedades mecânicas nas condições verde e seca com a densidade básica

Nas relações entre propriedades mecânicas e

densidade básica apresentadas na Tabela 12, verifica-se que nas espécies da região de Tapajós, a maioria dos coeficientes de determinação são ligeiramente inferiores aos das demais regiões. Enquanto que, os maiores coeficientes de determinação em quase sua totalidade entre as quatro regiões, foram obtidos com as espécies do Amapá.

Tabela 12. Análise da variância da regressão obtida entre as retrações tangencial, radial e volumétrica e densidade básica e entre propriedades de resistência nas condições verde e seca à 12% de umidade e densidade básica

Regressão	Amapá		Balbina		Curuá-Una		Tapajós		Geral	
	R ²	Prob>F	R ²	Prob>F	R ²	Prob>F	R ²	Prob>F	R ²	Prob>F
Rt x Db	0,22	0,0001	0,02	0,0674	0,02	0,0073	0,14	0,0001	0,08	0,0001
Rr x Db	0,37	0,0001	0,28	0,0001	0,10	0,0001	0,08	0,0018	0,22	0,0001
Rv x Db	0,32	0,0001	0,12	0,0001	0,04	0,0001	0,11	0,0002	0,13	0,0001
E _f (verde) x Db	0,75	0,0001	0,65	0,0001	0,57	0,0001	0,52	0,0001	0,61	0,0001
E _f (12%) x Db	0,78	0,0001	0,65	0,0001	0,54	0,0001	0,52	0,0001	0,58	0,0001
f _f (verde) x Db	0,66	0,0001	0,73	0,0001	0,76	0,0001	0,74	0,0001	0,76	0,0001
f _f (12%) x Db	0,82	0,0001	0,68	0,0001	0,63	0,0001	0,71	0,0001	0,69	0,0001
f _f ^c (verde) x Db	0,75	0,0001	0,73	0,0001	0,75	0,0001	0,71	0,0001	0,77	0,0001
f _f ^c (12%) x Db	0,76	0,0001	0,68	0,0001	0,63	0,0001	0,65	0,0001	0,70	0,0001
f _{cn} (verde) x Db	0,68	0,0001	0,68	0,0001	0,70	0,0001	0,65	0,0001	0,65	0,0001
f _{cn} (12%) x Db	0,69	0,0001	0,69	0,0001	0,74	0,0001	0,63	0,0001	0,73	0,0001
f _s ^{cn} (verde) x Db	0,65	0,0001	0,56	0,0001	0,59	0,0001	0,53	0,0001	0,63	0,0001
f _s ^{cn} (12%) x Db	0,56	0,0001	0,55	0,0001	0,54	0,0001	0,51	0,0001	0,59	0,0001

Ainda, com relação às associações entre propriedades de resistência e densidade básica, os menores coeficientes de determinação ocorreram entre a tensão no limite de máxima resistência ao cisalhamento paralelo às

fibras (f_g) com a densidade básica (Db), tanto na condição verde como seca, com excessão da associação entre o módulo de elasticidade à flexão estática (E_f) com a densidade básica, cujos valores dos coeficientes de determinação podem ser considerados similares.

Pode-se observar também que em muitas das relações entre propriedades de resistência e densidade básica, os valores globais dos coeficientes de determinação são ligeiramente superiores aos valores obtidos para cada região. Estes resultados divergem da afirmação de NASCIMENTO (1993), a qual menciona que as relações em cada região são melhores do que na região amazônica como um todo.

Comparando os valores dos coeficientes de determinação obtidos neste trabalho com os apresentados por CHIMELO (1980), PAULA et alii (1986) e NASCIMENTO (1993), observou-se que tanto os valores por região, quanto no global, com as madeiras nas condições verde e seca, são compatíveis com os resultados encontrados por PAULA et alii (1986) e por CHIMELO (1980), apenas para a condição verde.

Com relação os valores dos coeficientes de determinação obtidos por NASCIMENTO (1993), constatou-se que em Balbina e em Tapajós, os resultados apresentaram algumas semelhanças. Enquanto, no Amapá e Curuá-Una, principalmente nesta última região, os valores são bastante diferenciados. No caso do Amapá, deve ser ressaltado que a autora incluiu nos estudos, algumas espécies que tinham somente uma árvore.

Enquanto em Curuá-Una, foram estudadas um terço de espécies a menos do que o número de espécies que fazem parte deste trabalho.

De acordo com os resultados obtidos, e baseando-se também em dezenas de experimentos, onde, todos apresentam boas associações entre as propriedades de resistência e a densidade básica, pode-se assegurar que tais propriedades são diretamente proporcionais à densidade básica. Isto pode ser observado nas Figuras 2 a 11, onde uma boa porcentagem da variação daquelas propriedades mecânicas, tanto na condição verde como seca, pode ser explicada pelos modelos. As variações que ocorreram nos valores dos coeficientes de determinação podem ser explicadas pela influência da estrutura anatômica e componentes químicos da madeira (principalmente os extrativos), conforme resultados e considerações obtidos na literatura.

Nos valores dos coeficientes de determinação entre madeiras nas condições verde e seca, verifica-se alternância entre algumas associações, ora com valores altos, ora com valores baixos. Nas madeiras do Amapá, observa-se quase sempre que os valores dos coeficientes de determinação para as madeiras na condição seca são superiores em relação àqueles do estado verde. Nas madeiras do Tapajós, por outro lado, quase todos os coeficientes de determinação na condição verde, foram superiores aos valores obtidos na condição seca.

Figura 2. Relação entre módulo de elasticidade (E_f) à flexão estática na condição verde e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões)

Figura 3. Relação entre módulo de elasticidade (E_f) à flexão estática na condição seca e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões)

Figura 4. Relação entre módulo de ruptura (f_f) à flexão estática na condição verde e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões)

Figura 5. Relação entre módulo de ruptura (f_f) à flexão estática na condição seca e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões)

Figura 6. Relação entre tensão no limite de resistência (f_c) à compressão paralela às fibras na condição verde e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões)

Figura 7. Relação entre tensão no limite de resistência (f_c) à compressão paralela às fibras na condição seca e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões)

Figura 8. Relação entre módulo de resistência no limite de proporcionalidade (f_{cn}) à compressão normal às fibras na condição verde e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões)

Figura 9. Relação entre módulo de resistência no limite de proporcionalidade (f_{cn}) à compressão normal às fibras na condição seca e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões)

Figura 10. Relação entre tensão no limite de resistência (f_s) ao cisalhamento paralelo às fibras na condição verde e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões)

Figura 11. Relação entre tensão no limite de resistência (f_s) ao cisalhamento paralelo às fibras na condição seca e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões)

Admite-se que devido à rigorosa inspeção realizada nas madeiras do Amapá ensaiadas na condição seca, onde todas as amostras que apresentavam pequenas trincas superficiais foram eliminadas, este procedimento pode ter contribuído para melhorar as associações entre densidade básica e propriedades de resistência.

Nas relações entre as retrações tangencial, radial e volumétrica e com a densidade básica, observa-se que todos os valores dos coeficientes de determinação, tanto em cada região como no global, são inferiores àqueles obtidos entre propriedades mecânicas e densidade básica.

Mesmo na região do Amapá que apresentou os maiores coeficientes de determinação, verifica-se que os valores são equivalentes à metade dos valores obtidos entre propriedades mecânicas e densidade básica.

Apesar do teste F das análises de variâncias das regressões entre as retrações e a densidade básica terem sido significantes mesmo ao nível de 1%, constata-se que o maior valor do coeficiente de determinação foi obtido na relação entre a retração radial (R_r) com a densidade básica para as madeiras do Amapá. O modelo consegue explicar somente 37% da variação total da retração radial. Por outro lado, o modelo global consegue explicar apenas 22%.

Os menores valores dos coeficientes de determinação, foram entre retração tangencial (R_t) e densidade básica, principalmente nas regiões de Balbina e

Curuá-Una. Deve ser evidenciado que em Balbina, o teste F não apresentou significância a 1% de probabilidade.

CHIMELO (1980), estudando 44 espécies da Estação Experimental de Curuá-Una, obteve valores similares. O autor admite que a densidade básica tem muito pouca influência sobre a retração e ressalta ainda que o alto teor de extrativos presentes em algumas espécies de madeiras tropicais, afeta a relação entre retração e densidade básica, tendo em vista que os extrativos podem agir como repelentes à água e também como agentes de enchimento da parede celular, protegendo certas regiões da parede contra a penetração da água ou vapor de água. Portanto, pode-se deduzir que tais substâncias reduzem a retração da madeira quando submetida à secagem.

Mediante os resultados obtidos e visando tornar evidente que a associação entre retração e densidade básica é fraca, foram elaboradas as Figuras 12, 13 e 14, que mostram respectivamente os gráficos de dispersão entre a retração tangencial, radial e volumétrica, com a densidade básica.

Figura 12. Relação entre retração tangencial (Rt) e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões)

Figura 13. Relação entre retração radial (Rr) e densidade básica (valores individuais reunindo todas as regiões)

Figura 14. Relação entre retração volumétrica (Rv) e densidade básica (Db) (valores individuais reunindo todas as regiões)

4.3. Agrupamento de espécies

De acordo com os intervalos de classes de densidade mostrados na Figura 15, foram obtidos oito grupos de densidade dentro da variação de $0,25 g/cm^3$ a $1,14 g/cm^3$.

Dentre todos os grupos, o 1 foi o que apresentou a menor frequência de espécies. Enquanto a maior concentração de espécies ocorreu no grupo 5. Conforme a Figura 15, observa-se que a maioria das espécies arbóreas da Amazônia apresenta densidade que varia de $0,55 g/cm^3$ a $0,84 g/cm^3$, abrangendo os grupos 4 a 6.

Figura 15. Frequências de espécies arbóreas amazônicas por intervalos de classes de densidade básica

A frequência de espécies com densidade variando de $0,25 \text{ g/cm}^3$ a $0,34 \text{ g/cm}^3$ e de $0,95 \text{ g/cm}^3$ a $1,14 \text{ g/cm}^3$ é muito baixa na floresta amazônica.

Existe a possibilidade de reduzir-se o número de grupos, todavia, preferiu-se mantê-los porque em caso de redução, aumentar-se-ia a variabilidade dentro de cada grupo e prejudicar-se-ia a segurança das estruturas de madeira.

As espécies que compõem cada grupo, encontram-se na Tabela 13.

Tabela 13. Relação das espécies contidas nos grupos

Nome científico	grupo verde	grupo seco (12% de umidade)
<i>Aldina heterophylla</i>	5	5
<i>Alexa imperatricis</i>	4	4
<i>Alexa grandiflora</i>	4	4
<i>Anacardium spruceanum</i>	2	2
<i>Andira parviflora</i>	5	5
<i>Aniba canelilla</i>	7	7
<i>Aspidosperma obscurinervium</i>	6	7
<i>Astronium gracile</i>	5	5
<i>Astronium lecointei</i>	6	6
<i>Astronium ulei</i>	4	4
<i>Bertholletia excelsa</i>	4	5
<i>Bowdichia nitida</i>	7	7
<i>Brosimum acutifolium</i>	4	4
<i>Brosimum alicastrum</i>	5	5
<i>Brosimum rubescens</i>	6	6
<i>Buchenavia oxycarpa</i>	6	6
<i>Carapa guianensis</i>	4	4
<i>Cariniana integrifolia</i>	3	3
<i>Cassia scleroxylon</i>	8	8
<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	3	3
<i>Clarisia racemosa</i>	4	4
<i>Copaifera reticulata</i>	4	4
<i>Cordia Bicolor</i>	2	2
<i>Cordia goeldiana</i>	3	3
<i>Corythophora rimosa</i>	7	7
<i>Couratari guianensis</i>	3	3
<i>Couratari oblongifolia</i>	3	3
<i>Couratari stellata</i>	4	4
<i>Dialium guianense</i>	7	7
<i>Didymopanax morototoni</i>	2	2
<i>Dinizia excelsa</i>	6	6
<i>Diploon venezuelana</i>	7	7
<i>Dipteryx odorata</i>	7	7
<i>Dipteryx polyphylla</i>	6	6
<i>Drypetes variabilis</i>	5	5
<i>Endopleura uchi</i>	6	6
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	5	5
<i>Eperua</i> sp.	6	6
<i>Erismia uncinatum</i>	3	3
<i>Eschweilera amara</i>	5	5
<i>Eschweilera odora</i>	7	7
<i>Eschweilera sagotiana</i>	6	6
<i>Eschweilera</i> sp.	6	6

continuação

<i>Granchetella gongrijpii</i>	5	5
<i>Glycydendron amazonicum</i>	5	5
<i>Goupia glabra</i>	5	5
<i>Guatteria olivacea</i>	3	3
<i>Guarea trichilioides</i>	5	5
<i>Hymenaea courbaril</i>	6	5
<i>Hymenaea parviflora</i>	7	7
<i>Hymenolobium excelsum</i>	5	4
<i>Hymenolobium modestum</i>	5	5
<i>Hymenolobium pulcherrimum</i>	5	5
<i>Inga alba</i>	4	4
<i>Inga paraensis</i>	6	6
<i>Iryanthera grandis</i>	5	5
<i>Iryanthera tricornis</i>	5	5
<i>Jacaranda copaia</i>	1	1
<i>Joanesia heveoides</i>	2	2
<i>Laetia procera</i>	5	5
<i>Lecythis pisonis</i>	6	7
<i>Lecythis poiteau</i>	6	6
<i>Licania octandra</i>	6	6
<i>Licaria aritu</i>	6	6
<i>Licaria canela</i>	8	8
<i>Licaria rigida</i>	5	6
<i>Lueheopsis duckeana</i>	4	4
<i>Malouetia duckei</i>	4	4
<i>Manilkara amazonica</i>	6	6
<i>Manilkara huberi</i>	7	7
<i>Maquira sclerophylla</i>	4	4
<i>Mezilaurus itauba</i>	5	5
<i>Micropholis venulosa</i>	4	4
<i>Nectandra rubra</i>	3	3
<i>Nemaluma anomala</i>	6	6
<i>Ocotea neesiana</i>	3	3
<i>Ocotea sp.</i>	4	4
<i>Onychopetalum amazonicum</i>	4	4
<i>Ormosia paraensis</i>	5	5
<i>Parkia nitida</i>	2	2
<i>Parkia paraensis</i>	3	3
<i>Parkia pendula</i>	3	3
<i>Parkia ulei</i>	2	2
<i>Parinari montana</i>	5	5
<i>Peltogyne paradoxa</i>	7	7
<i>Piptadenia suaveolens</i>	5	5
<i>Pithecelobium racemosum</i>	6	6
<i>Planchonella pachycarpa</i>	5	6
<i>Pouteria caimito</i>	7	7
<i>Pouteria guianensis</i>	7	7

continuação

<i>Protium Heptaphyllum</i>	3	3
<i>Protium</i> sp.	6	5
<i>Protium tenuifolium</i>	5	4
<i>Qualea albiflora</i>	4	4
<i>Qualea brevipedicellata</i>	5	5
<i>Qualea</i> cf. <i>lancifolia</i>	4	4
<i>Qualea paraensis</i>	5	5
<i>Rollinia exsucca</i>	3	3
<i>Roupala montana</i>	6	6
<i>Sacoglottis guianensis</i>	6	6
<i>Sandwithiodoxa egregia</i>	5	6
<i>Sclerolobium chrysophyllum</i>	4	4
<i>Sclerolobium paraense</i>	5	5
<i>Sclerolobium poeppigianum</i>	5	5
<i>Sclerolobium</i> sp.	2	2
<i>Scleronema micranthum</i>	4	4
<i>Simaruba amara</i>	1	1
<i>Sterculia pilosa</i>	2	2
<i>Sterculia speciosa</i>	2	2
<i>Swartzia panacoco</i>	8	8
<i>Symphonia globulifera</i>	4	4
<i>Tabebuia serratifolia</i>	7	7
<i>Tachigalia myrmecophilla</i>	4	5
<i>Tetragastris altissima</i>	5	5
<i>Tetragastris panamensis</i>	6	6
<i>Thyrsodium guianensis</i>	5	5
<i>Trattinickia</i> cf. <i>burserifolia</i>	3	2
<i>Trichilia lecointei</i>	7	7
<i>Vantanea parviflora</i>	7	7
<i>Vatairea paraensis</i>	6	6
<i>Vatairea sericea</i>	5	5
<i>Vataireopsis</i> sp.	5	5
<i>Vochysia guianensis</i>	4	4
<i>Vochysia melinonii</i>	3	3
<i>Xylopia nitida</i>	4	3

4.4. Ajuste para a distribuição dos dados

De acordo com a técnica empregada (gráfico Q-Q), admite-se que as distribuições amostral e teórica, representam as distribuições observadas das variáveis Db , E_f ,

f_f , f_c , f_{cn} e f_s e a distribuição de Weibull estimada respectivamente, tanto para os grupos de espécies, quanto no global cujas estimativas se encontram no Anexo 2.

4.5. Teste de normalidade dos dados observados

Os resultados dos teste de normalidade, apresentaram valores da estatística A^{2*} de Anderson - Darling para a densidade básica igual a = 2,043 e para o módulo de ruptura à flexão estática igual a = 3,111. O valor tabelado dessa estatística, conforme Tabela A-6 (SHAPIRO, 1990), para $\alpha = 0,05$, é de 0,752. Portanto, há evidências, ao nível de 5% de significância, de que a densidade básica e o módulo de ruptura à flexão estática não seguem distribuição normal.

O teste de normalidade foi feito apenas para essas duas variáveis porque, para o desenvolvimento da teoria empregando a função Weibull visando quantificar as probabilidades de segurança das estruturas, foi realizado somente com as citadas variáveis.

4.6. Distribuição Weibull para a densidade básica e o módulo de ruptura à flexão estática das madeiras amazônicas nas condições verde e seca

Mediante os resultados obtidos no item anterior, onde, constatou-se que as variáveis densidade

básica e módulo de ruptura à flexão estática (f_f) seguem uma distribuição normal e, considerando ainda que dentre todas as propriedades físicas e mecânicas da madeira, a densidade básica é a propriedade mais pura, admite-se que as demais propriedades mecânicas também não apresentam distribuição normal.

Nas Figuras 16 a 19 estão mostradas as distribuições obtidas para a densidade básica conjuntamente com os valores observados.

Figura 16. f.d.p. ajustada aos dados observados de Db das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição verde

Figura 17. f.d.p. ajustada aos dados observados de Db das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição seca

Figura 18. F.d.a. ajustada aos dados observados de Db das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição verde

Figura 19. F.d.a. ajustada aos dados observados de Db das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição seca

Como era de se esperar, pode-se observar na Tabela 14 que as estimativas dos parâmetros de posição (**a**), escala (**b**) e forma (**c**) das distribuições da densidade básica estimadas (Db_e) determinadas a partir da madeira na condição verde, são idênticas àsquelas obtidas da madeira na condição seca. Pequenas variações devidas a erros experimentais e a pequenas alterações no número de amostras são observadas.

Tabela 14. Estimativas dos parâmetros a , b e c , da distribuição Weibull feitas em função da densidade básica observada das madeiras amazônicas estudadas nas condições verde e seca

Parâmetros	Db (condição verde)	Db (condição seca)
a	0,190000	0,190000
b	0,540974	0,541285
c	3,312490	3,131890
N	710	656

Nas Figuras 20 a 23 estão plotados em cada uma, a distribuição dos valores do módulo de ruptura à flexão estática observados (f_{fo}) e duas distribuições estimadas. Uma delas foi obtida diretamente dos dados observados e a outra é a própria distribuição da densidade básica aplicada aos valores do módulo de ruptura à flexão estática, (f_f) em função da densidade básica (Db) da Equação 9.

Figura 20. f.d.p. ajustada aos dados observados do f_f e aos dados do f_f estimados através dos valores da Db das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição verde

Figura 21. f.d.p. ajustada aos dados observados do f_f e aos dados do f_f estimados através dos valores da Db das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição seca

Figura 22. F.d.a. ajustada aos dados observados do f_f e aos dados do f_f estimados através dos valores da Db das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição verde

Figura 23. F.d.a. ajustada aos dados observados do f_f e aos dados do f_f estimados através dos valores da Db das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição seca

Observa-se que as distribuições do módulo de ruptura à flexão estática obtidas na condição seca têm praticamente a mesma conformação daquelas obtidas na condição verde, estando entretanto, transladadas para a direita em função da superioridade da resistência da madeira seca em relação à madeira verde.

Através das equações 5 e 6, os valores estimados dos parâmetros b e c das distribuições Weibull, possibilitaram a obtenção das frequências de densidade básica para as frequências de densidade probabilística (f.d.p.) e acumulada (F.d.a.), nas condições verde e seca, conforme Anexo 6.

4.7. Densidade básica da madeira como um estimador de propriedades mecânicas

Tendo sido constatado através da análise da variância da regressão, que as propriedades mecânicas da madeira estão diretamente relacionadas com a densidade básica, tanto para a madeira na condição verde quanto seca, torna-se possível estimar as propriedades mecânicas de qualquer espécie da Amazônia, utilizando somente os valores de densidade básica, a partir das Equações 7 a 16, abaixo.

$$f(E_f \text{ verde}) = f(2507,9 + 14217 Db) = f(Db) \quad (7)$$

$$f(E_f \text{ seca}) = f(4173,1 + 14094 Db) = f(Db) \quad (8)$$

$$f(f_f \text{ verde}) = f(-18,3766 + 160,21 \text{ Db}) = f(\text{Db}) \quad (9)$$

$$f(f_f \text{ seca}) = f(-6,1749 + 196,73 \text{ Db}) = f(\text{Db}) \quad (10)$$

$$f(f_c \text{ verde}) = f(-14,5784 + 88,7035 \text{ Db}) = f(\text{Db}) \quad (11)$$

$$f(f_c \text{ seca}) = f(1,4446 + 98,452 \text{ Db}) = f(\text{Db}) \quad (12)$$

$$f(f_{cn} \text{ verde}) = f(-8,7750 + 26,0218 \text{ Db}) = f(\text{Db}) \quad (13)$$

$$f(f_{cn} \text{ seca}) = f(-6,8705 + 27,4746 \text{ Db}) = f(\text{Db}) \quad (14)$$

$$f(f_g \text{ verde}) = f(-0,2361 + 16,4273 \text{ Db}) = f(\text{Db}) \quad (15)$$

$$f(f_g \text{ seca}) = f(0,0390 + 20,7856 \text{ Db}) = f(\text{Db}) \quad (16)$$

Diante dos resultados obtidos, desenvolveu-se uma teoria que permite, através de densidade básica, predizer a probabilidade de segurança de uma estrutura de madeira, da mesma forma com que se pode predizer a segurança das estruturas através da distribuição da propriedade mecânica desejada. Porém, o mais importante desta teoria, é a sua aplicação no sentido inverso, tendo em vista que a mesma permite predizer a densidade básica necessária para se obter uma determinada segurança desejada para uma estrutura.

Entretanto, a adoção de uma determinada segurança, que seja razoável para a estrutura, ainda é uma dificuldade a ser vencida.

4.8. Distribuições Weibull para grupos de espécies

O emprego dessa distribuição para grupos de espécies, ficou restrita a apenas uma propriedade mecânica,

isto é, o módulo de ruptura à flexão estática (f_f). Tendo em vista que objetivou-se quantificar a segurança das estruturas de madeira, foram desenvolvidas somente as distribuições de frequência de densidade acumulada (F.d.a.).

Cada grupo de espécie é composto de três distribuições, onde, f_{fo} representa a frequência dos dados observados, $f_f(f_f)$ reflete a frequência dos valores estimados em função dos dados observados e $f_f(Db)$ representa a frequência dos dados do módulo de ruptura estimados em função da densidade básica, conforme Figuras 24 a 27.

Figura 24. F.d.a. ajustada aos dados observados do f_f e aos dados do f_f estimados através dos valores observados da Db nos grupos de espécies 1 a 4 das madeiras amazônicas estudadas na condição verde

Figura 25. F.d.a. ajustada aos dados observados do f_f e aos dados do f_f estimados através dos valores observados da Db nos grupos de espécies 5 a 8 das madeiras amazônicas estudadas na condição verde

Figura 26. F.d.a. ajustada aos dados observados do f_f e aos dados do f_f estimados através dos valores observados da Db nos grupos de espécies 1 a 4 das madeiras amazônicas estudadas na condição seca

Figura 27. F.d.a. ajustada aos dados observados do f_f e aos dados do f_f estimados através dos valores observados da Db nos grupos de espécies 5 a 8 das madeiras amazônicas estudadas na condição seca

Para um ajuste satisfatório das curvas, foi necessário adotar um processo iterativo na estimativa dos parâmetros a , b e c , das distribuições em cada grupo, pois cada um apresenta uma situação diferente.

Os ajustes foram feitos somente com o módulo de ruptura à flexão estática em função da densidade básica, correspondentes às curvas $f_f(Db)$ nos gráficos.

Observa-se na Figura 25, que nos grupos 5, 6 e 7 na condição verde, os ajustes não estão tão bons quanto nos demais grupos. Na condição seca, tal situação ocorre também nos grupos 5 a 8, conforme mostra a Figura 22.

Verificou-se que é possível melhorar os

ajustes nesses grupos, através de pequenas alterações, por tentativas, nos parâmetros **a**, **b** e **c**, mas preferiu-se dar maior importância ao objetivo principal que é o desenvolvimento da teoria que possibilita quantificar a segurança das estruturas baseando-se somente na variabilidade do módulo de ruptura à flexão estática determinado na condição verde ou seca, dentro dos grupos formados, isto é, através do $f_f(Db)$ e do $f_f(f_f)$, como será visto no item 4.9..

4.9. Probabilidades de segurança das estruturas baseadas nos grupos de espécies

O desenvolvimento desta teoria possibilita quantificar a segurança das estruturas, baseada nas características dos grupos de espécies, tanto na condição verde como seca. Adotou-se a função Weibull, a qual foi comparada com a distribuição normal, e ainda com a determinação da norma brasileira, conforme será demonstrado a seguir.

Supondo-se que em quatro estruturas de madeira A, B, C e D, em que a ordem sequencial dos esforços solicitantes (σ_f), fossem respectivamente 22,90 MPa, 33,00 MPa, 45,00 MPa e 56,20 MPa. Qual seria a segurança de cada uma dessas estruturas, se fossem usadas madeiras dos diversos grupos formados, nas condições verde e seca?

Para a execução dos cálculos tomou-se os

valores dos parâmetros **a**, **b** e **c** estimados para a distribuição Weibull e os valores dos módulos de ruptura máximo (f_{fmax}), médio (f_{fm}) e mínimo (f_{fmin}) e os desvios padrão dos dados observados dos grupos de espécies 1, 2, 3 e 4, nas condições verde e seca, os quais estão contidos nos Anexos 2, 3 e 4.

Fixando o σ_f em 22,90 MPa, obtém-se através da Equação 4 da função Weibull, as probabilidades do $f_f(Db)$ e do $f_f(f_f)$, para qualquer grupo que se queira.

No caso do grupo 1, por exemplo, a distribuição $f_f(Db)$, para madeira verde têm-se:

$$F(22,9) = 1 - e^{-\left(\frac{22,90-18,07}{17,00}\right)^{2,46}} = 0,0442$$

Este percentual obtido de 4,42%, refere-se à probabilidade que tem o grupo 1, na condição verde, de apresentar valores de resistência entre o valor mínimo estimado de 18,07 MPa e o valor do esforço solicitante de 22,90 MPa.

Para determinar-se a segurança da estrutura A, utilizando aleatoriamente, espécies do grupo 1, calcula-se a probabilidade daquelas espécies apresentarem valores de resistência entre 22,90 MPa e 56,20 MPa que é o valor máximo observado do grupo, conforme mostrado no Anexo 3.

Então,

$$F(56,20) = 1 - e^{-\left(\frac{56,20-18,07}{17,00}\right)^{2,46}} = 0,9993$$

Pela diferença entre $F(56,20)$ e $F(22,90)$, obtém-se a probabilidade de segurança (P) da estrutura A.

$$P = F(56,20) - F(22,90) = 0,9993 - 0,0442 = 0,9551$$

Portanto, a segurança máxima da estrutura A, se executada utilizando-se aleatoriamente espécies do grupo 1 na condição verde, é de 95,51%.

Analogamente, calcula-se a segurança através do $f_f(f_f)$ que fornece uma segurança de 90,33%.

Admitindo-se distribuição normal dos valores do f_f dentro do grupo 1 como permitem as conclusões de ROCCO LAHR (1990), a segurança da estrutura A, é obtida a partir dos valores de u_i calculados através das Equações 17a e 17b.

$$u_1 = \frac{f_{fmin} - f_{fm}}{s} \quad (17a)$$

$$u_2 = \frac{\sigma_f - f_{fm}}{s} \quad (17b)$$

onde:

u_i = número de desvios padrão expresso pela diferença entre um determinado valor de resistência e a média

Substituindo-se os valores nas Equações acima, obtêm-se:

$$u_1 = \frac{17,80 - 35,17}{9,30} = -1,87$$

$$u_2 = \frac{22,90 - 35,17}{9,30} = -1,32$$

Pela simetria da distribuição normal, têm-se:

$$P(-1,87 \leq u_1 \leq 0) = P(0 \leq u_1 \leq 1,87)$$

$$P(-1,32 \leq u_2 \leq 0) = P(0 \leq u_2 \leq 1,32)$$

Recorrendo à Tabela B1 de (SANTOS, 1977),
obtem-se:

$$P(-u_1) = 0,9693$$

$$P(-u_2) = 0,9066$$

Pela diferença entre $P(-u_1) - P(-u_2)$, obtém-se
a probabilidade de ruína (Pr), onde:

$$Pr = P(-u_1) - P(-u_2) = 0,9693 - 0,9066 = 0,0627$$

Através da diferença entre a segurança máxima
(1,0) e a probabilidade de ruína, determina-se a segurança de
estruturas com espécies do grupo 1, para $\sigma_f = 22,90$ MPa e
para o caso de madeira verde.

Então,

$$P_s = 1,0 - 0,0627 = 0,9373$$

Porém, deve ser ressaltado que este
procedimento só é válido quando $\sigma_f < f_{fm}$. No caso inverso, a
segurança é calculada simplesmente pela diferença entre $P(-u_1)$
e $P(u_2)$, ou seja, $P_s = P(-u_1) - P(u_2)$.

Esta probabilidade de segurança de 93,73%, é
ligeiramente inferior àquela de 95,51% calculada através do
 $f_f(Db)$ e ligeiramente superior àquela de 90,33% obtida

através da $f_f(f_f)$, ambas estimadas pela função Weibull.

A norma brasileira recomenda que a resistência de cálculo ($\bar{F}_f$) a ser usada nos cálculos das estruturas deve ser 0,15 do módulo de ruptura à flexão estática, ou seja, $0,15 f_f \geq \sigma_f$.

Então,

$$f_f = \frac{22,90}{0,15} = 152,67 \text{ MPa}$$

Verifica-se que $f_f = 152,67 \text{ MPa}$ é 6,67 vezes maior que o valor do $\sigma_f(22,90 \text{ MPa})$ e 4,34 vezes maior que o valor do $f_{fm}(35,17 \text{ MPa})$. Portanto, pode-se constatar no Anexo 3, que na condição verde, nenhum dos 8 grupos adotados, apresenta valores de $f_{fm} \geq 152,67 \text{ MPa}$. Consequentemente, não seria encontrada nenhuma espécie de madeira da Amazônia que pudesse satisfazer as exigências da norma brasileira, no que se refere a um esforço solicitante de $\sigma_f = 22,90 \text{ MPa}$.

Caso houvesse um grupo ou uma espécie que apresentasse $f_{fm} = 152,67 \text{ MPa}$ e, como comprova ROCCO LAHR (1991), um CV = 20% obtido de uma distribuição normal de f_f , então a segurança desta estrutura seria.

$$S = \frac{20 \times 152,67}{100} = 30,53$$

onde:

$$u_i = \frac{22,9 - 152,67}{30,53} = -4,25$$

Através do programa SAS obteve-se

$$P_g(-4,25) = 99,9989311$$

que é a segurança de uma estrutura de madeira construída de acordo com a NB-11.

De forma análoga poder-se-ia obter a segurança da mesma estrutura utilizando-se as mesmas madeiras do grupo 1, na condição seca.

Entretanto, verifica-se que

$$F(22,90) = 1 - e^{-\left(\frac{22,90 - 35,04}{23,20}\right)^{2,40}} = 0, \text{ pela } f_f(Db)$$

$$F(22,90) = 1 - e^{-\left(\frac{22,90 - 36,10}{24,05}\right)^{1,97}} = 0, \text{ pela } f_f(f_f)$$

Isto significa que na condição seca, a função Weibull apresenta 100% de segurança, porque $\sigma_f = 22,90$ MPa é menor do que o valor mínimo do f_f estimado para as espécies do grupo 1, $a = 35,04$ MPa. Portanto, qualquer madeira do grupo 1, seca à 12% de umidade, oferecerá segurança máxima para a estrutura A. Porém, na condição verde, somente a partir do grupo 2 é alcançada esta segurança, tanto para $f_f(Db)$ quanto para $f_f(f_f)$, cujos valores mínimos estimados

são maiores do que σ_f , conforme anexos 2 e 4.

Admitindo-se também distribuição normal dos dados de f_f obtidos da madeira seca dentro do grupo 1, a segurança calculada, como anteriormente, será de 96,59% contra 93,73% obtida para madeira verde.

Para o caso de um esforço solicitante de 33,00 MPa (estrutura B), obtem-se, através das funções Weibull ajustadas, e também pela distribuição normal, as seguintes probabilidades.

a) Na condição verde

a₁) Através da distribuição Weibull

Função	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
$f_f(Db)$	$P_s = 48,29\%$	$P_s = 97,27\%$	$P_s = 100\%$
$f_f(f_f)$	$P_s = 52,33\%$	$P_s = 96,21\%$	$P_s = 100\%$

a₂) Através da distribuição normal

Função	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
normal	$P_s = 62,17\%$	$P_s = 99,33\%$	$P_s = 99,00\%$

Pela norma brasileira, a espécie a ser utilizada para suportar um $\sigma_f = 33,00$ MPa, deveria ter a seguinte média de resistência à flexão.

$$f_f = \frac{33,00}{0,15} = 220,00 \text{ MPa}$$

Observa-se que através da função Weibull, a partir do grupo 3, têm-se 100% de segurança. Através da normal, verifica-se que a segurança oferecida pelas espécies do grupo 2 é ligeiramente superior à do grupo 3. Este fato, é explicado pelos respectivos desvios padrão.

b) Na condição seca

b₁) Através da função Weibull

Função	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
$f_f(\text{Db})$	$P_s = 100\%$	$P_s = 100\%$	$P_s = 100\%$
$f_f(f_f)$	$P_s = 100\%$	$P_s = 100\%$	$P_s = 100\%$

b₂) Através da distribuição normal

Função	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
normal	$P_s = 98,33\%$	$P_s = 99,39\%$	$P_s = 99,25\%$

Observa-se que já a partir do grupo 1, a estrutura B, se construída com madeira seca, tem 100% de probabilidade de resistir ao esforço solicitante de 33,00 MPa. Pela normal, observa-se também que no grupo 1 se alcança o patamar de segurança máxima.

No caso da estrutura C, as probabilidades de segurança na condição verde, são:

a) Através da função Weibull.

Função	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
$f_f(\text{Db})$	$P_s = 4,43\%$	$P_s = 59,61\%$	$P_s = 91,49\%$
$f_f(f_f)$	$P_s = 11,80\%$	$P_s = 60,52\%$	$P_s = 98,95\%$

b) Através da distribuição normal

Função	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
normal	$P_s = 1,78\%$	$P_s = 70,82\%$	$P_s = 99,72\%$

c) Pela norma brasileira

$$f_f = \frac{45,00}{0,15} = 300 \text{ MPa}$$

O $f_f = 300,00 \text{ MPa}$ é 6,67 vezes maior do que $\sigma_f = 45,00 \text{ MPa}$ e 2,24 vezes maior do que o f_{fm} do melhor grupo (grupo 8).

Na condição seca, as probabilidades de segurança na estrutura C, são:

a) Através da função Weibull

Função	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
$f_f(\text{Db})$	$P_s = 86,88\%$	$P_s = 100\%$	$P_s = 100\%$
$f_f(f_f)$	$P_s = 80,07\%$	$P_s = 88,69\%$	$P_s = 100\%$

b) Através da distribuição normal

Função	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
normal	$P_s = 82,69\%$	$P_s = 90,77\%$	$P_s = 99,33\%$

Observa-se que através do $f_f(Db)$, a partir do grupo 2, a estrutura C apresenta 100% de segurança, enquanto, que através do $f_f(f_f)$ a segurança máxima é alcançada somente a partir do grupo 3. Pela normal os percentuais aproximam-se dos obtidos pela Weibull.

Na estrutura D, cujo $\sigma_f = 56,20$ MPa, as probabilidades de segurança na condição verde são:

a) Através da função Weibull.

Função	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
$f_f(Db)$	$P_s = 0$	$P_s = 16,92\%$	$P_s = 59,41\%$
$f_f(f_f)$	$P_s = 0$	$P_s = 20,01\%$	$P_s = 63,74\%$

b) Através da distribuição normal

Função	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
normal	$P_s = 1,88\%$	$P_s = 19,70\%$	$P_s = 69,04\%$

c) Pela norma brasileira

$$f_f = \frac{56,20}{0,15} = 374,67 \text{ MPa}$$

O valor do $f_f = 374,67$ MPa é 6,67 vezes maior que o esforço solicitante e 2,80 vezes superior ao f_{fm} do melhor grupo.

Na condição seca, as probabilidades de segurança são:

a) Através da função Weibull

Função	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
$f_f(Db)$	$P_s = 44,04\%$	$P_s = 77,98\%$	$P_s = 97,59\%$
$f_f(f_f)$	$P_s = 45,59\%$	$P_s = 74,19\%$	$P_s = 88,78\%$

b) Através da distribuição normal

Função	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
normal	$P_s = 58,37\%$	$P_s = 77,35\%$	$P_s = 97,51\%$

Tendo em vista que não foi conseguida a segurança máxima nem no grupo 3 para $\sigma_f = 56,20$ MPa, procurar-se-á encontrá-la no grupo 4.

Conforme observações nos anexos 2, 3 e 4, verifica-se que na condição verde o $\sigma_f = 56,20$ MPa é maior do que o valor mínimo estimado do grupo, portanto, o grupo 4 não oferece segurança máxima para a estrutura D. Buscou-se então nesse mesmo grupo, a madeira seca, e neste caso as probabilidades de segurança são:

a) Através da Weibull

para $f_f(D_b)$

$$P_s = 100\%$$

para $f_f(f_f)$

$$P_s = 100\%$$

b) Através da distribuição normal

$$P_s = 99,43\%$$

Portanto, na condição seca obtém-se através da Weibull, segurança máxima. Porém deve ser ressaltado que não existe segurança máxima, pois sempre existe alguma probabilidade de insucesso.

Comparando as distribuições Weibull com a normal e ainda com a norma brasileira, pode-se admitir que as probabilidades de segurança obtidas pela Weibull aproximam-se dos resultados gerados pela distribuição normal. Porém, a Weibull é mais geral, facilmente ajustada aos dados observados e ainda de utilização mais prática, ou seja, dispensa o uso de tabelas para quantificar as probabilidades envolvidas.

A Norma Brasileira não quantifica a segurança, apenas específica o valor de resistência média que a espécie deve ter em relação a um determinado esforço solicitante na estrutura. Conforme foi constatado nos resultados obtidos pela Weibull e pela normal, pode-se afirmar que a resistência exigida pela norma brasileira é exageradamente elevada,

tornando portanto, as estruturas anti-econômicas, porém com elevadíssimo grau de segurança.

A partir dos resultados obtidos com os grupos 1, 2, 3 e 4 nas condições verde e seca, pode-se constatar que as formas de aumentar a segurança das estruturas de madeira, para um determinado esforço solicitante, e sem aumentar a seção transversal das peças são:

- Utilizar a madeira seca, pois as probabilidades de segurança obtidas com as espécies dos grupos nessa condição de umidade são, de uma maneira geral, aumentadas e às vezes acentuadamente.
- Retirar do grupo a(s) espécie(s) que apresenta(m) alta variabilidade, pois dessa maneira, poder-se-á diminuir o desvio padrão sem prejuízo da resistência média. Caso esta(s) espécie(s) seja(m) colocada(s) num grupo inferior ter-se-á, neste grupo, um aumento na resistência média e se o desvio padrão não aumentar, proporcionalmente, então este grupo também terá segurança majorada.

Pode-se observar nas Figuras 24 a 27, de uma forma expedita, a frequência de valores de resistência abaixo e acima dos esforços solicitantes utilizados nos cálculos anteriores. Pode-se também determinar, de imediato a segurança da estrutura, dentro de cada grupo que se queira, a partir do esforço solicitante desejado.

No caso de um esforço solicitante de 45,00 MPa, por exemplo, traça-se na Figura 24 uma linha vertical no

ponto 45 do eixo x. O ponto de interseção dessa vertical com a curva da distribuição Weibull do grupo, fornece a probabilidade de ocorrências de valores de resistência inferiores a 45.

Para o grupo 2 pode-se observar, por exemplo, que esta interseção se dá no ponto 0,4.

Isto significa que existem 40% de valores de resistência inferiores a 45 MPa e a segurança é dada, logicamente por $1 - 0,4$, ou seja, 60%.

4.10. Cálculo da segurança desejada através da variabilidade da densidade básica

Supondo uma segurança desejada de 95,51%, para uma estrutura cujo esforço solicitante seja $\sigma_f = 22,90$ MPa. É possível saber-se qual seria, dentro de cada grupo em uma dada condição de umidade, a densidade básica necessária para atenderem-se a estas necessidades.

Substituindo o valor de $\sigma_f = 22,90$ MPa na Equação 9, obtém-se a densidade básica correspondente ao referido esforço solicitante.

Então,

$$22,90 = - 18,3766 + 160,21' Db_s$$

Donde,

$$Db_s = \frac{22,90 + 18,3766}{160,21} = 0,26 \text{ g/cm}^3 \quad (18)$$

Como visto anteriormente, a segurança de uma estrutura sujeita a um esforço solicitante σ_f , através da distribuição Weibull é calculada por

$$P_s = 1 - e^{-\left(\frac{f_f - a}{b}\right)^c - \left[1 - e^{-\left(\frac{\sigma_f - a}{b}\right)^c}\right]} \quad (19)$$

A hipótese adotada neste trabalho é a de que esta Equação (19) pode ser, sem prejuízo da segurança substituída por

$$P_s = 1 - e^{-\left(\frac{Db - a}{b}\right)^c - \left[1 - e^{-\left(\frac{Db_s - a}{b}\right)^c}\right]} \quad (20)$$

Isolando a variável Db têm-se

$$Db = be^{\frac{1}{c} \ln\{-\ln[-P_s + e^{-\left(\frac{Db_s - a}{b}\right)^c}]\}} + a \quad (21)$$

Esta Db é, portanto, aquela necessária para atender a segurança especificada.

Tomando-se por exemplo os parâmetros $a = 0,24$, $b = 0,11$ e $c = 2,46$ da distribuição Weibull para o grupo 1 apresentados no Anexo 2 e $Db_s = 0,26 \text{ g/cm}^3$ calculada pela

Equação (18) e substituindo-os na Equação (21), obtém-se

$$Db = 0,11 e^{\frac{1}{2,46} \ln\{-\ln[-0,9551 + e^{-\left(\frac{0,26-0,24}{0,11}\right)^{2,46}}]\}} + 0,24 = 0,42$$

A esta $Db = 0,42 \text{ g/cm}^3$ corresponde um $f_f = 48,91 \text{ MPa}$, o qual pode ser tomado como um valor aleatório.

Portanto,

$$F(48,91) = 1 - e^{-\left(\frac{48,91-18,07}{17}\right)^{2,46}} = 0,9868$$

$$F(22,90) = 1 - e^{-\left(\frac{22,90-18,07}{17}\right)^{2,46}}$$

$$P_s = F(48,91) - F(22,90) = 0,9868 - 0,0442 = 0,9426$$

Observa-se que a probabilidade de segurança (P_s) obtida, é ligeiramente inferior à segurança especificada inicialmente. Entretanto, deve ser ressaltado que essa diferença deve-se ao fato de que os ajustes de $Db(Db)$ e do $f_f(Db)$, foram efetuados independentemente um do outro, isto é, sobre conjuntos de dados completamente diferentes.

Depreende-se portanto, que a Equação 9 e a distribuição Weibull para Db são suficientes para se estimar a segurança de uma estrutura construída com madeiras amazônicas.

Nas Figuras 28 e 29, estão apresentadas as

distribuições Weibull para a densidade básica observada e para a densidade básica estimada, para os grupos de espécies 1 a 8, na condição verde. Através destas duas figuras, pode-se obter de forma expedita, a probabilidade de segurança em uma estrutura, para qualquer um dos grupos de espécies, conforme foi mostrado no item 4.9., porém, deve-se ter a densidade básica calculada correspondente ao esforço solicitante na estrutura.

Figura 28. F.d.a. ajustada aos dados observados de Db para os grupos de espécies 1 a 4 das madeiras da floresta amazônica

Figura 29. F.d.a. ajustada aos dados observados de Db para os grupos de espécies 5 a 8 das madeiras da floresta amazônica

5. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, conclui-se que:

- Os coeficientes de variação obtidos para as diversas propriedades da madeira praticamente não variam entre regiões e são da mesma ordem de grandeza que aqueles encontrados para a floresta amazônica como um todo. A partir desta constatação, pode-se admitir que a amostragem conseguiu captar toda a amplitude de variação das propriedades físicas e mecânicas das madeiras da região amazônica;
- A maioria das variabilidades das propriedades mecânicas das madeiras estudadas na condição seca à 12% de umidade, são menores do que as variabilidades dessas propriedades determinadas na condição verde;
- Não se deve afirmar de imediato, que as retrações variam com a densidade básica da madeira. Os resultados mostram que várias espécies com densidades médias e altas,

apresentam retração inferior ou equivalente à algumas espécies de densidades mais baixas;

- Devido aos baixos coeficientes de correlação entre as retrações e a densidade básica, admite-se que as mesmas têm maior associação com a anatomia e os extrativos da madeira do que com a densidade básica;
- As relações entre as propriedades mecânicas e densidade básica, demonstram bons níveis de correlação, podendo-se afirmar que as mesmas são diretamente relacionadas;
- As equações obtidas das relações entre propriedades mecânicas e densidade básica, permitem estimar os valores daquelas propriedades de qualquer espécie de madeira amazônica, tanto na condição verde quanto seca, através da densidade básica.
- A distribuição Weibull mostrou-se apropriada para estimar a distribuição dos valores de densidade básica e de propriedades mecânicas representadas pelo módulo de ruptura à flexão estática das madeiras amazônicas, tanto na condição verde quanto seca à 12% de umidade;
- Através da distribuição Weibull, pode-se estimar a segurança das estruturas de madeira, podendo-se até

estabelecerem-se níveis desejáveis de segurança nas estruturas, de acordo com as exigências do proprietário ou do engenheiro responsável pela obra;

- A teoria desenvolvida neste trabalho possibilita que a estimativa da segurança desejada em uma estrutura, seja calculada sem necessitar dos valores de propriedades mecânicas, tendo em vista que, por intermédio da função Weibull, pode-se estimar qual o valor da densidade que a madeira deverá ter para satisfazer a estimativa de segurança esperada;
- O agrupamento de espécies para uso em estruturas de madeira, com base nas classes de densidade, possibilita maior aproveitamento de madeira por hectare;
- Tendo-se em vista que a frequência da maioria das espécies comercialmente desejáveis, é muito baixa por unidade de área, os grupos de espécies formados minimizam as limitações do baixo aproveitamento das madeiras da Amazônia.
- Os resultados mostram que os níveis de segurança nas estruturas de madeira, adotados pela norma brasileira são exageradamente altos. Isto, tem limitado significativamente a utilização de um grande número de espécies para

usos estruturais;

- Além dos resultados alcançados, este trabalho poderá ainda contribuir no que concerne à redução de custos, tempo e volume de madeira para a obtenção de propriedades mecânicas com o objetivo de utilizá-las nos cálculos das estruturas de madeira, pois, através da densidade básica, pode-se estimar os valores daquelas propriedades para qualquer espécie.

6. RERERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARGANBRIGHT, D. G. Influence of extractives on bending strength of redwood (*Sequoia sempervirens*). Wood and Fiber, Madison, 2(4) 367-372, 1971.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cálculo e execução de estruturas de madeira. ABNT / NB-11. Rio de Janeiro, 1972.

BATISTA, J. L. F. A função Weibull como modelo para a distribuição de diâmetros de espécies arbóreas tropicais. Piracicaba, 1989. 116 p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).

BURGER, L. M. & RICHTER, H. G. Anatomia da madeira. São Paulo. Nobel S.A., 1991. 154 p.

CHAFE, S. C. Collapse volumetric shrinkage, specific gravity and extractives in *Eucalyptus* and other species; part 2 the influence of wood extractives. Wood Science and Technology. New York, 21:27-41, 1987.

CHIMELO, J. P. Development of a probability-based computerization system for identification and for property prediction of selected tropical hardwoods. Blacksburg, 1980. 202p. (Thesis PhD - Virginia Polytechnic Institute and State University).

CHOONG, E. T. Effect of extractives on shrinkage and other hidroscopic properties of the southern pines. Wood and Fiber, Madison, 1:124-133, 1969.

_____ & ACHMADI, S. S. Effect of extractives on moisture sorption and shrinkage in tropical woods. Wood and Fiber Science, Madison, 23(2):185-196, abr. 1991.

COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Maderas: Selección y colección de muestras. COPANT, nº 458, abr. 1972.

_____. Maderas: Método de determinación del peso específico aparente. COPANT, nº 30:1-004, jun. 1971.

. Maderas:
Método de determinación de la contracción. COPANT, nº
462, abr. 1972.

. Maderas:
Método de determinación de flexión estática. COPANT, nº
30:1-006, jun. 1972.

. Maderas:
Método de determinación de la compresión paralela al
grano. COPANT, nº 30:1-008, jun. 1971.

. Maderas:
Método de determinación de la compresión perpendicular al
grano. COPANT, nº 466, abr. 1972.

. Maderas:
Método de determinación del cisallamiento paralelo al
grano. COPANT, nº 463, 1971.

DIAZ, M. P.; DO COUTO, H. T.; CORRENTE, J. E. Simulation of
binomial data and transformation for the analysis of
variance. Biometrics Bulletin. 9: nº 2, 19-20.
Alexandria, VA, USA, 1992.

FINDLAY, W. P. K. Timber properties and uses. Granada Publishing Limited. London, 1975, 224 p.

FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E. G.; MILANEZ, A. F. Estudo comparativo de madeiras de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus paniculata*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus imaculata* e *Eucalyptus tereticornis* para produção de celulose sulfato. Piracicaba, IPEF, (10):17-37, 1974.

GARCIA, J. N. & QUIRINO, W. F. Influência dos extrativos solúveis em água na resistência à compressão paralela da madeira de ipê (*Tabebuia* sp). 1º Congresso Florestal Panamericano. 7º Congresso Florestal Brasileiro. ANAIS. Curitiba, setembro de 1993. 2 V. 647-650 p.

JANKOWSKY, I. P. Influência da densidade básica e do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira. Piracicaba, 1979. 94 p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz" / USP).

JOHNSON, J. W. Relations among models of elasticity and rupture: seasoned and unseasoned coast-type douglas fir and seasoned western hemlock. Symposium Nondestructive Testing of Wood, 2. PROCEEDINGS, apr. 1965.

KOLLMANN, F. F. P. & CÔTÉ, W. A. Jr. Principles of wood Science and Tecnology. Solid Wood. Berlim, Heildeberg, New York. Spring-Verlag, 1968. 592 p. 1 V.

KNOWLES, O. H. Perpectiva das oportunidades de investimentos no desenvolvimento da indústria florestal da Amazônia Brasileira. Belém, SUDAM, APC, DD, 1971. 85 p.

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. F.; ALENCAR, J. C. Essências madeireiras da amazônia. Manaus. INPA/CNPq, 1977. 315 p. 1 V.

Mc GULLAGH, P. & NELDER, J. A. Generalized Linear Models. 2 ed. Londres, Chapman and Hall, 1969, 511 p.

NASCIMENTO, C. C. Variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras da Amazônia. Piracicaba, 1993. 129 p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).

PANDOLFO, C. A. Floresta amazônica brasileira. Enfoque econômico - ecológico. Belém, SUDAM, 1978, 118 p.

_____. Considerações sobre a questão ecológica da Amazônia Brasileira, Belém, SUDAM, 1990, 64 p.

PANSHIN, A. J. & ZEEUW, C. Textbook of technology. 3. ed. New York. Mc Graw-Hill Book Co., 1970. 705 p. 1 V.

PAULA, E. V. C. M.; CABRAL, M. T. F. D.; NASCIMENTO, C. C.; ROCHA, J. S. Propriedades mecânicas de trinta e nove espécies de madeiras do Amazonas. II Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. ANAIIS. São Carlos, 1986. 1 V.

PEREIRA, J. A. As relações da estrutura anatômica do lenho com as propriedades físicas e mecânicas e os usos das madeiras. 1ª Conferência de Anatomistas de Madeira. Belém, (s/d).

ROCCO LAHR, F. A. Considerações a respeito da variabilidade de propriedades de resistência e de elasticidade da madeira. Tese de livre docência. São Carlos, EESC/USP, 161 p, 1990.

ROCHA, J. S.; PAULA, E. V. C. M.; SIQUEIRA, M. L. Flexão estática em amostras pequenas livres de defeitos. Acta Amazonica. Manaus, 18(1/2):147-162, mar/jun. 1988.

SANTOS, L. M. Cálculo de concreto armado segundo a NB-1/76 e o CEB/72. São Paulo, Edgard Blucher, 1977. 409 p.

SHAPIRO, S. How to teste normality and other distributional assumptions. American Society for Quality Control. Wisconsin, 1990. 92 p.

SLOOTEN, H. J. VAN DER; LISBOA, C. D. J.; SOBRAL FILHO, M.; PASTORE JUNIOR, F. Espéies florestais da Amazônia - Características, propriedades e dados de engenharia da madeira. PRODEPEF. Série Técnica nº 6, Brasília, 1976, 90 p.

STAAM, A. J. Wood and cellulose science. New York. Ronald Press, 1964. 549 p.

STEPHENS, M. A. EDF Statistics for goodness of fit and some comparasions. Am. Stat. As. Jour. 69:(347) 730-737. 1974.

TARKOW, H. & KRUEGER, J. Distribution of hot-water soluble material in cell walls and cavities of redwood. Forest Products Journal, Madison, 1961, 11(5):228-229.

U. S. FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood handbook: Wood as un engeneering material. Madison, 1974. 1 V.

WILSON, T. R. C.; CARLSON, T. A.; LUXFORD, R. F. The effect of partial seasoning on the strength of wood. Madison, USDA, (1024), 1960.

A N E X O 1

Valores médios, coeficientes de variação, desvios padrão e número de amostras da densidade básica, retrações tangencial, radial e volumétrica e propriedades de resistência (nas condições verde e seca à 12% de umidade) das espécies do Amapá, Balbina, Curuá-Una e Tapajós.

Espécies originárias da região do Amapá

Nome Científico		Db	Rt	Rr	Rv	E _f	f _f	f _c	f _{cn}	f _s
<u>Alexa</u> <u>imperatricis</u>	μ (v)	0,56	9,40	4,39	15,25	8433	60,57	33,65	7,03	8,92
	μ (12%)	0,57	9,68	4,38	15,67	10340	85,98	48,04	8,74	11,92
	CV (v)	8,660	17,403	24,996	17,450	17,211	25,820	7,325	25,524	21,413
	CV (12%)	4,691	17,262	28,000	17,465	9,266	9,729	5,021	8,470	19,344
	s (v)	0,048	1,636	1,098	2,661	1451,4	15,638	2,465	1,795	1,909
	s (12%)	0,027	1,670	1,228	2,737	958,12	8,365	2,412	0,740	2,306
	N (v)	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	N (12%)	5	5	5	5	5	5	5	5	5
<u>Couratari</u> <u>guianensis</u>	μ (v)	0,50	8,63	6,39	16,12	6600	45,05	27,43	4,95	9,28
	μ (12%)	0,50	8,63	6,39	16,12	9850	85,83	47,95	8,20	12,15
	CV (v)	4,809	8,194	10,767	6,061	8,481	12,392	13,876	19,897	14,178
	CV (12%)	4,809	8,194	10,767	6,061	11,561	10,053	9,346	29,336	17,530
	s (v)	0,024	0,707	0,688	0,977	559,76	5,582	3,806	0,985	1,315
	s (12%)	0,024	0,707	0,688	0,977	1138,7	8,628	4,481	2,406	2,130
	N (v)	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	N (12%)	4	4	4	4	4	4	4	4	4
<u>Eperua</u> sp	μ (v)	0,78	10,08	4,06	14,88	12817	88,53	55,32	14,72	11,32
	μ (12%)	0,78	9,50	3,53	13,56	14167	149,97	72,43	15,20	14,93
	CV (v)	4,931	9,302	22,532	12,004	11,440	22,589	13,044	6,746	5,819
	CV (12%)	6,784	10,112	19,279	9,565	6,559	13,936	12,375	21,176	5,114
	s (v)	0,038	0,937	0,915	1,787	1466,2	19,999	7,216	0,993	0,659
	s (12%)	0,053	0,960	0,681	1,297	929,16	20,899	8,963	3,219	0,764
	N (v)	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	N (12%)	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<u>Lecythis</u> <u>poiteaui</u>	μ (v)	0,81	13,48	8,27	23,00	13520	116,14	50,18	17,16	16,08
	μ (12%)	0,81	13,48	8,27	23,00	14680	168,20	79,18	15,30	16,60
	CV (v)	4,701	9,669	13,894	11,105	4,719	7,810	16,196	24,860	10,080
	CV (12%)	4,701	9,669	13,894	11,105	4,992	10,962	12,279	12,783	16,170
	s (v)	0,038	1,304	1,149	2,554	637,97	9,071	8,127	4,266	1,621
	s (12%)	0,038	1,304	1,149	2,554	732,80	18,438	9,722	1,956	2,684
	N (v)	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	N (12%)	5	5	5	5	5	5	5	5	5
<u>Manilkara</u> <u>amazonica</u>	μ (v)	0,84	11,01	7,42	19,50	12267	108,43	55,90	16,03	12,30
	μ (12%)	0,84	11,01	7,42	19,50	12500	130,10	79,57	16,20	14,80
	CV (v)	1,380	14,316	4,839	10,997	6,640	31,178	3,180	18,880	7,756
	CV (12%)	1,380	14,316	4,839	10,997	4,996	8,435	19,729	4,048	6,446
	s (v)	0,012	1,577	0,359	2,144	814,45	33,807	1,778	3,027	0,954
	s (12%)	0,012	1,577	0,359	2,144	624,50	10,974	15,698	0,656	0,954
	N (v)	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	N (12%)	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<u>Parinari</u> <u>montana</u>	μ (v)	0,70	11,31	7,49	19,97	11600	85,63	43,85	7,45	11,45
	μ (12%)	0,69	11,06	7,76	20,01	13767	134,07	81,67	11,23	15,17
	CV (v)	3,689	5,500	11,774	4,658	7,806	19,436	10,688	21,067	3,229
	CV (12%)	2,899	4,024	10,937	5,660	4,837	12,386	14,249	4,207	8,297
	s (v)	0,026	0,622	0,882	0,930	905,54	16,642	4,687	1,570	0,370
	s (12%)	0,020	0,445	0,849	1,133	665,83	16,606	11,636	0,473	1,258
	N (v)	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	N (12%)	3	3	3	3	3	3	3	3	3

μ	- média da densidade básica, retração e propriedades	mecânicas
CV	- coeficiente de variação	
s	- desvio padrão	
N	- tamanho da amostras	
v	- madeiras estudadas na condição verde	
(12%)	- madeiras à 12% de umidade	

continuação

<u>Couratari</u>	μ (v)	0,52	6,48	4,10	11,03	10533	68,67	31,60	4,60	8,75
<u>oblongifolia</u>	μ (12%)	0,48	6,58	4,16	10,64	10657	80,54	45,47	6,60	9,83
	CV (v)	9,944	12,159	18,132	6,871	14,026	15,646	18,557	17,227	18,636
	CV (12%)	6,063	8,432	17,950	5,788	7,640	26,192	15,779	19,639	15,405
	s (v)	0,052	0,787	0,744	0,758	1477,4	10,744	5,864	0,792	1,631
	s (12%)	0,029	0,554	0,746	0,616	814,16	21,096	7,175	1,296	1,514
	N (v)	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	N (12%)	7	7	7	7	7	7	7	7	7
<u>Clarisia</u>	μ (v)	0,60	6,21	3,17	9,52	11100	87,86	47,30	7,58	10,40
<u>racemosa</u>	μ (12%)	0,60	6,14	3,00	9,77	12388	113,12	66,78	9,44	12,25
	CV (v)	8,847	7,124	10,816	9,079	3,927	12,972	8,237	18,432	8,627
	CV (12%)	12,298	14,898	14,257	9,686	5,986	12,624	14,726	10,952	17,101
	s (v)	0,053	0,442	0,343	0,864	435,89	11,397	3,896	1,397	0,897
	s (12%)	0,074	0,914	0,428	0,946	741,50	14,281	9,834	1,034	2,095
	N (v)	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	N (12%)	8	8	8	7	8	8	8	8	8
<u>Cassia</u>	μ (v)	0,98	7,78	4,25	10,84	15460	130,78	78,22	19,96	16,96
<u>scleroxylon</u>	μ (12%)	1,00	7,74	4,52	11,47	17150	185,38	97,38	21,90	19,88
	CV (v)	2,744	8,688	14,557	10,490	7,662	6,523	10,289	30,101	13,957
	CV (12%)	5,447	10,333	22,443	7,248	12,800	9,244	6,437	9,273	10,353
	s (v)	0,027	0,676	0,618	1,137	1184,5	8,531	8,048	6,008	2,367
	s (12%)	0,055	0,800	1,014	0,831	2195,2	17,136	6,268	2,031	2,059
	N (v)	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	N (12%)	6	6	6	6	6	6	6	6	6
<u>Dinizia</u>	μ (v)	0,81	9,38	5,57	14,34	16013	118,30	61,66	10,30	12,86
<u>excelsa</u>	μ (12%)	0,84	9,61	5,51	14,71	17167	160,00	86,24	14,60	17,73
	CV (v)	6,665	7,191	19,317	10,351	15,097	7,366	9,759	19,666	12,285
	CV (12%)	6,682	7,476	15,936	9,317	8,492	15,189	13,199	16,410	16,334
	s (v)	0,054	0,674	1,077	1,484	2417,5	8,714	6,018	2,026	1,580
	s (12%)	0,056	0,719	0,878	1,371	1457,7	24,303	11,383	2,396	2,897
	N (v)	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	N (12%)	9	9	9	9	9	9	9	9	9
<u>Dialium</u>	μ (v)	0,90	8,70	4,73	13,46	15660	144,32	66,52	15,42	14,66
<u>guianense</u>	μ (12%)	0,92	8,08	4,63	12,96	17980	203,00	99,58	22,60	23,76
	CV (v)	8,422	19,490	18,624	8,046	10,062	19,021	24,187	13,230	19,115
	CV (12%)	4,936	14,808	18,933	3,843	3,999	14,137	7,413	16,662	15,758
	s (v)	0,076	1,696	0,881	1,083	1575,8	27,451	16,089	2,040	2,802
	s (12%)	0,046	1,197	0,877	0,498	719,03	28,697	7,382	3,766	3,744
	N (v)	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	N (12%)	5	5	5	5	5	5	5	5	5
<u>Didymopanax</u>	μ (v)	0,41	9,27	6,28	16,21	9250	40,19	17,85	2,04	6,38
<u>morototoni</u>	μ (12%)	0,40	9,24	6,39	16,03	11475	75,35	41,79	4,40	10,48
	CV (v)	14,756	16,070	17,614	17,930	16,426	14,440	17,563	22,096	12,928
	CV (12%)	12,457	14,424	21,543	12,979	11,531	17,792	19,398	19,551	9,039
	s (v)	0,060	1,490	1,106	2,907	1519,4	5,803	3,135	0,450	0,824
	s (12%)	0,050	1,333	1,377	2,081	1323,1	13,406	8,106	0,860	0,947
	N (v)	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	N (12%)	8	7	7	6	8	8	8	8	8
<u>Dipteryx</u>	μ (v)	0,91	8,72	5,59	13,81	17850	139,65	71,11	16,48	16,85
<u>odorata</u>	μ (12%)	0,91	8,61	5,48	13,88	17571	172,83	97,31	20,40	20,57
	CV (v)	4,927	9,268	10,584	6,999	18,922	8,304	9,276	21,725	10,550
	CV (12%)	3,584	8,620	9,888	7,491	8,146	18,274	12,550	10,298	18,824
	s (v)	0,045	0,808	0,591	0,967	3377,7	11,596	6,596	3,579	1,778
	s (12%)	0,033	0,742	0,541	1,040	1431,4	31,582	12,213	2,101	3,872
	N (v)	8	8	8	7	8	8	8	8	8
	N (12%)	7	7	7	6	7	7	7	7	7

continuação

<u>Franchetella</u>	μ (v)	0,72	10,07	4,48	14,97	13367	100,97	43,10	9,50	11,90
<u>gongriipii</u>	μ (12%)	0,72	10,07	4,48	14,97	15633	147,27	77,03	12,77	17,97
	CV (v)	2,778	2,683	21,878	4,347	3,766	5,279	15,273	23,795	11,765
	CV (12%)	2,778	2,683	21,878	4,347	14,786	6,553	12,442	18,038	16,144
	s (v)	0,020	0,270	0,979	0,651	503,32	5,330	6,583	2,261	1,400
	s (12%)	0,020	0,270	0,979	0,651	2311,6	9,650	9,585	2,303	2,901
	N (v)	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	N (12%)	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<u>Glycydendron</u>	μ (v)	0,68	7,63	4,93	12,30	12525	81,38	42,75	5,63	9,59
<u>amazonicum</u>	μ (12%)	0,68	7,69	4,83	12,17	15257	128,09	67,76	9,73	13,74
	CV (v)	6,840	7,727	16,087	8,199	12,751	17,191	9,385	18,615	16,420
	CV (12%)	10,306	7,960	21,884	9,022	8,735	12,482	16,914	15,115	11,527
	s (v)	0,046	0,590	0,792	1,009	1597,1	13,989	4,012	1,047	1,574
	s (12%)	0,069	0,612	1,057	1,098	1332,7	15,988	11,460	1,471	1,584
	N (v)	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	N (12%)	7	7	7	7	7	7	7	7	7
<u>Goupia</u>	μ (v)	0,70	8,07	4,50	12,52	11433	89,98	47,70	8,93	11,95
<u>glabra</u>	μ (12%)	0,70	8,52	4,54	13,20	14640	131,88	78,30	15,18	15,10
	CV (v)	4,566	7,437	11,543	6,596	11,704	12,491	10,900	7,581	11,628
	CV (12%)	3,882	9,731	9,088	5,276	7,722	14,698	24,829	27,958	13,962
	s (v)	0,032	0,600	0,519	0,826	1338,2	11,240	5,199	0,677	1,390
	s (12%)	0,027	0,829	0,412	0,696	1130,5	19,384	19,441	4,244	2,108
	N (v)	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	N (12%)	5	5	5	5	5	5	5	5	5
<u>Guatteria</u>	μ (v)	0,51	9,30	4,40	13,05	10150	57,45	26,40	3,40	8,25
<u>olivacea</u>	μ (12%)	0,51	9,30	4,40	13,05	12450	100,20	52,40	6,00	8,90
	CV (v)	5,546	9,124	6,750	0,542	4,877	5,046	1,071	49,913	6,00
	CV (12%)	5,546	9,124	6,750	0,542	7,383	5,222	7,017	65,997	14,301
	s (v)	0,028	0,849	0,297	0,071	494,97	2,899	0,283	1,697	0,495
	s (12%)	0,028	0,849	0,297	0,071	919,24	5,233	3,677	3,960	1,273
	N (v)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	N (12%)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<u>Hymenaea</u>	μ (v)	0,78	7,92	3,71	10,94	14517	111,88	59,53	10,60	15,35
<u>courbaril</u>	μ (12%)	0,73	6,59	3,24	10,40	15750	151,05	77,65	13,50	18,20
	CV (v)	7,345	15,968	17,221	7,718	9,399	12,485	6,380	15,023	13,794
	CV (12%)	6,827	1,825	26,189	8,159	4,939	7,818	2,459	3,143	9,324
	s (v)	0,057	1,265	0,638	0,844	1364,4	13,968	3,798	1,592	2,117
	s (12%)	0,049	0,120	0,849	0,849	777,82	11,809	1,909	0,424	1,697
	N (v)	6	5	5	5	6	6	6	6	6
	N (12%)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<u>Hymenolobium</u>	μ (v)	0,65	7,65	4,43	12,80	12644	93,68	44,93	6,99	11,51
<u>modestum</u>	μ (12%)	0,65	7,55	4,40	12,72	13400	120,94	61,90	10,71	14,04
	CV (v)	11,045	8,479	14,877	7,092	16,866	16,883	18,190	13,258	10,626
	CV (12%)	11,045	8,547	16,274	7,791	11,811	15,660	11,918	6,058	17,193
	s (v)	0,072	0,649	0,659	0,908	2132,6	15,815	8,173	0,927	1,223
	s (12%)	0,072	0,645	0,716	0,991	1582,7	18,940	7,377	0,649	2,415
	N (v)	9	7	7	6	9	9	9	9	9
	N (12%)	9	6	6	5	9	9	9	9	9
<u>Hymenaea</u>	μ (v)	0,90	8,76	3,18	12,00	15500	129,15	64,50	17,65	16,63
<u>parviflora</u>	μ (12%)	0,89	9,59	4,10	13,45	17500	171,06	90,80	19,48	22,44
	CV (v)	9,802	10,937	34,214	13,869	9,093	17,057	17,045	15,547	14,988
	CV (12%)	11,076	10,729	21,196	10,902	10,428	11,164	13,148	15,483	15,930
	s (v)	0,088	0,958	1,089	1,664	1409,5	22,029	10,994	2,744	2,492
	s (12%)	0,098	1,029	0,868	1,466	1824,8	19,097	11,938	3,016	3,575
	N (v)	4	3	3	3	4	4	4	4	4
	N (12%)	5	4	4	4	5	5	5	5	5

continuação

<u>Pouteria</u> <u>caimito</u>	μ (v)	0,88	9,42	5,39	14,47	16300	133,31	66,39	14,00	14,62
	μ (12%)	0,89	9,53	5,26	14,67	17986	171,27	87,09	16,06	16,74
	CV (v)	4,684	8,213	16,971	9,424	4,201	7,086	6,267	17,330	11,052
	CV (12%)	5,001	8,950	16,455	10,656	7,252	7,888	7,144	16,504	12,220
	s (v)	0,041	0,774	0,915	1,363	684,75	9,447	4,161	2,426	1,616
	s (12%)	0,044	0,853	0,865	1,563	1304,4	13,510	6,221	2,650	2,046
	N (v)	10	9	9	6	10	10	10	10	10
	N (12%)	7	7	7	6	7	7	7	7	7
<u>Parkia</u> <u>paraensis</u>	μ (v)	0,45	8,03	4,02	12,03	10200	60,00	26,60	3,57	8,33
	μ (12%)	0,45	7,78	3,67	11,53	11450	82,20	42,75	5,00	0,88
	CV (v)	5,634	4,083	2,658	4,725	9,352	7,213	19,018	21,044	23,062
	CV (12%)	4,607	7,349	19,402	9,698	17,328	14,804	4,938	28,237	13,163
	s (v)	0,025	0,328	0,107	0,569	953,94	4,328	5,059	0,751	1,922
	s (12%)	0,021	0,572	0,712	1,118	1984,1	12,169	2,111	1,412	1,431
	N (v)	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	N (12%)	4	4	4	4	4	4	4	4	4
<u>Parkia</u> <u>pendula</u>	μ (v)	0,50	7,66	3,74	10,46	9910	65,85	31,28	4,34	9,56
	μ (12%)	0,49	7,50	3,94	10,52	12157	84,87	48,67	6,80	11,37
	CV (v)	12,544	12,632	30,867	7,713	12,141	16,652	14,310	21,040	16,897
	CV (12%)	7,788	13,110	34,361	9,459	14,270	23,317	12,635	21,412	9,894
	s (v)	0,062	0,968	1,155	0,806	1203,2	10,965	4,476	0,913	1,615
	s (12%)	0,038	0,983	1,353	0,995	1734,8	19,790	6,150	1,456	1,125
	N (v)	10	10	10	9	10	10	10	10	10
	N (12%)	7	7	7	6	7	7	7	7	7
<u>Planchonella</u> <u>pachycarpa</u>	μ (v)	0,75	12,21	6,31	17,45	15800	116,00	55,31	6,80	11,43
	μ (12%)	0,75	12,77	6,48	17,53	17325	168,86	84,43	11,39	17,49
	CV (v)	4,583	11,956	6,883	4,901	11,841	13,176	8,022	11,895	11,591
	CV (12%)	4,580	14,243	9,976	5,089	8,179	10,381	9,614	11,092	8,798
	s (v)	0,034	1,460	0,434	0,855	1870,8	15,284	4,437	0,809	1,324
	s (12%)	0,034	1,819	0,647	0,892	1417,0	17,530	8,117	1,263	1,538
	N (v)	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	N (12%)	8	8	8	7	8	8	8	8	8
<u>Piptadenia</u> <u>suaveolens</u>	μ (v)	0,76	8,35	5,29	13,16	13775	111,74	55,90	9,16	14,60
	μ (12%)	0,75	8,59	5,38	13,64	15900	146,54	77,34	13,64	15,12
	CV (v)	9,580	10,385	14,272	13,060	7,205	12,144	9,560	25,840	12,209
	CV (12%)	10,232	5,925	11,486	9,003	5,031	8,689	6,357	18,588	12,100
	s (v)	0,073	0,867	0,755	1,718	992,47	13,569	5,344	2,368	1,782
	s (12%)	0,077	0,509	0,618	1,228	800,00	12,733	4,917	2,535	1,829
	N (v)	8	8	7	7	8	8	8	8	8
	N (12%)	5	5	5	5	5	5	5	5	5
<u>Protium</u> <u>tenuifolium</u>	μ (v)	0,63	8,36	4,18	12,00	11967	87,37	40,07	7,47	10,30
	μ (12%)	0,63	8,36	4,18	12,00	12867	116,43	64,53	9,43	14,87
	CV (v)	4,762	8,623	18,832	7,500	5,373	7,852	6,433	12,658	9,562
	CV (12%)	4,762	8,623	18,832	7,500	4,685	3,453	6,476	11,135	11,442
	s (v)	0,030	0,721	0,788	0,900	642,91	6,860	2,577	0,945	0,985
	s (12%)	0,030	0,721	0,788	0,900	602,77	4,020	4,179	1,050	1,701
	N (v)	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	N (12%)	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<u>Protium</u> <u>sp.</u>	μ (v)	0,77	9,72	5,23	14,62	14317	111,07	53,32	9,42	12,37
	μ (12%)	0,74	9,83	5,32	14,50	16275	137,68	79,60	11,28	18,33
	CV (v)	6,264	8,124	17,231	6,674	10,383	14,036	17,050	12,264	5,524
	CV (12%)	1,695	8,897	19,080	8,966	4,796	18,106	6,594	4,878	9,329
	s (v)	0,048	0,790	0,900	0,976	1486,5	15,590	9,091	1,155	0,683
	s (12%)	0,013	0,874	1,014	1,300	780,49	24,928	5,248	0,550	1,710
	N (v)	6	5	5	5	6	6	6	6	6
	N (12%)	4	4	4	3	4	4	4	4	4

A N E X O 2

Parâmetros da distribuição Weibull determinados para a densidade básica e propriedades mecânicas nas condições verde e seca, tanto para os grupos de espécies como para todas as espécies, conforme definições feitas no item 3.7.5..

Parâmetros da distribuição Weibull determinados para cada uma das propriedades dos grupos de espécies estudadas na condição verde

Classe	Db	E _f	f _f	f _c	f _{cn}	f _s
0,25-0,34	a = 0,240000 b = 0,110790 c = 2,458800 N = 21	a = 4900,000 b = 2265,126 c = 2,090475 N = 21	a = 16,00000 b = 21,13792 c = 2,210360 N = 21	a = 13,60000 b = 4,728578 c = 1,327647 N = 21	a = 0,900000 b = 1,615764 c = 1,616916 N = 21	a = 1,900000 b = 3,308991 c = 2,422080 N = 21
0,35-0,44	a = 0,320000 b = 0,130770 c = 2,366885 N = 40	a = 5100,000 b = 4018,017 c = 2,046090 N = 40	a = 30,00000 b = 21,57127 c = 2,097624 N = 40	a = 12,40000 b = 11,24278 c = 2,708400 N = 40	a = 1,300000 b = 1,853802 c = 1,732998 N = 40	a = 3,400000 b = 3,637705 c = 2,302250 N = 40
0,45-0,54	a = 0,340000 b = 0,188568 c = 3,732360 N = 85	a = 5400,000 b = 4186,942 c = 2,462335 N = 85	a = 38,10000 b = 25,73683 c = 2,366380 N = 85	a = 18,40000 b = 12,09293 c = 2,128197 N = 85	a = 1,900000 b = 2,670088 c = 2,045527 N = 85	a = 3,900000 b = 4,531008 c = 2,529460 N = 85
0,55-0,64	a = 0,420000 b = 0,203024 c = 3,253345 N = 153	a = 5700,000 b = 6051,608 c = 3,084220 N = 153	a = 35,80000 b = 44,76812 c = 3,546580 N = 153	a = 20,30000 b = 19,77540 c = 2,777120 N = 153	a = 2,600000 b = 4,322374 c = 1,753232 N = 153	a = 5,000000 b = 4,991942 c = 2,317410 N = 153
0,65-0,74	a = 0,520000 b = 0,213746 c = 3,202010 N = 193	a = 6200,000 b = 6273,934 c = 3,472830 N = 192	a = 42,10000 b = 56,42431 c = 3,236380 N = 192	a = 23,40000 b = 26,73451 c = 2,721290 N = 192	a = 4,300000 b = 4,631846 c = 1,810304 N = 192	a = 4,300000 b = 7,805075 c = 3,498770 N = 192
0,75-0,84	a = 0,660000 b = 0,160070 c = 2,739615 N = 121	a = 9700,000 b = 4686,820 c = 2,295144 N = 121	a = 52,50000 b = 61,27023 c = 3,553070 N = 121	a = 30,30000 b = 27,35468 c = 3,009640 N = 121	a = 4,800000 b = 7,696486 c = 1,889760 N = 121	a = 4,800000 b = 9,027406 c = 3,695920 N = 121
0,85-0,94	a = 0,700000 b = 0,227830 c = 3,758540 N = 84	a = 10200,00 b = 6025,611 c = 2,693590 N = 84	a = 91,20000 b = 46,43384 c = 2,009033 N = 84	a = 37,90000 b = 33,55143 c = 2,621680 N = 84	a = 8,300000 b = 8,717769 c = 1,620536 N = 84	a = 8,500000 b = 7,087668 c = 2,823840 N = 84
0,95-1,14	a = 0,920000 b = 0,106443 c = 1,620034 N = 13	a = 14300,00 b = 2155,601 c = 1,438506 N = 13	a = 118,6000 b = 25,04257 c = 1,666626 N = 13	a = 69,50000 b = 11,64561 c = 1,062103 N = 13	a = 11,50000 b = 11,66676 c = 1,796813 N = 13	a = 9,900000 b = 7,114779 c = 2,145640 N = 13

Parâmetros da distribuição Weibull determinados para cada uma das propriedades dos grupos de espécies estudadas na condição seca

Classe	Db	E _f	f _f	f _c	f _{cn}	f _s
0,25-0,34	a = 0,240000 b = 0,113934 c = 2,610210 N = 21	a = 6400,000 b = 1854,919 c = 1,801000 N = 21	a = 36,10000 b = 24,05319 c = 1,966120 N = 21	a = 24,60000 b = 8,414766 c = 1,846305 N = 21	a = 1,500000 b = 2,497840 c = 1,814843 N = 21	a = 3,500000 b = 3,446542 c = 1,929025 N = 21
0,35-0,44	a = 0,320000 b = 0,130659 c = 2,332018 N = 48	a = 4900,000 b = 5837,371 c = 2,205460 N = 48	a = 20,00000 b = 56,73446 c = 3,068720 N = 48	a = 25,10000 b = 18,53421 c = 1,910043 N = 48	a = 1,800000 b = 3,441708 c = 2,709350 N = 48	a = 4,200000 b = 4,528019 c = 2,193125 N = 48
0,45-0,54	a = 0,350000 b = 0,177706 c = 3,447310 N = 80	a = 7100,000 b = 4345,643 c = 1,981000 N = 80	a = 47,20000 b = 45,98859 c = 2,294320 N = 80	a = 33,20000 b = 18,26199 c = 1,993255 N = 80	a = 3,100000 b = 3,818033 c = 2,194594 N = 80	a = 5,000000 b = 5,477278 c = 2,348600 N = 80
0,55-0,64	a = 0,430000 b = 0,196765 c = 2,861370 N = 135	a = 8400,000 b = 4939,463 c = 2,554035 N = 135	a = 67,50000 b = 52,19292 c = 2,610190 N = 135	a = 27,20000 b = 38,19814 c = 3,868650 N = 135	a = 3,600000 b = 6,302669 c = 2,825010 N = 135	a = 7,100000 b = 5,962808 c = 1,994765 N = 135
0,65-0,74	a = 0,520000 b = 0,201240 c = 3,156110 N = 158	a = 9100,000 b = 5495,446 c = 2,740750 N = 158	a = 67,50000 b = 67,68755 c = 3,179220 N = 158	a = 39,40000 b = 31,86813 c = 2,845784 N = 158	a = 0,900000 b = 11,83621 c = 4,128640 N = 158	a = 7,400000 b = 8,122113 c = 2,718040 N = 158
0,75-0,84	a = 0,680000 b = 0,137784 c = 2,193125 N = 108	a = 10600,00 b = 5796,318 c = 2,430620 N = 108	a = 83,80000 b = 78,55748 c = 3,168310 N = 108	a = 52,50000 b = 32,03891 c = 2,619140 N = 108	a = 9,300000 b = 5,865404 c = 1,993210 N = 108	a = 12,00000 b = 6,291434 c = 2,075645 N = 108
0,85-0,94	a = 0,700000 b = 0,223526 c = 3,697150 N = 91	a = 13300,00 b = 4137,172 c = 2,102293 N = 91	a = 106,0000 b = 74,74580 c = 2,721110 N = 91	a = 56,20000 b = 37,83780 c = 2,912060 N = 91	a = 9,300000 b = 10,68687 c = 2,280485 N = 91	a = 10,90000 b = 8,795424 c = 2,338210 N = 91
0,95-1,14	a = 0,780000 b = 0,270359 c = 2,841950 N = 15	a = 13200,00 b = 4739,984 c = 2,277604 N = 15	a = 125,4000 b = 68,07545 c = 2,370650 N = 15	a = 87,80000 b = 24,18861 c = 1,467158 N = 15	a = 15,40000 b = 8,791270 c = 2,191575 N = 15	a = 12,90000 b = 7,061405 c = 1,904722 N = 15

Parâmetros da distribuição Weibull determinados para cada uma das propriedades de todas as espécies estudadas na condição verde

Db	E_f	f_f	f_c	f_{cn}	f_s
a = 0,190000	a = 4999,000	a = 16,00000	a = 12,40000	a = 0,900000	a = 2,400000
b = 0,540974	b = 7999,149	b = 82,74535	b = 36,73984	b = 8,815913	b = 9,525211
c = 3,312490	c = 2,549440	c = 2,628300	c = 2,078320	c = 1,611080	c = 2,657040
N = 710	N = 709	N = 709	N = 709	N = 709	N = 709

Parâmetros da distribuição Weibull determinados para cada uma das propriedades de todas as espécies estudadas na condição seca

Db	E_f	f_f	f_c	f_{cn}	f_s
a = 0,190000	a = 4999,000	a = 20,00000	a = 23,00000	a = 0,900000	a = 3,500000
b = 0,541285	b = 9726,477	b = 119,0332	b = 50,21938	b = 12,15709	b = 11,92378
c = 3,131890	c = 3,070750	c = 2,910560	c = 2,368140	c = 2,082845	c = 2,454510
N = 656	N = 656	N = 656	N = 656	N = 656	N = 656

A N E X O 3

Valores máximos, médios, mínimos, coeficientes de variação, desvios padrão e número de amostras da densidade básica e módulo de ruptura à flexão estática dos grupos de espécies estudadas nas condições verde e seca à 12% de umidade.

Grupos de espécies estudadas na condição verde

Grupos	Propriedades	valores					
		máximo	médio	mínimo	c.v.	s	N
1	Db	0,43	0,33	0,25	13,552	0,045	21
	f _f	56,20	35,17	17,80	26,445	9,300	21
2	Db	0,57	0,43	0,33	12,228	0,052	40
	f _f	70,80	49,21	32,30	19,901	9,793	40
3	Db	0,64	0,50	0,35	10,089	0,050	85
	f _f	86,90	60,85	38,20	16,774	10,207	85
4	Db	0,79	0,59	0,42	10,244	0,061	153
	f _f	111,00	76,16	35,90	16,810	12,803	153
5	Db	0,90	0,70	0,53	8,917	0,063	193
	f _f	144,00	92,76	42,20	17,890	16,590	192
6	Db	0,98	0,79	0,67	6,903	0,055	121
	f _f	158,30	107,85	52,50	15,972	17,225	121
7	Db	1,07	0,90	0,71	6,624	0,059	84
	f _f	188,50	132,40	91,30	15,822	20,949	84
8	Db	1,08	0,99	0,95	3,995	0,040	9
	f _f	140,50	133,71	118,70	5,476	7,322	9

Grupos de espécies estudadas na condição seca

Grupos	Propriedades	valores					
		máximo	médio	mínimo	c.v.	s	N
1	Db	0,43	0,33	0,25	13,019	0,043	21
	f _f	79,70	57,61	36,20	20,604	11,870	21
2	Db	0,59	0,42	0,33	12,613	0,053	41
	f _f	104,00	70,77	21,00	28,152	19,923	41
3	Db	0,60	0,49	0,35	9,705	0,048	83
	f _f	114,90	85,03	47,30	18,419	15,663	83
4	Db	0,79	0,60	0,42	10,884	0,065	141
	f _f	171,30	114,83	67,60	16,659	19,130	141
5	Db	0,90	0,70	0,53	9,184	0,064	171
	f _f	209,30	132,71	67,60	18,656	24,760	171
6	Db	1,00	0,80	0,68	7,582	0,061	106
	f _f	199,60	150,75	83,90	15,902	23,972	106
7	Db	1,07	0,90	0,77	6,064	0,054	78
	f _f	243,70	176,51	106,10	14,656	25,870	78
8	Db	1,10	1,06	0,92	7,384	0,078	5
	f _f	252,70	189,78	125,50	24,328	46,170	5

A N E X O 4

**Estimativas do módulo de ruptura à flexão
estática, estimado em função da Densidade básica observada
dos grupos de espécies estudadas nas condições verde e seca.**

Estimativas de f_f em função de Db dos grupos de espécies nas condições verde e seca

Grupos	f_f (verde)	f_f (seca)
1	a = 18,0738 b = 17,0000 c = 2,45900 N = 21	a = 35,0403 b = 23,2014 c = 2,40000 N = 21
2	a = 28,8906 b = 21,5000 c = 2,36670 N = 40	a = 46,7787 b = 23,8020 c = 1,60200 N = 48
3	a = 34,0948 b = 28,6863 c = 2,60000 N = 85	a = 55,7133 b = 32,0000 c = 2,14200 N = 80
4	a = 43,9116 b = 33,7000 c = 2,79500 N = 153	a = 74,4517 b = 40,8847 c = 2,30240 N = 135
5	a = 56,9326 b = 34,2456 c = 2,40000 N = 193	a = 85,1247 b = 40,1240 c = 1,91200 N = 158
6	a = 79,3620 b = 28,9450 c = 1,90000 N = 121	a = 120,602 b = 36,1240 c = 2,21010 N = 108
7	a = 97,7704 b = 37,1020 c = 2,00000 N = 84	a = 128,536 b = 51,2340 c = 2,57210 N = 91
8	a = 120,017 b = 18,0000 c = 1,40000 N = 13	a = 137,275 b = 53,1877 c = 2,84195 N = 15

A N E X O 5

Estimativas do módulo de ruptura à flexão estática, estimado em função da densidade básica observada para as madeiras da Amazônia estudadas nas condições verde e seca.

Estimativas de f_f em função de Db para as madeiras na condição verde e seca

Parâmetros	f_f (verde)	f_f (seco)
a	12,0633	31,2038
b	86,6694	106,4869
c	3,31249	3,13189
N	710	656

A N E X O 6

Frequências de densidade básica estimadas em função das Db observadas das madeiras da floresta amazônica estudadas nas condições verde e seca e do módulo de ruptura à flexão estática estimado em função de densidade básica.

Frequências de densidades básica das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição verde

I.C.C.	f_o	f_o/N	F_o	$f(Db)$	$F(Db)$
0,19					
0,25	6	0,008451	0,008451	0,000686	0,000686
0,35	26	0,036620	0,045070	0,016840	0,017526
0,45	73	0,102817	0,147887	0,066987	0,084513
0,55	120	0,169014	0,316901	0,144036	0,228549
0,65	166	0,233803	0,550704	0,214033	0,442582
0,75	161	0,226761	0,777465	0,231566	0,674148
0,85	95	0,133803	0,911268	0,181049	0,855197
0,95	55	0,077465	0,988732	0,099006	0,954203
1,05	6	0,008451	0,997183	0,036177	0,990379
1,15	2	0,0028	1,000000	0,008372	0,998751

I.C.C. = intervalos dos centros de classes estabelecidos para Db

f_o = frequência de Db observados dentro de cada centro de classe

f_o/N = Distribuição probabilística observada de Db

F_o = Distribuição acumulada observada de Db

$f(Db)$ = Distribuição probabilística estimada de Db

$F(Db)$ = Distribuição acumulada estimada de Db

Frequências de densidades básica das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição seca

I.C.C.	f_o	f_o/N	F_o	$f(Db)$	$F(Db)$
0.19					
0.25	5	0.007622	0.007622	0.001019	0.001019
0.35	29	0.044207	0.051829	0.020734	0.021752
0.45	74	0.112805	0.164634	0.073962	0.095715
0.55	110	0.167683	0.332317	0.147583	0.243298
0.65	150	0.228659	0.560976	0.208289	0.451586
0.75	131	0.199695	0.760671	0.219622	0.671208
0.85	92	0.140244	0.900915	0.173252	0.844461
0.95	54	0.082317	0.983232	0.100223	0.944684
1.05	7	0.010671	0.993902	0.041239	0.985923
1.15	4	0.006098	1.000000	0.011639	0.997562

Frequências do f_f das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição verde

I.C.C.	f_o	f_o/N	F_o	$f(f_f)$	$F(f_f)$
16,0					
25,6	13	0,018336	0,018336	0,003472	0,003472
42,8	52	0,073343	0,091678	0,046877	0,050349
60,0	116	0,163611	0,255289	0,122810	0,173159
77,2	148	0,208745	0,464034	0,190867	0,364027
94,4	166	0,234133	0,698166	0,216104	0,580131
111,6	105	0,148096	0,846262	0,188007	0,768138
128,8	63	0,088858	0,935120	0,127278	0,895416
146,0	31	0,043724	0,978843	0,066898	0,962314
163,2	10	0,014104	0,992948	0,027062	0,989377
180,4	5	0,007052	1,000000	0,008327	0,997704

I.C.C. = intervalos dos centros de classes estabelecidos para f_f

f_o = frequências do f_f observados dentro de cada centro de classe

f_o/N = Distribuição probabilística observada do f_f

F_o = Distribuição acumulada observada do f_f

$f(f_f)$ = Distribuição probabilística estimada do f_f

$F(f_f)$ = Distribuição acumulada estimada do f_f

Frequências do f_f das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição seca

I.C.C.	f_o	f_o/N	F_o	$f(f_f)$	$F(f_f)$
20,0					
32,6	5	0,007622	0,007622	0,001449	0,001449
55,8	41	0,062500	0,070122	0,028388	0,029837
79,0	82	0,125000	0,195122	0,091771	0,121608
102,2	134	0,204268	0,399390	0,166908	0,288516
125,4	133	0,202744	0,602134	0,215815	0,504331
148,6	123	0,187500	0,789634	0,209829	0,714160
171,8	90	0,137195	0,926829	0,154425	0,868585
195,0	36	0,054878	0,981707	0,084995	0,953579
218,2	9	0,013720	0,995427	0,034273	0,987853
241,4	3	0,004573	1,000000	0,009876	0,997728

Frequências de f_f obtidas em função de Db das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição verde

I.C.C. [Db]	I.C.C. [f_f (Db)]	f_o	$f[f_f(\text{Db})]$	$F[f_f(\text{Db})]$
0,19	12,0633			
0,25	21,6759	6	0,000686	0,000686
0,35	37,6969	26	0,016840	0,017526
0,45	53,7179	73	0,066987	0,084513
0,55	69,7389	120	0,144036	0,228549
0,65	85,7599	166	0,214033	0,442582
0,75	101,7809	161	0,231566	0,674148
0,85	117,8019	95	0,181049	0,855197
0,95	133,8229	55	0,099006	0,954203
1,05	149,8439	6	0,036177	0,990379
1,15	165,8649	2	0,008372	0,998751

I.C.C. [Db] = intervalos dos centros de classes estabelecidos para Db

I.C.C. [f_f (Db)] = intervalos dos centros de classes estabelecidos para f_f em função de Db

f_o = frequências de Db observadas dentro de cada centro de classe

$f[f_f(\text{Db})]$ = Distribuição probabilística estimada do f_f em função de Db

$F[f_f(\text{Db})]$ = Distribuição acumulada estimada do f_f em função de Db

Frequências de f_f obtidas em função de Db das madeiras da floresta amazônica estudadas na condição seca.

I.C.C. [Db]	I.C.C. [f_f (Db)]	f_o	$f[f_f(\text{Db})]$	$F[f_f(\text{Db})]$
0,19	31,2038			
0,25	43,0076	5	0,001019	0,001019
0,35	62,6809	29	0,020734	0,021752
0,45	82,3536	74	0,073962	0,095715
0,55	102,0266	110	0,147583	0,243298
0,65	121,6996	150	0,208289	0,451586
0,75	141,3726	131	0,219622	0,671208
0,85	161,0456	92	0,173252	0,844461
0,95	180,7186	54	0,100223	0,944684
1,05	200,3916	7	0,041239	0,985923
1,15	220,0646	4	0,011639	0,997562

DEDALUS - Acervo - ESALQ-BC

10500007151