

**Universidade de São Paulo**  
**Escola de Engenharia de São Carlos**  
**Instituto de Física de São Carlos**  
**Instituto de Química de São Carlos**

***A DENSIDADE APARENTE COMO ESTIMADOR  
DE PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA E  
RIGIDEZ DA MADEIRA***

**Fabricio Moura Dias**

Dissertação apresentada à Área Interunidades em ciência e Engenharia de Materiais, Campus de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais

ORIENTADOR: Prof. Tit. Francisco Antonio Rocco Lahr

São Carlos

2000

"A pessoa inteira é aquela que estabelece um contato significativo e profundo com o mundo à sua volta. Ela não só escuta a si mesma, como também às vozes de seu mundo. A extensão de sua própria experiência é infinitamente multiplicada pela empatia que sente em relação aos outros."

John Powell

*A meus pais, José e Laura,  
com quem vivo minha mais profunda relação de ajuda.*

*A meus irmãos, Fábio, Fabíola e Fabiano,  
a um só tempo,  
os incentivadores mais efetivos,  
os ajudados mais ternos.*

*Ao mestre Manoel,  
que me ajudou  
a perder o medo de perder,  
condição fundamental para ganhar.*

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Francisco Antonio Rocco Lahr - excelente orientador e grande amigo.

À minha família e amigos - sempre úteis e efetivos. Nos momentos difíceis, sentaram-se ao meu lado e mesmo em silêncio, ajudaram a transformar as incertezas e inseguranças em sentimentos valorosos e positivos.

À Marcela, Geraldo e Nayara, que me acolheram com muito carinho.

À Fátima, tantas vezes, grande incentivadora.

Ao Bragatto e Roberto, pela constante ajuda.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela bolsa de estudos concedida.

A todos os colegas, professores e funcionários do Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira e da Área Interunidades, Universidade de São Paulo, pelo carinho e colaboração.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	ix
<b>LISTA DE TABELAS</b>	xvi
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b>	xx
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	xxi
<b>RESUMO</b>	xxiii
<b><i>ABSTRACT</i></b>	xxiv
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	1
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	3
2.1. GENERALIDADES	3
2.2. ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA	4
2.3. DENSIDADE	10
2.3.1. DENSIDADE BÁSICA	11
2.3.2. DENSIDADE APARENTE	12
2.4. UMIDADE E SUA INFLUÊNCIA SOBRE A DENSIDADE	14
2.5. RETRATIBILIDADE E SUA RELAÇÃO COM A DENSIDADE	18
2.6. RELAÇÕES ENTRE DENSIDADE E CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E QUÍMICAS DA MADEIRA	19
2.7. RELAÇÕES DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA E RIGIDEZ DA MADEIRA COM A DENSIDADE	22
2.7.1. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS	24
2.7.2. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS	27
2.7.3. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NORMAL ÀS FIBRAS	28
2.7.4. RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS	29

2.7.5. RESISTÊNCIA CONVENCIONAL NO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA	30
2.7.6. MÓDULO DE ELASTICIDADE	32
2.7.7. DUREZA	33
2.7.8. TENACIDADE	35
2.8. CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO DA LITERATURA	38
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>40</b>
3.1. BREVE DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES UTILIZADAS	41
3.1.1. ANGELIM-AMARGOSO	41
3.1.2. ANGELIM-ARARоба	42
3.1.3. ANGELIM-FERRO	42
3.1.4. ANGELIM-PEDRA-VERDADEIRO	42
3.1.5. ANGELIM-PEDRA	43
3.1.6. ANGELIM-SAIA	43
3.1.7. ANGICO-PRETO	43
3.1.8. BRANQUILHO	44
3.1.9. CAFEARANA	44
3.1.10. CANAFÍSTULA	44
3.1.11. CASCA-GROSSA	45
3.1.12. CASTELO	45
3.1.13. CATANUDO	45
3.1.14. CEDRO-AMARGO	46
3.1.15. CEDRO-DOCE	46
3.1.16. CEDRORANA	46
3.1.17. CHAMPAGNE	47
3.1.18. COPAÍBA	47
3.1.19. CUPIÚBA	47
3.1.20. CUTIÚBA	48
3.1.21. GARAPA	48
3.1.22. GOIABÃO	48
3.1.23. GUAÍÇARA	49
3.1.24. GUARUCAIA	49

3.1.25. IPÊ	49
3.1.26. ITAÚBA	50
3.1.27. JATOBÁ	50
3.1.28. LOURO-PRETO	51
3.1.29. MAÇARANDUBA	51
3.1.30. MANDIOQUEIRA	51
3.1.31. OITICICA-AMARELA	52
3.1.32. OIUCHU	52
3.1.33. PARINARI	52
3.1.34. PIOLHO	53
3.1.35. QUARUBARANA	53
3.1.36. RABO-DE-ARRAIA	53
3.1.37. SUCUPIRA	54
3.1.38. TACHI	54
3.1.39. TATAJUBA	54
3.1.40. UMIRANA	55
3.2. PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA	55
3.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA	57
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>61</b>
4.1. REGRESSÕES PARA OBTENÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE A DENSIDADE APARENTE E AS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA E RIGIDEZ DA MADEIRA	61
4.1.1. RELAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE COM DEMAIS PROPRIEDADES	76
4.2. APRESENTAÇÃO DAS CLASSES DE RESISTÊNCIA	77
4.3. AFERIÇÃO DAS EXPRESSÕES UTILIZADAS PARA CARACTERIZAÇÃO SIMPLIFICADA DAS RESISTÊNCIAS DA MADEIRA	79
<b>5. CONCLUSÕES</b>	<b>86</b>

<i>ANEXO</i> – A) Tabelas de valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira para as espécies estudadas.	90
B) Gráficos representativos dos ajustes de linha para as variáveis analisadas.	132
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	139



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	Representação da característica anisotrópica da madeira.	4
FIGURA 2 -	Estrutura celular da madeira do grupo dicotiledônea.	5
FIGURA 3 -	Estrutura simplificada das camadas celulares da madeira com orientações das fibras.	6
FIGURA 4 -	Representação da unidade de celubiose e extremidades das cadeias de celulose.	8
FIGURA 5 -	Diagrama de Kollmann: representa a variação da densidade aparente com o teor de umidade.	13
FIGURA 6 -	Influência do teor de umidade sobre a densidade aparente, para a cupiúba ( <i>Goupia glabra</i> ).	17
FIGURA 7 -	Influência do teor de umidade sobre a densidade aparente, para o jatobá ( <i>Hymenaea stilbocarpa</i> ).	17
FIGURA 8 -	Relação entre a resistência à compressão paralela, a densidade e a umidade para o <i>Pinho do Paraná</i> .	25
FIGURA 9 -	Influência da umidade e da densidade sobre a resistência à compressão paralela às fibras.	26
FIGURA 10-	Diagrama da relação da densidade com a resistência à compressão paralela às fibras.	26
FIGURA 11-	Diagrama representativo da relação da densidade básica com a resistência à tração paralela às fibras	28
FIGURA 12 -	Variação da resistência da madeira à tração normal às fibras em função da densidade aparente.	29
FIGURA 13-	Influência da umidade sobre a resistência à flexão, para diversos níveis de densidade da espécie jatobá.	31

FIGURA 14 -	Influência da densidade sobre a resistência à flexão, para diversos níveis de umidade da espécie jatobá.	31
FIGURA 15-	Representação gráfica da variação do módulo de elasticidade em função da variação da densidade da madeira.	33
FIGURA 16 -	Efeito da densidade sobre a dureza da madeira.	34
FIGURA 17 -	Efeito da densidade aparente sobre a tenacidade na madeira.	36
FIGURA 18 -	Efeito da densidade sobre a tenacidade para as madeiras pine, spruce, beech e oak.	37
FIGURA 19 -	Diagrama de resíduos sem tendenciosidade (resíduos oscilam em torno da média zero).	58
FIGURA 20 -	Diagrama de resíduos com tendenciosidade (resíduos apresentam variação funcional).	59
FIGURA 21 -	Diagrama de resíduos com tendenciosidade (resíduos apresentam heterogeneidade de variâncias).	59
FIGURA 22 -	Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e a resistência à compressão paralela às fibras - agrupamento dos valores individuais.	66
FIGURA 23 -	Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e a resistência à tração paralela às fibras - agrupamento dos valores individuais.	66
FIGURA 24 -	Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras - agrupamento dos valores individuais.	67
FIGURA 25 -	Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e a resistência convencional no ensaio de flexão estática - agrupamento dos valores individuais.	67

- FIGURA 26 - Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e o módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras - agrupamento dos valores individuais. 67
- FIGURA 27 - Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e o módulo de elasticidade na tração paralela às fibras - agrupamento dos valores individuais. 68
- FIGURA 28 - Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e o módulo de elasticidade na flexão estática - agrupamento dos valores individuais. 68
- FIGURA 29 - Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e a dureza paralela às fibras - agrupamento dos valores individuais. 68
- FIGURA 30 - Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e a dureza normal às fibras - agrupamento dos valores individuais. 69
- FIGURA 31 - Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e a tenacidade - agrupamento dos valores individuais. 69
- FIGURA 32 - Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e a resistência à compressão paralela às fibras - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 73
- FIGURA 33 - Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e a resistência à tração paralela às fibras - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 73

- FIGURA 34 - Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 74
- FIGURA 35 - Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e a resistência convencional no ensaio de flexão estática - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 74
- FIGURA 36 - Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e o módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 74
- FIGURA 37 - Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e o módulo de elasticidade na tração paralela às fibras - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 75
- FIGURA 38 - Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e o módulo de elasticidade na flexão estática - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 75
- FIGURA 39 - Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e a dureza paralela às fibras - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 75
- FIGURA 40 - Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e a dureza normal às fibras - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 76
- FIGURA 41 - Gráfico de resíduos em função da densidade aparente para a regressão entre a densidade aparente e a tenacidade - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 76

- FIGURA 42 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e a resistência à compressão paralela às fibras - agrupamento dos valores individuais. 132
- FIGURA 43 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e a resistência à tração paralela às fibras - agrupamento dos valores individuais. 132
- FIGURA 44 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras - agrupamento dos valores individuais. 133
- FIGURA 45 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e a resistência convencional no ensaio de flexão estática - agrupamento dos valores individuais. 133
- FIGURA 46 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e o módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras - agrupamento dos valores individuais. 133
- FIGURA 47 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e o módulo de elasticidade na tração paralela às fibras - agrupamento dos valores individuais. 134
- FIGURA 48 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e o módulo de elasticidade na flexão estática - agrupamento dos valores individuais. 134
- FIGURA 49 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e a dureza paralela às fibras - agrupamento dos valores individuais. 134
- FIGURA 50 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e a dureza normal às fibras - agrupamento dos valores individuais. 135
- FIGURA 51 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e a tenacidade - agrupamento dos valores individuais. 135

- FIGURA 52 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e a resistência à compressão paralela às fibras - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 135
- FIGURA 53 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e a resistência à tração paralela às fibras - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 136
- FIGURA 54 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 136
- FIGURA 55 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e a resistência convencional no ensaio de flexão estática - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 136
- FIGURA 56 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e o módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 137
- FIGURA 57 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e o módulo de elasticidade na tração paralela às fibras - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 137
- FIGURA 58 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e o módulo de elasticidade na flexão estática - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 137
- FIGURA 59 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e a dureza paralela às fibras - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 138
- FIGURA 60 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e a dureza normal às fibras - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 138

FIGURA 61 - Gráfico de ajuste de linha para a relação entre a densidade aparente e a tenacidade - agrupamento dos valores médios para todas espécies. 138

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	Coefficientes de correlação	19
TABELA 2 -	Classes de resistência das dicotiledôneas.	56
TABELA 3 -	Linearização de funções com transformações correspondentes	58
TABELA 4 -	Resultados da estatística de regressão para o agrupamento total das espécies.	63
TABELA 5 -	Coefficientes obtidos para a regressão efetuada pelo agrupamento total de espécies.	64
TABELA 6 -	Resultados da estatística de regressão para o agrupamento dos valores médios para todas espécies.	70
TABELA 7 -	Coefficientes obtidos para a regressão efetuada pelo agrupamento dos valores médios para todas espécies.	71
TABELA 8 -	Valores de coeficientes de determinação para as propriedades analisadas - agrupamento total dos resultados.	77
TABELA 9 -	Valores de coeficientes de determinação para as propriedades analisadas - agrupamento médio dos resultados.	77
TABELA 10 -	Apresentação das classes de resistência e resistências características para as espécies estudadas.	78
TABELA 11 -	Apresentação dos resultados das resistências características das espécies.	80
TABELA 12 -	Resultados das aferições das expressões utilizadas pela NBR 7190/1997 para caracterização simplificada da resistência da madeira.	81
TABELA 13 -	Resultados obtidos para as resistências características utilizando as expressões da NBR 7190/1997.	83



TABELA 14 - Resumo dos resultados da estatística de regressão para as relações estabelecidas.	86
TABELA 15 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira - Espécie: <i>Vatairea fusca</i> .	92
TABELA 16 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Vataireopsis araroba</i> (Aguiar) Ducke.	93
TABELA 17 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Hymenolobium</i> sp.	94
TABELA 18 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Dinizia excelsa</i> Ducke.	95
TABELA 19 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke.	96
TABELA 20 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Vatairea</i> sp.	97
TABELA 21 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Piptadenia macrocarpa</i> Benth.	98
TABELA 22 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Sebastiania commersoniana</i> (Baill.) Smith & Downs.	99
TABELA 23 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Andira stipulacea</i> Benth.	100
TABELA 24 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Cassia ferruginea</i> (Schrad.) S. Ex DC.	101
TABELA 25 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Ocotea odorifera</i> (Vell.) Rohwer.	102
TABELA 26 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Calycophyllum multiflorum</i> Griseb.	103
TABELA 27 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Calophyllum</i> sp.	104
TABELA 28 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Cedrela odorata</i> Lin.	105

TABELA 29 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira Espécie: <i>Cedrela</i> sp.	106
TABELA 30 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Cedrelinga catenaeformis</i> Ducke.	107
TABELA 31 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	108
TABELA 32 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Copaifera cf. ret.</i>	109
TABELA 33 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Goupia glabra</i> Aubl.	110
TABELA 34 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Goupia paraensis</i> Hub.	111
TABELA 35 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Apuleia leiocarpa</i> (Vog.) Macbr.	112
TABELA 36 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Planchonella pachycarpa</i> Pires.	113
TABELA 37 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Luetzelburgia</i> sp.	114
TABELA 38 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Peltophorum vogelianum</i> Benth.	115
TABELA 39 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) Nich.	116
TABELA 40 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Mezilaurus itauba</i> (Meissn.) Taub.	117
TABELA 41 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Hymenaea sp</i> (Hayne) Lee et Lang.	118
TABELA 42 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Ocotea</i> sp.	119
TABELA 43 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Standl.	120
TABELA 44 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Qualea paraensis</i> Ducke.	121

TABELA 45 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Clarisia racemosa</i> R.& Pav.	122
TABELA 46 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Prodosia</i> sp.	123
TABELA 47 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Parinari excelsa</i> Sabine.	124
TABELA 48 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Tapirira</i> sp.	125
TABELA 49 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Erisma uncinatum</i> Warm.	126
TABELA 50 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Vochysia haenkeana</i> (Spreng.) Mart.	127
TABELA 51 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Diploctropis incexis</i> Rizz. & Matt.	128
TABELA 52 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Tachigali myrmecophila</i> Ducke.	129
TABELA 53 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	130
TABELA 54 - Valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Espécie: <i>Qualea retusa</i> .	131

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT -	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FPL -	Forest Products Laboratory
IBAMA -	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INPA -	Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia
IPT -	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LaMEM -	Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras
NBR -	Norma Brasileira Registrada
PSF -	Ponto de Saturação das Fibras
RFF -	Rede Ferroviária Federal
SENAI -	Serviço de Aprendizagem Comercial
TRADA -	Timber Research & Development Association

## LISTA DE SÍMBOLOS

$a, b$	- constantes (coeficientes da regressão);
$d$	- desvios (variável estudada no teste “pairing”);
$\bar{d}$	- estimativa da média dos desvios
$E_{c0}$	- módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras;
$E_{c0,m}$	- módulo de elasticidade médio na compressão paralela às fibras;
$E_{M0}$	- módulo de elasticidade na flexão estática;
$E_{t0}$	- módulo de elasticidade na tração paralela às fibras;
$E_{U\%}$	- módulo de elasticidade para a umidade $U\%$ ;
$E_{12}$	- módulo de elasticidade corrigido para umidade de 12%;
$f_{c0}$	- resistência à compressão paralela às fibras;
$f_{c0,k}$	- resistência característica à compressão paralela às fibras;
$f_{H0}$	- dureza paralela às fibras;
$f_{H90}$	- dureza normal às fibras;
$f_M$	- resistência convencional no ensaio de flexão estática;
$f_{S0}$	- resistência ao fendilhamento;
$f_{t0}$	- resistência à tração paralela às fibras;
$f_{t0,k}$	- resistência característica da madeira à tração paralela às fibras;
$f_{t90}$	- resistência à tração normal às fibras;
$f_{tM,k}$	- resistência característica convencional no ensaio de flexão estática;
$f_{U\%}$	- resistência para a umidade $U\%$ ;
$f_{V0c}$	- resistência ao cisalhamento;
$f_{vk}$	- resistência característica ao cisalhamento;
$f_{w,k}$	- resistência característica;
$f_{12}$	- resistência corrigida para a umidade de 12%;
$m_s$	- massa seca da amostra;

$m_{12}$	- massa da madeira a 12% de umidade;
$N$	- Número de amostras;
$p$	- Valor $p$ , probabilidade de $t$ exceder numericamente o valor tabelado (notação utilizada para análise da regressão);
$R^2$	- coeficiente de determinação;
$S$	- erro padrão de estimativa para a regressão;
$S_d$	- desvio padrão da amostra;
$SE$	- erro padrão de estimativa das variáveis;
$t$	- variável $t$ de Student, valor estatístico calculado (notação utilizada para análise da regressão);
$t_{\phi,95\%}$	- valor tabelado, para $\phi$ graus de liberdade e 95% de probabilidade;
$T$	- tenacidade;
$U\%$	teor de umidade;
$V_{sat}$	- volume da amostra saturada;
$V_{seca}$	- volume do corpo-de-prova, para a madeira seca;
$V_{U\%}$	- volume do corpo-de-prova, ao teor de umidade $U\%$ ;
$V_{12}$	- volume da madeira a 12% de umidade;
$\Delta V$	- retração volumétrica, para a variação de umidade entre $U\%$ e $0\%$ ;
$\rho_{bas}$	- densidade básica;
$\rho_{apar}$	- densidade aparente;
$\delta_{V\%}$	- coeficiente de retratibilidade volumétrica;
$\rho_{u\%}$	- densidade aparente, ao teor de umidade $U\%$ ;
$\rho_{12}$	- densidade aparente, ao teor de umidade 12%;
$\varepsilon_{r,2}$	- retratibilidade radial total;
$\varepsilon_{r,3}$	- retratibilidade tangencial total;
$\frac{S_d}{\sqrt{n}}$	- erro padrão de estimativa;
$\phi$	- número de graus de liberdade;
$\mu_d$	- média dos desvios.

## RESUMO

DIAS, F. M. (2000). *A densidade aparente como estimador de propriedades de resistência e rigidez da madeira*. São Carlos, 138p. Dissertação (Mestrado) –, Área Interunidades - Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

Neste trabalho são determinadas as correlações entre a densidade aparente e as propriedades físicas, de resistência e de rigidez da madeira, de quarenta espécies nativas brasileiras, do grupo dicotiledôneas. Através de análise estatística, foram obtidas expressões matemáticas que permitem estimar, a partir da densidade aparente, grande parte das propriedades de resistência e rigidez da madeira. Tais expressões são apresentadas como proposta para a utilização na caracterização de espécies menos conhecidas, o que viabiliza o adequado emprego de espécies nativas nas mais variadas aplicações para as quais a madeira é indicada. Apresentam-se também aferições das expressões propostas pela norma brasileira NBR 7190, que permitem a caracterização simplificada das resistências da madeira de espécies usuais a partir dos ensaios de resistência à compressão paralela às fibras.

**Palavras-chave:** madeira; densidade aparente; resistência; rigidez.

### ***ABSTRACT***

In this study the correlations between the specific gravity, physical and mechanical properties of wood from forty Brazilian native species of hardwoods are determined. The mathematical expressions obtained through this study, permit estimate most wood properties of strength and stiffness, based on their specific gravity. Such expressions are proposed as means of characterizing less-known species, what makes possible the appropriate employment of native species in most varied applications for which wood is the indicated material. Furthermore, it is presented the calibration of the expressions proposed by the Brazilian code NBR 7190, being these a simplified method of characterizing mechanical properties of common species of wood by means of tests of strength in compression parallel to the grain.

**Keywords:** wood; specific gravity; strength; stiffness.