

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO

SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA UFPR  
CENTRO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA  
Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal

-

PROPRIEDADES DA MADEIRA

***Prof. Dr. João Carlos Moreschi***

Fevereiro/ 2.005

3ª edição / 2.010

- Curitiba, PR -

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	v
LISTA DE TABELAS .....	x
1. PROPRIEDADES ORGANOLÉTICAS DA MADEIRA .....	1
1.1. COR .....	1
1.2. CHEIRO .....	3
1.3. GOSTO OU SABOR .....	4
1.4. GRÃ .....	5
1.5. TEXTURA .....	7
1.6. BRILHO .....	8
1.7. DESENHO .....	8
2. MASSA ESPECÍFICA (Densidade) .....	9
2.1. MASSA ESPECÍFICA APARENTE .....	9
2.1.1. Determinação do volume pelo Método Estereométrico .....	11
2.1.2. Determinação pelo Método por Deslocamento .....	11
2.1.3. Determinação Através da Passagem de Raios .....	15
2.1.4. Fatores que Influem na Massa Específica da Madeira .....	15
2.1.4.1. Influências internas .....	15
2.1.4.2. Influências externas .....	25
2.2. MASSA ESPECÍFICA REAL .....	25
3. UMIDADE .....	27
3.1. DEFINIÇÃO .....	28
3.2. MÉTODOS UTILIZADOS PARA A DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE .....	29
3.2.1. Método por pesagens .....	29
3.2.2. Método Químico por destilação .....	30
3.2.3. Método Químico por Titulação (Karl Fischer) .....	32
3.2.4. Aparelhos Elétricos .....	33
3.2.4.1. Aparelhos baseados em medidas de resistência .....	34
3.2.4.2. Aparelhos baseados na capacidade elétrica .....	34
3.3. AMOSTRAGEM .....	35
3.4. DEPENDÊNCIA DA UMIDADE DA MADEIRA .....	37
3.5. SORÇÃO DA MADEIRA .....	42
4. CONTRAÇÃO E INCHAMENTO .....	45

4.1. CONTRAÇÃO E INCHAMENTO VOLUMÉTRICO .....	45
4.1.1. Inchamento Volumétrico Máximo .....	47
4.1.2. Contração Volumétrica Máxima .....	48
4.2. CONTRAÇÃO E INCHAMENTO LINEARES .....	50
4.3. CONTRAÇÃO E INCHAMENTO LINEARES EM ÂNGULO .....	54
4.4. COEFICIENTE DE RETRATIBILIDADE (Q) .....	55
4.4.1. Utilização do Coeficiente de Retratibilidade da Madeira .....	56
4.4.2. Determinação dos Coeficientes de Contração, Inchamento e de Retratibilidade .....	57
4.5. ANISOTROPIA DIMENSIONAL .....	60
5. PROPRIEDADES TÉRMICAS DA MADEIRA .....	64
5.1. CONDUTIVIDADE TÉRMICA DA MADEIRA .....	65
5.2. CALOR ESPECÍFICO DA MADEIRA .....	71
5.3. TRANSMISSÃO TÉRMICA .....	73
5.4. EXPANSÃO TÉRMICA DA MADEIRA .....	74
6. PROPRIEDADES ELÉTRICAS DA MADEIRA .....	76
7. PROPRIEDADES ACÚSTICAS DA MADEIRA .....	81
8. PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA .....	89
8.1. ELASTICIDADE E PLASTICIDADE .....	89
8.1.1. Módulo de Elasticidade .....	91
8.2. DEPENDÊNCIAS GERAIS DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E ELÁSTICAS DA MADEIRA .....	96
8.2.1. Condições do Ensaio .....	96
8.2.2. Influências Internas da Madeira .....	99
8.2.3. Influências Externas da Madeira .....	109
9. ENSAIOS DE LABORATÓRIO PARA A DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA .....	114
9.1. FLEXÃO ESTÁTICA .....	114
9.1.1. Considerações gerais sobre o ensaio .....	114
9.2. FLEXÃO DINÂMICA .....	125
9.2.1. Considerações Gerais Sobre o Ensaio .....	126
9.2.1.1. Testes de Flexão Dinâmica Segundo as Normas DIN e AFNOR-IPT...	126
9.3. COMPRESSÃO AXIAL OU PARALELA ÀS FIBRAS .....	134
9.3.1. Considerações gerais sobre o ensaio .....	134
9.3.2. Cálculo do módulo de elasticidade e da resistência máx. à compressão axial .....	137

9.4. COMPRESSÃO PERPENDICULAR ÀS FIBRAS .....	139
9.4.1. Considerações gerais sobre o ensaio .....	139
6.4.2. Cálculo da resistência à compressão perpendicular às fibras .....	142
9.5. TRAÇÃO AXIAL OU PARALELA ÀS FIBRAS .....	143
9.5.1. Considerações gerais sobre o ensaio .....	143
9.6. TRAÇÃO PERPENDICULAR .....	149
6.3.5.1. Considerações gerais sobre o ensaio .....	149
6.6.2. Cálculo da resistência à tração perpendicular às fibras .....	153
9.7. CISALHAMENTO .....	153
9.7.1. Considerações gerais sobre o ensaio .....	153
9.7.2. Cálculo da resistência ao cisalhamento .....	156
9.8. RESISTÊNCIA À DUREZA .....	158
9.8.1. Considerações gerais .....	158
9.8.1. Dureza Brinnel .....	158
9.8.2. Dureza Janka .....	160
9.9. RESISTÊNCIA À ABRASÃO .....	163
9.10. RESISTÊNCIA À TORÇÃO .....	164
10. DEPENDÊNCIAS GERAIS DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA .....	166
10.1. CONDIÇÕES DO ENSAIO .....	166
10.1.1. Tamanho e Forma do Corpo de Prova .....	166
10.1.2. Velocidade do Ensaio .....	167
10.2. INFLUÊNCIAS INTERNAS DA MADEIRA .....	168
10.2.1. Massa Específica .....	168
10.2.2. Ângulo das Fibras .....	168
10.2.3. Posição no Tronco .....	168
10.2.4. Porcentagem dos Lenhos Inicial e Tardio .....	168
10.2.5. Defeitos da Madeira .....	169
10.2.5.1 Galhos (nós) .....	169
10.2.5.2. Grã irregular .....	170
10.2.5.3. Lenho de reação .....	170
10.3. INFLUÊNCIAS EXTERNAS .....	171
10.3.1. TEMPERATURA .....	171
10.3.2. UMIDADE .....	172

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1	Aparelho para a medição de volume por imersão em mercúrio (Amsler) - Kollmann, p.362. .... 12
2	Exemplo de recipiente usado na determinação do volume pelo deslocamento de água (kollmann,pag.361):recipiente e tubo capi-lar em perfil, e escala graduada e tubo capilar vistos de frente.....13
3	Determinação do volume por pesagem ..... 14
4	Representação de peça de madeira preparada para determinação da massa específica pelo método de imersão relativa.....15
5	Distribuição normal da massa específica de 6 espécies de madeira ..... 16
6	Variação da massa específica ( $r_u$ ) em função do teor de umidade (U)..... 19
7	Distribuição normal da massa específica para os lenhos tardio e inicial..... 20
8	Relação entre massa específica ( $r_o$ ) e a proporção de lenho tardio (%) - (coníferas)..... 20
9	Variação da massa específica ( $r_o$ ) e da proporção de lenho tardio (para o <i>Fraxinus excelsius</i> ) - Madeira com porosidade em anel ..... 22
10	Relação entre a massa específica ( $r_o$ ) e a largura do anel de crescimento, para folhosas com porosidade em anel ( $a = 1$ e $2$ ), e porosidade difusa ( $b = 3$ e $4$ )..... 22
11	Variação da massa específica no sentido transversal, para coníferas e folhosas com porosidade em anel..... 24
12	Relacionamento entre as massas específicas aparente básica ( $r_u$ ) e a 0%U ( $r_o$ ) com a altura da árvore..... 24
13	Representação esquemática das paredes celulares, correspondentes aos lenhos inicial e tardio da madeira..... 26
14	Aparelhagem utilizada para a determinação do teor de umidade pelo método de destilação..... 30
15	Instalação utilizada para a determinação do teor de umidade da madeira pelo método Karl Fischer..... 33

16	Representação da curva e distribuição da umidade dentro de uma peça de madeira seca, e de pontos representativos para a sua determinação.....	35
17	Relação entre a temperatura, umidade absoluta e umidade relativa ( $\varphi$ ) .....	39
18	Relação entre a massa específica ( $\rho_0$ ) e o teor de umidade máxima da madeira ( $U_{max}$ ).....	41
19	Possíveis formas de água existentes na madeira .....	42
20	Relação entre várias propriedades de resistência mecânica e o teor de umidade da madeira ( $U\%$ ).....	43
21	Diferença na formação de meniscos nos capilares da madeira durante a adsorção e a desorção - ângulo de humectação $\phi$ -.....	45
22	Isotermes de desorção e adsorção de umidade na madeira .....	45
23	Curvas de umidade de equilíbrio para a madeira de <i>Picea sitchensis</i> , em relação à temperatura e à umidade relativa do ar.....	46
24	Moléculas de água (em cor mais clara) entre as regiões cristalinas e dentro das regiões amorfas das micelas.....	47
25	Relação entre o fator de inchamento volumétrico ( $\alpha_v$ ) e o teor de umidade da madeira, para diferentes espécies florestais.....	48
26	Relação entre a contração volumétrica e o teor de umidade da madeira, em função da sua massa específica (m.e.).....	52
27	Diferentes sentidos anatômicos da madeira .....	54
28	Relação entre o teor de umidade e o inchamento volumétrico da madeira em seus diferentes sentidos .....	54
29	Contração linear em ângulo ( $\varphi$ ) da madeira, considerando uma peça de madeira anatomicamente bem orientada.....	56
30	Corpo-de-prova segundo a COPANT 30:1-005, para a determinação dos coeficientes de contração, inchamento e de retratibilidade.....	60
31	Defeitos desenvolvidos durante a secagem da madeira, devidos ao fenômeno da anisotropia .....	62
32	Visualização esquemática do maior número de paredes celulares por unidade de distância, entre os diferentes sentidos anatômicos da madeira.....	64
33	Representação do coeficiente de condutividade térmica da madeira .....	68
34	Relacionamento entre a condutividade térmica e o teor de umidade, para madeiras com diferentes massas específicas.....	70

35 Parede construída para obter um isolamento térmico de $1/K = 1,20$ .....	75
36 Relação existente entre a resistência elétrica específica da madeira e o seu teor de umidade .....	80
37 Efeito de um forro acústico confeccionado de chapa de fibras de madeira perfuradas: a) penetração das ondas sonoras pelos buracos, e perda de energia por efeito da reflexão sucessiva nas paredes do espaço vazio entre o teto e o forro aplicado; b) reflexão de parte da onda sonora incidente na superfície da chapa de fibras; e c) absorção da onda sonora pela chapa de fibras.....	85
38 Vibração de uma parede por efeito de choque de ondas sonoras.....	86
39 Dependência do isolamento acústico versus a frequência do som, de um compensado de madeira (1) e de uma parede de alvenaria (2).....	88
40 Tipos de paredes de madeira e qualificação quanto ao isolamento acústico: a) Parede múltipla com isolamento deficiente; b) parede múltipla com elevado poder de isolamento acústico.....	89
41 Formas práticas de isolamento do som por materiais sólidos: a) em um teto de laje de concreto, acima; e b) em teto com vigamento de madeira, abaixo.....	90
42 Típica relação carga / deformação para testes de tração e de compressão .....	92
43 Esquema simplificado do sistema de classificação de madeiras, baseado no módulo de elasticidade E. ....	93
44 Esquema simplificado da determinação do módulo de elasticidade dinâmico.....	95
45 Dependência da resistência à flexão e da deformação total sobre a relação L/h dos corpos-de-prova .....	99
46 Relação da energia absorvida por volume, como uma função da relação L/h - o valor mínimo do trabalho de impacto corresponde a $L/h = 12$ .....	99
47 Dependência das propriedades de resistência relativa em função do ângulo da grã, em relação à direção axial do corpo-de-prova.....	102
48 Representação de tensões internas e de rachaduras microscópicas dentro de um anel de crescimento.....	107
49 Representação da posição dos lenhos de compressão e de tração no fuste de árvores.....	107

50	Influência da temperatura de secagem sobre a resistência à compressão.....	112
51	Esquema do ensaio de flexão estática (P= carga; d= deformação).....	116
52	Forma e dimensões do corpo-de-prova para flexão estática, segundo a Norma COPANT 30:1-006.....	116
53	Distribuição das tensões dentro do corpo-de-prova durante o ensaio de flexão estática.....	117
54	Distribuição das tensões de compressão, tração e cisalhamento em peças submetidas à flexão estática, com cargas distribuídas simetricamente.....	118
55	Percentual de deformação causada pelas tensões de cisalhamento no teste de flexão estática.....	118
56	Distribuição das tensões durante o ensaio de flexão estática (as situações A, B e C são descritas a seguir).....	119
57	Representação da ruptura e da deformação plástica em um corpo-de-prova submetida ao ensaio de flexão estática.....	120
58	Posição de tomada dos dados de deformação durante o ensaio de flexão estática.....	121
59	Exemplo de determinação gráfica do limite proporcional (LP) entre as cargas e as deformações correspondentes registradas durante o ensaio de laboratório.	123
60	Influência da relação L/h sobre o coeficiente de resiliência da madeira .....	128
61	Equipamento adotado para a avaliação da resistência à flexão dinâmica, pelas normas DIN e AFNOR-IPT.....	129
62	Relacionamento do tipo de ruptura ocorrida no ensaio de flexão dinâmica com a qualidade da madeira: da esquerda para a direita, madeiras com alta, media e baixa resistência ao choque.....	131
63	Esquema do ensaio de compressão axial (corpo-de-prova, ponte e registrador de deformações).....	136
64	Ruptura típica apresentada em corpos-de-prova testados para avaliar a compressão axial, e representação gráfica do deslizamento das fibras por efeito da deformação.....	138
65	Tipos de rupturas que poderão ocorrer com a realização do ensaio de compressão axial: a) amassamento; b) rachadura lateral; c) cisalhamento; d) rachadura longitudinal; e) amassamento e cisalhamento paralelo à grã e; f) deslizamento na forma de vassoura.....	139



66	Esquema do ensaio para a determinação da resistência à compressão perpendicular às fibras, segundo a Norma COPANT 30:1-011 .....	142
67	Gráfico típico relacionando a carga e a deformação registradas no ensaio de compressão perpendicular às fibras...	142
68	Sentido dos esforços empregados no ensaio de tração axial.....	145
69	Forma e dimensões observadas em um corpo-de-prova para a avaliação da resistência à tração axial da madeira.....	147
70	Esquema do ensaio para a determinação da resistência à tração axial. Velocidade: 1mm por minuto.....	147
71	Representação gráfica de rupturas causadas por tração axial, em madeiras com diferentes resistências aparentes.....	149
72	Corpo de prova e forma de execução do ensaio de tração perpendicular às fibras.....	151
73	Corpo-de-prova para o ensaio de tensão perpendicular à grã, de acordo com especificações da Norma AFNOR.....	152
74	Distribuição das tensões dentro do c.p. durante a determinação da resistência.....	152
75	Corpos-de-prova de acordo com diferentes normas técnicas, para a determinação da resistência ao fendilhamento.....	153
76	Relacionamento entre a resistência ao fendilhamento determinada em corpos-de-prova confeccionados com uma (figura 71) e com duas ranhuras (figuras 68 – 70).....	153
77	Esquema do teste de cisalhamento .....	155
78	Corpo-de-prova usado para a determinação da resistência ao cisalhamento, segundo a Norma COPANT 30:1-007 - seções de trabalho em função da orientação de corte da madeira: A) tangencialmente aos anéis de crescimento; e B) perpendicularmente aos anéis de crescimento.....	156
79	Distribuição de tensões em um cubo de madeira sob carga simetricamente distribuída.....	157
80	Esquema do ensaio para a determinação da dureza Janka .....	162
81	Possíveis casos de torção de C.P. de madeira com seção transversal quadrada.....	167

## LISTA DE TABELAS

TABELA	PÁGINA
1. ESPÉCIES DE MADEIRA E SUBSTÂNCIAS QUE CONFEREM A SUA COLORAÇÃO .....	1
2. ESPÉCIES DE MADEIRA E EFEITOS NEGATIVOS A HUMANOS .....	4
3. EXEMPLO DE ALGUNS VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA - (CLIMATIZADAS PARA SE ESTABILIZAREM A 0% U).....	17
4. TIPOS DE ÁGUA EXISTENTES NA MADEIRA E SEUS RELACIONAMENTOS AO PROCESSO DE DESORÇÃO .....	47
5. VALORES DE CONTRAÇÃO LINEAR E VOLUMÉTRICA DE ALGUMAS ESPÉCIES, ORDENADAS SEGUNDO A MASSA ESPECÍFICA A 15% DE TOAR DE UMIDADE.....	55
6. EXEMPLOS DE COEFICIENTES DE RETRATIBILIDADE PARA DIFERENTES ESPÉCIES DE MADEIRA .....	58
7. FATORES DE ANISOTROPIA E RESPECTIVAS CLASSES DE QUALIDADE DA MADEIRA .....	63
8. EXEMPLOS DE ALGUNS COEFICIENTES DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA .....	70
9. DIFERENÇA DE TEMPERTURA ENTRE OS LADOS INTERNO E EXTERNO DE UMA PAREDE EM FUNÇÃO DO MATERIAL E ESPESSURA DAS CAMADA UTILIZADAS .....	73
10. ALGUNS VALORES MÉDIOS DE CALOR ESPECÍFICO .....	74
11. RESISTENCIA ELÉTRICA ESPECÍFICA (R) DE ALGUNS MATERIAIS ISOLANTES .....	80
12. FORMAS DE UTILIZAÇÃO DA CORRENTE ELÉTRICA ALTERNADA DE ALTA FREQUÊNCIA, SUAS VANTAGENS E DESVANTAGENS .....	82
13. EXEMPLOS DE GRAUS DE ABSORÇÃO SONORA DE ALGUNS MATERIAIS .....	85
14. RELAÇÃO APROXIMADA ENTRE O COEFICIENTE DE ABSORÇÃO DE RUIDOS (ISOLAMENTO ACÚSTICO) DE PAREDES SIMPLES, EM DIFERENTRES ESPESSURAS E MASSA DO MATERIAL POR METRO QUADRADO.....	87
15. RESULTADOS DE ENSAIOS MECÂNICOS DE ALGUMAS MADEIRAS BRASILEIRAS .....	97

16. PROPORÇÕES DE ALTERAÇÕES NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA, POR PERCENTUAL DE ALTERAÇÃO NO TEOR DE UMIDADE .....	114
17. DADOS REGISTRADOS DURANTE UM ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA. ....	122
18. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL MÉDIA, OBTIDA EM VÁRIOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL PARA CORPOS-DE-PROVA COM DIFERENTES SEÇÕES TRANSVERSAIS.....	137
19. VALORES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PARALELA PARA ALGUNS COMPONENTES DA MADEIRA.....	146
20. CARGA APLICADA NO TESTE DE DUREZA BRINNEL EM FUNÇÃO DA PROVÁVEL DUREZA E MASSA ESPECÍFICA DA MADEIRA TESTADA .....	161
21. MÓDULOS DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA .....	171
22. RESULTADOS DE OUTROS ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS .....	171
23. ALTERAÇÕES DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA EM FUNÇÃO DO TEOR DE UMIDADE.....	175