



USO DAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DA MADEIRA PARA O AGRUPAMENTO DE ESPÉCIES FLORESTAIS

Rafael Rodolfo de MELO^{1*}, Dane Block ARALDI², Diego Martins STANGERLIN¹,
Marcos Theodoro MÜLLER³, Darci Alberto GATTO³

¹Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, Brasil

²Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil

³Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil

*E-mail: rrmelo2@yahoo.com.br

Recebido em 09/06/2013; Aceito em 30/09/2013.

RESUMO: O trabalho teve como objetivos determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de 30 espécies florestais oriundas do Estado do Rio Grande do Sul e avaliar as inter-relações destas propriedades e a similaridade entre as espécies. Quanto às propriedades físicas avaliaram-se a massa específica, os coeficientes de retratibilidade linear nos sentidos radial e tangencial e, o coeficiente de retratibilidade volumétrico. Para as propriedades mecânicas foram realizados os ensaios de flexão estática (madeira saturada e a 12% de umidade), compressão paralela às fibras (madeira saturada e a 12% de umidade), tração perpendicular, cisalhamento, fendilhamento, dureza Janka e flexão dinâmica. Todos os ensaios foram conduzidos seguindo a norma brasileira de estruturas de madeira. A melhor estabilidade dimensional foi observada para as espécies leiteiro (*Sapium glandulosum*) e timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*). Já a maior resistência mecânica foi obtida pelo pessegueiro-bravo (*Prunus subcoriacea*) e maria-preta (*Diospyros inconstans*). Na análise de inter-relações entre as propriedades, a massa específica foi a que teve o maior número de correlações significativas. A análise de Cluster foi uma ferramenta eficaz para o agrupamento das madeiras considerando suas similaridades.

Palavra-chave: tecnologia da madeira, propriedades físico-mecânicas, qualidade da madeira.

1

GROUPING OF FOREST SPECIES BY TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF WOODS

ABSTRACT: This work aimed to evaluate the physical and mechanical properties of 30 Southern-Brazilian woods, interrelationships and similarity of these properties. For the physical properties were evaluated the basic density and shrinkages (radial, tangential and volumetric). For the mechanical properties were evaluated the static bending, parallel compression, perpendicular traction, shear, splitting, Janka hardness and dynamic bending. These tests were performed according to Brazilian Standard of Wood Structures. The high dimensional stability was observed for leiteiro (*Sapium glandulosum*) and timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*). The greater mechanical resistance was obtained by pessegueiro bravo (*Prunus subcoriaceous*) and maria-preta (*Diospyros inconstans*). In the interrelations analysis between the properties, the density was the one with the greatest number of significant correlations. Cluster analysis proved to be an effective tool for grouping wood considering their similarities.

Keywords: wood technology, physical-mechanical properties, wood quality.

1. INTRODUÇÃO

Para o uso adequado de qualquer material é indispensável o conhecimento de suas características, principalmente as relacionadas à aplicabilidade. Com a madeira não é diferente, sendo indispensável o conhecimento de suas propriedades físicas e mecânicas, de modo que estas sirvam de subsídio na indicação de uso deste material. Cada espécie possui diferentes características, sendo necessária a verificação de diversos

fatores que atuam intrinsecamente em sua qualidade de uso (ARAÚJO, 2007).

No entanto, por ser a madeira um material de elevada complexidade, a caracterização de parâmetros isolados pode não ser suficiente para uma indicação adequada do emprego deste material. Deste modo, a determinação de diversas propriedades e a sua análise conjunta torna-se a solução mais adequada para o uso deste material (MELO et al., 2010). Como ferramenta para a análise conjunta

destas informações pode ser utilizado técnicas de agrupamento de espécies, de modo que espécies que apresentem características (propriedades tecnológicas) similares sejam utilizadas para finalidades semelhantes. As análises de agrupamento são consideradas técnicas eficazes para esta finalidade.

No trabalho realizado por Lobão et al. (2010), os autores comprovaram a eficiência do agrupamento das propriedades físico-anatômicas da madeira para o agrupamento de diferentes espécies florestais. No estudo foram avaliadas 15 diferentes espécies as quais foram alocadas em diferentes classes estabelecidas de acordo com a proximidade dos parâmetros avaliados.

No presente trabalho foi realizada a caracterização das propriedades físicas e mecânicas da madeira de 30 espécies florestais de ocorrência no Estado do Rio Grande do Sul e avaliadas as inter-relações destas por análises de similaridade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Espécies Estudadas

No estudo foram avaliadas 30 diferentes espécies obtidas em áreas naturais ou em florestas plantadas no Estado do Rio Grande do Sul (Tabela 1). O maior número das espécies analisadas ocorre naturalmente na região, porém, também foram avaliadas algumas espécies exóticas, como as dos gêneros *Pinus* e *Grevilea*. Quando necessário, os indivíduos foram abatidas com prévia autorização do órgão ambiental responsável. Para escolha dos indivíduos de cada espécie foram levados em consideração o porte das árvores (diâmetro a altura do peito – DAP superior a 35 cm), bom estado de fitossanidade, ausência de defeitos naturais e fuste retilíneo.

Tabela 1. Lista de espécies estudadas.

| ID | Nome vulgar | Nome Científico |
|----|--------------------|---|
| 1 | Angico-branco | <i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F. Macbr. |
| 2 | Baguaçu | <i>Talauma ovata</i> A. St. Hil. |
| 3 | Bracatinga | <i>Mimosa scabrella</i> Benth. |
| 4 | Caixeta | <i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Dec. & Pl. |
| 5 | Camboatá-vermelho | <i>Cupania vernalis</i> Cambess. |
| 6 | Capororoca | <i>Rapanea umbellata</i> (Mart.) Mez. |
| 7 | Carne de vaca | <i>Styrax leprasus</i> Hook. & Arn. |
| 8 | Caúna | <i>Ilex dumosa</i> Reissek. |
| 9 | Corticeira | <i>Erythrina falcata</i> Benth. |
| 10 | Cruzeiro | <i>Randia armata</i> (Sw.) DC. |
| 11 | Figueira-do-mato | <i>Ficus subtriplinervia</i> Mart. |
| 12 | Grevília* | <i>Grevilea robusta</i> A.Cunn. |
| 13 | Guaperê | <i>Lamanonia speciosa</i> (Cambess.) L.B. Sm. |
| 14 | Ingazeiro | <i>Inga marginata</i> Willd. |
| 15 | Leiteiro | <i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong. |
| 16 | Mamigueira | <i>Fagara rhoifolia</i> (Lam.) Engl |
| 17 | Maria-preta | <i>Diospyros inconstans</i> Jacq. |
| 18 | Marmeleiro-do-mato | <i>Ruprechtia laxiflora</i> Meisn. |
| 19 | Pessegueiro-bravo | <i>Prunus subcoriacea</i> (Chodat & Hassl.) Koe. |
| 20 | Pinho | <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze |
| 21 | Pinho-bravo | <i>Podocarpus lambertii</i> Klotzsch ex Endl. |
| 22 | Pinus eliottii* | <i>Pinus eliottii</i> Engelm |
| 23 | Pinus taeda* | <i>Pinus taeda</i> L. |
| 24 | Rabo-do-bugio | <i>Lonchocarpus neuroscapha</i> Benth. |
| 25 | Sapopema | <i>Sloanea monosperma</i> Vell. |
| 26 | Tanheiro | <i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) M. Arg. |
| 27 | Timbaúva | <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Mor. |
| 28 | Timbó | <i>Ateleia glazioviana</i> Baill. |
| 29 | Vassourão-branco | <i>Piptocarpha angustifolia</i> Dusén ex Malme. |
| 30 | Vassourão-preto | <i>Piptocarpha axillaris</i> (Less.) Baker |

*Espécies exóticas; ID = número de identificação da espécie.

2.2. Amostragem das Árvores

De cada espécie foram abatidas no mínimo três árvores, das quais foram retiradas as duas primeiras toras, com 2,8 m de comprimento cada. As toras foram desdobradas por meio de uma serra-de-fita, em sistema de cortes tangenciais para a retirada das tábuas, com dimensões nominais de 2,5 x 15 x 280 cm (espessura, largura e comprimento).

Posteriormente as tábuas foram resserradas com auxílio serra-circular sendo divididas em duas na metade de seu comprimento. Estas foram subdivididas em lotes de acordo com a espécie e indivíduo de origem. Destes, foram obtidas amostras para realização dos ensaios de determinação das propriedades das madeiras. De cada lote foram selecionadas amostras aleatoriamente, as quais foram utilizadas para manufatura dos corpos de prova. Dos corpos de prova produzidos selecionaram-se os isentos de defeitos, com grã reta, ausência de alborno e que foram obtidos de regiões afastadas das extremidades das peças. Nestas condições, para cada ensaio, foram selecionadas no mínimo vinte amostras.

2.3. Caracterização Tecnológica das Madeiras

Na realização dos ensaios físico-mecânicos foi utilizada as recomendações da Norma Brasileira Reguladora – NBR 7190 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1997), ao utilizar o modelo de caracterização completa para todas as espécies avaliadas.

Para às propriedades físicas foram avaliadas a massa específica básica (ρ); a retratibilidade linear radial (α_r), tangencial (α_t) e a volumétrica (α_v). Para as propriedades mecânicas foi determinado o comportamento dos corpos-de-prova quando submetidos a esforços de compressão paralela ($fc0$ e $Ec0$); flexão estática (fM e EM); cisalhamento ($fv0$); dureza Janka (HO); tração ($ft90$); fendilhamento (σ_t); e flexão dinâmica (W). Especificamente para os ensaios de compressão paralela e flexão estática, as amostras foram ensaiadas nas condições verde (saturada em água) e climatizada (12%).

2.4. Análise dos Resultados

Para análise dos dados foi realizada uma comparação entre as médias obtidas para as propriedades físicas e mecânicas de cada espécie. Adicionalmente foi realizada análise de correlação entre as estas propriedades e análise de similaridade por meio do agrupamento de espécies (análise de Cluster).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são observados os valores médios das propriedades físicas e mecânicas determinadas para as diferentes espécies avaliadas. As espécies avaliadas tiveram massa específica variando entre 0,37 e 0,90 g.cm⁻³, sendo a mais leve a timbaúva (ID27 - *Enterolobium contortisiliquum*) e a mais densa a maria-preta (ID17 - *Diospyros inconstans*). Santini et al. (2000) e Araújo (2007) destacam que a massa específica como a propriedade que mais fornece informações sobre as características da madeira, por estar intimamente relacionada com as demais propriedades da madeira. Trevisan et al. (2008) destacam que esta propriedade é dada em função de características da própria espécie, bem

como das influências externas, assim como das variações ambientais e intervenções silviculturais.

Quanto à estabilidade dimensional, de modo geral, observou-se para todas as espécies que a retratibilidade tangencial (αt) foi superior que a retratibilidade radial (αr). Tais resultados corroboram com diversos autores, dentre eles Del Menezzi (2006), Araújo (2007) e Melo et al. (2010), que afirmam ser a retratibilidade no sentido radial menor que a obtida no sentido tangencial, a qual é a

mais importante para fins práticos de utilização da madeira maciça.

Durlo; Marchiori (1992) atribuem essa variação as restrições oferecidas pelos raios no sentido radial. Segundo os autores, por estes estarem dispostos horizontalmente ao sentido das fibras, faz com que as madeiras se contraíam menos. Já a retratibilidade no sentido longitudinal da madeira é mínima, não oferecendo restrições ao emprego das peças.

Tabela 2. Valores médios observados para as propriedades físicas e mecânicas das espécies estudadas.

| ID | ρ | αr | αt | αv | $fc0v$ | $Ec0v$ | $fc0s$ | fMv | EMv | fMs | $fv0$ | $H90$ | $ft90$ | σt | W |
|--------|--------|------------|------------|------------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|------------|-----|
| 1 | 0,70 | 4,1 | 8,0 | 14,5 | 30,5 | 13.318 | 49,7 | 78,6 | 11.294 | 102,0 | 10,2 | 53,8 | 6,3 | 0,9 | 3,5 |
| 2 | 0,56 | 2,8 | 6,9 | 12,6 | 25,0 | 11.092 | 39,4 | 56,0 | 8.822 | 81,0 | 7,6 | 30,4 | 6,1 | 0,6 | 2,3 |
| 3 | 0,72 | 4,9 | 15,4 | 22,0 | 30,6 | 10.516 | 49,2 | 78,2 | 10.516 | 113,8 | 10,1 | 51,9 | 8,5 | 1,5 | 4,2 |
| 4 | 0,55 | 4,2 | 8,6 | 17,3 | 21,6 | 9.399 | 35,0 | 47,5 | 8.378 | 68,7 | 6,3 | 27,9 | 4,5 | 0,5 | 2,2 |
| 5 | 0,84 | 4,3 | 7,2 | 13,9 | 41,1 | 9.510 | 55,8 | 77,2 | 9.392 | 99,6 | 11,2 | 68,4 | 6,5 | 0,8 | 2,7 |
| 6 | 0,85 | 2,8 | 15,4 | 26,0 | 27,2 | 12.199 | 55,6 | 71,4 | 10.414 | 111,6 | 9,1 | 46,4 | 7,9 | 0,9 | 2,5 |
| 7 | 0,55 | 4,5 | 11,5 | 17,6 | 23,8 | 8.850 | 38,5 | 53,6 | 7.621 | 75,5 | 6,5 | 29,8 | 5,0 | 0,6 | 2,0 |
| 8 | 0,71 | 3,5 | 15,4 | 25,0 | 22,6 | 9.235 | 36,8 | 63,3 | 9.967 | 88,3 | 9,3 | 42,0 | 7,9 | 1,1 | 3,3 |
| 9 | 0,39 | 2,4 | 8,0 | 14,8 | 17,9 | 8.854 | 27,5 | 38,0 | 6.044 | 45,7 | 3,7 | 19,9 | 2,0 | 0,2 | 2,1 |
| 10 | 0,44 | 2,5 | 5,4 | 10,7 | 25,7 | 11.747 | 38,4 | 48,9 | 8.435 | 62,9 | 6,1 | 28,9 | 3,7 | 0,4 | 1,8 |
| 11 | 0,49 | 2,3 | 5,3 | 12,2 | 23,3 | 7.916 | 32,7 | 54,0 | 5.958 | 61,0 | 6,8 | 32,1 | 5,4 | 0,6 | 1,5 |
| 12 | 0,66 | 3,2 | 7,9 | 12,0 | 24,9 | 6.012 | 32,1 | 52,4 | 4.996 | 57,3 | 8,0 | 33,5 | 5,8 | 0,8 | 1,1 |
| 13 | 0,66 | 4,0 | 9,0 | 16,2 | 23,5 | 7.962 | 38,8 | 57,4 | 7.267 | 74,0 | 9,0 | 43,1 | 6,5 | 0,8 | 1,5 |
| 14 | 0,63 | 2,0 | 7,0 | 13,7 | 32,8 | 11.234 | 42,7 | 79,3 | 9.783 | 93,4 | 9,4 | 51,8 | 7,1 | 1,0 | 3,0 |
| 15 | 0,41 | 1,8 | 5,4 | 9,7 | 16,7 | 6.451 | 26,2 | 36,4 | 6.417 | 53,1 | 5,1 | 19,0 | 3,4 | 0,4 | 1,1 |
| 16 | 0,73 | 3,4 | 10,2 | 17,6 | 32,0 | 12.181 | 49,7 | 80,9 | 10.495 | 80,9 | 8,5 | 53,3 | 7,5 | 1,0 | 3,3 |
| 17 | 0,90 | 4,7 | 10,6 | 21,2 | 39,7 | 13.051 | 59,0 | 101,5 | 11.703 | 131,2 | 11,0 | 75,5 | 7,3 | 0,9 | 8,5 |
| 18 | 0,67 | 3,2 | 9,9 | 15,2 | 28,8 | 10.537 | 44,6 | 67,6 | 9.105 | 98,4 | 8,6 | 47,9 | 5,4 | 0,7 | 4,4 |
| 19 | 0,80 | 3,9 | 14,7 | 21,1 | 35,8 | 11.220 | 54,8 | 80,9 | 11.663 | 112,8 | 11,1 | 57,9 | 7,5 | 1,0 | 3,3 |
| 20 | 0,58 | 3,7 | 7,0 | 12,5 | 31,4 | 12.269 | 52,0 | 68,5 | 12.186 | 96,1 | 6,4 | 33,8 | 3,7 | 0,4 | 2,0 |
| 21 | 0,50 | 3,9 | 6,2 | 12,3 | 22,9 | 5.283 | 34,8 | 46,5 | 5.149 | 65,4 | 7,1 | 32,2 | 3,5 | 0,5 | 0,9 |
| 22 | 0,43 | 2,3 | 5,8 | 10,4 | 14,9 | 5.397 | 24,9 | 33,2 | 3.520 | 51,2 | 9,5 | 32,0 | 6,8 | 0,5 | 1,3 |
| 23 | 0,53 | 4,2 | 10,7 | 12,4 | 21,0 | 6.401 | 33,7 | 45,1 | 4.615 | 70,8 | 5,1 | 19,0 | 3,4 | 0,4 | 1,0 |
| 24 | 0,76 | 5,6 | 10,9 | 21,2 | 33,4 | 11.878 | 50,3 | 85,7 | 9.972 | 114,5 | 9,2 | 53,0 | 7,0 | 0,8 | 6,4 |
| 25 | 0,77 | 4,0 | 8,8 | 16,1 | 32,1 | 10.054 | 45,4 | 69,9 | 8.137 | 91,9 | 9,6 | 52,8 | 7,8 | 0,9 | 2,0 |
| 26 | 0,44 | 2,0 | 6,4 | 11,1 | 18,0 | 8.232 | 29,6 | 38,1 | 5.636 | 51,6 | 5,9 | 21,6 | 3,9 | 0,6 | 1,9 |
| 27 | 0,37 | 1,9 | 4,8 | 9,0 | 14,4 | 4.735 | 21,7 | 30,0 | 3.481 | 38,1 | 5,1 | 17,5 | 2,4 | 0,3 | 1,3 |
| 28 | 0,75 | 6,9 | 12,4 | 22,9 | 31,5 | 12.046 | 49,7 | 71,8 | 9.662 | 97,0 | 7,5 | 45,3 | 5,8 | 0,7 | 3,9 |
| 29 | 0,58 | 6,1 | 11,3 | 20,4 | 23,4 | 11.135 | 39,8 | 58,8 | 10.212 | 80,1 | 8,1 | 35,6 | 5,8 | 0,7 | 2,6 |
| 30 | 0,44 | 3,1 | 10,2 | 21,6 | 17,0 | 7.365 | 26,3 | 39,7 | 5.834 | 55,6 | 5,9 | 26,5 | 3,4 | 0,4 | 1,3 |
| Mínimo | 0,37 | 1,8 | 4,8 | 9,0 | 14,4 | 4.735 | 21,7 | 30,0 | 3.481 | 38,1 | 3,7 | 17,5 | 2,0 | 0,2 | 0,9 |
| Média | 0,61 | 3,6 | 9,2 | 16,1 | 26,1 | 9.536 | 40,5 | 60,3 | 8.223 | 80,8 | 7,9 | 39,4 | 5,6 | 0,7 | 2,6 |
| Máximo | 0,90 | 6,9 | 15,4 | 26,0 | 41,1 | 13.318 | 59,0 | 101,5 | 12.186 | 131,2 | 11,2 | 75,5 | 8,5 | 1,5 | 8,5 |

ID = número de identificação da espécie; ρ = massa específica básica, em $g.cm^{-3}$; αr = retratibilidade linear radial, em %; αt = retratibilidade linear tangencial, em %; αv = retratibilidade volumétrica, em %; $fc0v$ = resistência a compressão paralela da madeira verde, em $kgf.cm^{-2}$; $Ec0v$ = rigidez a compressão paralela da madeira verde, em $kgf.cm^{-2}$; $fc0s$ = resistência a compressão paralela da madeira seca, em $kgf.cm^{-2}$; fMv = resistência a flexão da madeira verde, em $kgf.cm^{-2}$; EMv = rigidez a flexão da madeira verde, em $kgf.cm^{-2}$; fMs = resistência a flexão da madeira seca, em $kgf.cm^{-2}$; $fv0$ = resistência ao cisalhamento, em $kgf.cm^{-2}$; $H90$ = dureza Janka perpendicular, em $kgf.cm^{-2}$; $ft90$ = resistência a tração perpendicular, em $kgf.cm^{-2}$; σt = resistência ao fendilhamento, em $kgf.cm^{-2}$; W = resistência a flexão dinâmica, em $kg.m$.

Dentre as espécies avaliadas, as de maior resistência mecânica foram as madeiras de pessegueiro-bravo (ID19 - *Prunus subcoriacea*) e maria-preta (ID17 - *Diospyros inconstans*). Já as menos resistentes foram o *Pinus elliottii* (ID22), vassourão-preto (ID30 - *Piptocarpha axillaris*) e a timbaúva (ID27 - *Enterolobium contortisiliquum*). Todavia, ressalta-se que essa análise geral de desempenho aplica-se apenas aos ensaios estáticos. Para o único teste dinâmico realizado, a resistência à flexão dinâmica, além da maria-preta, obtiveram também, elevada resistência o rabo-de-bugio (ID24 - *Lonchocarpus neuroscapha*), a bracinga (ID2 - *Mimosa scabrella*) e o marmeleiro-domato (ID 18 - *Ruprechtia laxiflora*). As menos resistentes foram às coníferas *Pinus taeda* L. (ID23) e pinho-bravo (ID21 - *Podocarpus lambertii*). A resistência à flexão dinâmica de um corpo sólido depende diretamente de sua habilidade em absorver energia e dissipá-la por meio de deformações (MORESCHI, 2012). Os valores de trabalho absorvido (W) variaram entre 0,90 e 8,40 $kg.m$ no

presente estudo. Resultados semelhantes foram observados por Pedroso; Matos (1987), que ao estudarem diversas espécies de *Eucalyptus* no Estado do Rio Grande do Sul, obtiveram valores variando de 1,6 a 7,2 $kg.m$. Haselein et al. (2002) destacam que as propriedades mecânicas da madeira são influenciadas por diversos fatores, dentre estes, a posição na árvore, a umidade, o tempo de duração da carga e a estrutura anatômica da madeira.

Na Tabela 3 podem ser observadas as correlações existentes entre as propriedades físicas e mecânicas das espécies estudadas. Dentre os parâmetros avaliados a massa específica foi o único que proporcionou correlação significativa com todos os outros parâmetros avaliados. Este resultado corrobora com preconizado por Melo et al. (2010), que afirmam ser possível admitir que a massa específica é o melhor indicativo para definição dos usos, tendo em vista a sua íntima relação com as propriedades físicas e mecânicas da madeira.

Para as propriedades físicas, os coeficientes de retratibilidade foram os parâmetros que tiveram as menores correlações. Chimelo (1980) e Rocha (1994) observaram resultados semelhantes ao avaliarem correlações entre as propriedades da madeira de diferentes espécies florestais. As propriedades mecânicas apresentaram melhores correlações com a massa específica, quando comparado com as propriedades físicas. Este resultado está de acordo com Araújo (2007), que destaca que quando se trata da relação deste parâmetro especificamente com as propriedades de

resistência e rigidez da madeira, essa relação se mantém de forma mais nítida. Outro parâmetro que proporcionou correlações significativas com as demais propriedades mecânicas da madeira foi a resistência à compressão paralela ($fc0v$, $fc0s$). Este resultado corrobora com as sugestões feitas pela NBR 7190, ABNT (1997), a qual estabelece que para madeiras conhecidas e usualmente utilizadas para fins estruturais, a estimativa das demais propriedades mecânicas a partir de sua resistência a compressão paralela é um método que pode apresentar resultados satisfatórios.

Tabela 3. Correlação entre as propriedades físicas e mecânicas das espécies estudadas.

| | ρ | αr | αt | αv | $fc0v$ | $Ec0v$ | $fc0s$ | fMv | EMv | fMs | $fv0$ | $H90$ | $fi90$ | σt | W |
|------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------------------|-------|
| ρ | 1,00* | | | | | | | | | | | | | | |
| αr | 0,55* | 1,00* | | | | | | | | | | | | | |
| αt | 0,63* | 0,54 ^N | 1,00* | | | | | | | | | | | | |
| αv | 0,65* | 0,58* | 0,91* | 1,00* | | | | | | | | | | | |
| $fc0v$ | 0,86* | 0,49 ^N | 0,34 ^N | 0,38 ^N | 1,00* | | | | | | | | | | |
| $Ec0v$ | 0,64* | 0,41 ^N | 0,41 ^N | 0,51 ^N | 0,73* | 1,00* | | | | | | | | | |
| $fc0s$ | 0,90* | 0,54 ^N | 0,51 ^N | 0,54 ^N | 0,93* | 0,82* | 1,00* | | | | | | | | |
| fMv | 0,91* | 0,52 ^N | 0,50 ^N | 0,56* | 0,94* | 0,80* | 0,93* | 1,00* | | | | | | | |
| EMv | 0,73* | 0,47 ^N | 0,53 ^N | 0,59* | 0,79* | 0,92* | 0,88* | 0,86* | 1,00* | | | | | | |
| fMs | 0,90* | 0,57* | 0,62* | 0,64* | 0,87* | 0,78* | 0,94* | 0,94* | 0,86* | 1,00* | | | | | |
| $fv0$ | 0,83* | 0,36 ^N | 0,42 ^N | 0,44 ^N | 0,73* | 0,47 ^N | 0,72* | 0,78* | 0,59* | 0,77* | 1,00* | | | | |
| $H90$ | 0,91* | 0,44 ^N | 0,42 ^N | 0,50* | 0,91* | 0,64* | 0,86* | 0,93* | 0,72* | 0,86* | 0,91* | 1,00* | | | |
| $fi90$ | 0,81* | 0,34 ^N | 0,57* | 0,57* | 0,62* | 0,50 ^N | 0,65* | 0,74* | 0,58* | 0,72* | 0,89* | 0,79* | 1,00* | | |
| σt | 0,77* | 0,35 ^N | 0,63* | 0,57* | 0,62* | 0,47* | 0,63* | 0,74* | 0,60* | 0,71* | 0,81* | 0,75* | 0,90* | 1,00* | |
| W | 0,67* | 0,48* | 0,44 ^N | 0,54 ^N | 0,67* | 0,67* | 0,68* | 0,80* | 0,66* | 0,78* | 0,56 ⁿ | 0,74* | 0,51 ^N | 0,51 ^N | 1,00* |

ρ = massa específica básica, em $g.cm^{-3}$; αr = retratibilidade linear radial, em %; αt = retratibilidade linear tangencial, em %; αv = retratibilidade volumétrica, em %; $fc0v$ = resistência a compressão paralela da madeira verde, em $kgf.cm^{-2}$; $Ec0v$ = rigidez a compressão paralela da madeira verde, em $kgf.cm^{-2}$; $fc0s$ = resistência a compressão paralela da madeira seca, em $kgf.cm^{-2}$; fMv = resistência a flexão da madeira verde, em $kgf.cm^{-2}$; EMv = rigidez a flexão da madeira verde, em $kgf.cm^{-2}$; fMs = resistência a flexão da madeira seca, em $kgf.cm^{-2}$; $fv0$ = resistência ao cisalhamento, em $kgf.cm^{-2}$; $H90$ = dureza Janka perpendicular, em $kgf.cm^{-2}$; $fi90$ = resistência a tração perpendicular, em $kgf.cm^{-2}$; σt = resistência ao fendilhamento, em $kgf.cm^{-2}$; W = resistência a flexão dinâmica, em $kg.m$; * = correlação de Pearson significativa a 1% de probabilidade; ^N = correlação não significativa.

As correlações entre a massa específica e algumas das propriedades físicas e mecânicas analisadas, podem ser observadas na Figura 2. As maiores correlações foram observadas para a dureza Janka ($r = 0,91$), flexão estática ($r = 0,91$) e compressão paralela ($r = 0,90$). A correlação direta entre a massa específica e as propriedades da madeira, pode servir de subsídio para a indicação de usos das peças. Para Shimoyama (1990) a massa específica é uma quantificação direta do material lenhoso por unidade de volume, estando relacionada a muitas propriedades e características tecnológicas fundamentais para a produção e utilização dos produtos florestais, o que faz deste parâmetro um dos mais importantes na indicação de uso da madeira como matéria-prima. Araújo (2007) destaca ainda, que a obtenção da massa específica não necessita do uso de equipamentos onerosos e de difícil manuseio, o que torna o seu emprego importante também sob o ponto de vista econômico sem perder a praticidade no uso da madeira.

A correlação entre os módulos de elasticidade e de ruptura, para os ensaios de compressão paralela e flexão estática podem ser observados na Figura 2. Para ambos os ensaios, foi verificada uma elevada relação entre os parâmetros, compressão paralela ($r = 0,82$) e flexão estática ($r = 0,86$). Resultados semelhantes foram observados por Melo et al. (2010). Estes autores destacaram ainda, que a relação entre os módulos de elasticidade e ruptura pode ser útil na classificação de peças de madeira por meio de ensaios não destrutivo. Nesse processo, as peças são submetidas a uma carga

conhecida, sem que haja o seu rompimento (carga inferior ao limite de proporcionalidade). A partir da deformação obtida pela peça, determina-se o módulo de elasticidade, o qual pode ser utilizado na estimativa do módulo de ruptura.

A similaridade entre as espécies estudadas pode ser observada também na Figura 3. Por meio da análise do dendrograma foi possível gerar diferentes grupos de espécies similares dentre as estudadas, os quais podem ser observados na Tabela 4.

O primeiro grupo foi representado por 12 das 30 espécies estudadas, sendo alocadas àquelas que apresentavam interligações a uma distância euclidiana inferior a 2,00. O segundo grupo foi o maior dos identificados (13 espécies), consideraram-se as espécies que apresentaram interligações a uma distância euclidiana inferior a 4,00 (exceto as espécies presentes no Grupo 1). No terceiro e quarto grupo foram incluídas apenas quatro e uma espécies respectivamente. Sendo considerado para o primeiro deles interligações a uma distância euclidiana inferior (Grupo 3) e superior (Grupo 4) a 6,00 (exceto as espécies incluídas no grupo antecessor). O isolamento da espécie maria-preta (ID17 - *Diospyros inconstans*) no Grupo 4, pode ser atribuído, dentre outros fatores, a elevada massa específica da espécie ($0,90 g.cm^{-3}$) quando comparada com as demais. Como discutido anteriormente, e afirmado por diversos autores (Shimoyama, 1990; Haselein et al., 2002; Lobão et al., 2004), este parâmetro influencia significativamente as demais propriedades da madeira.

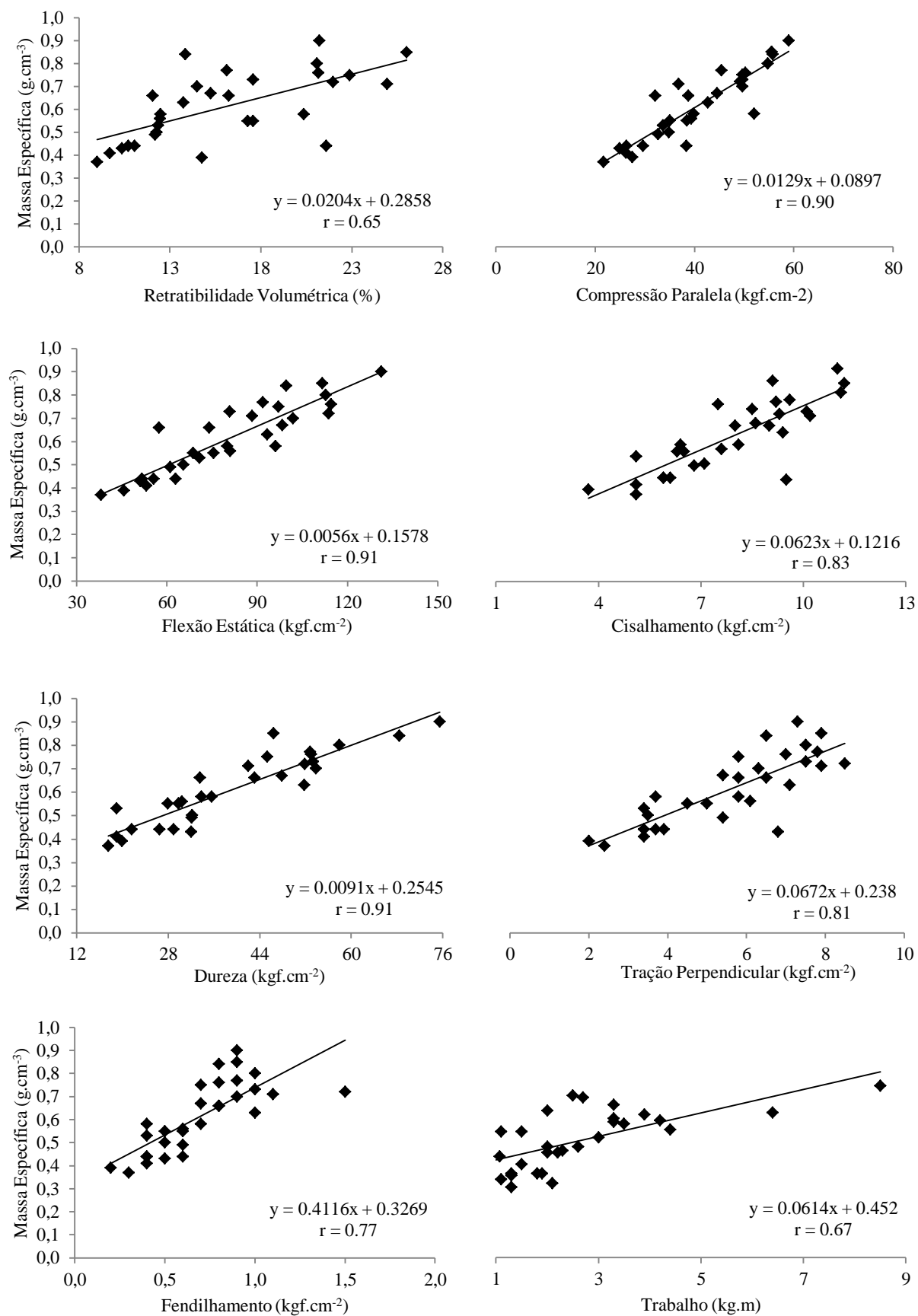


Figura 1. Correlações entre a massa específica e as propriedades físico-mecânicas das espécies estudadas.

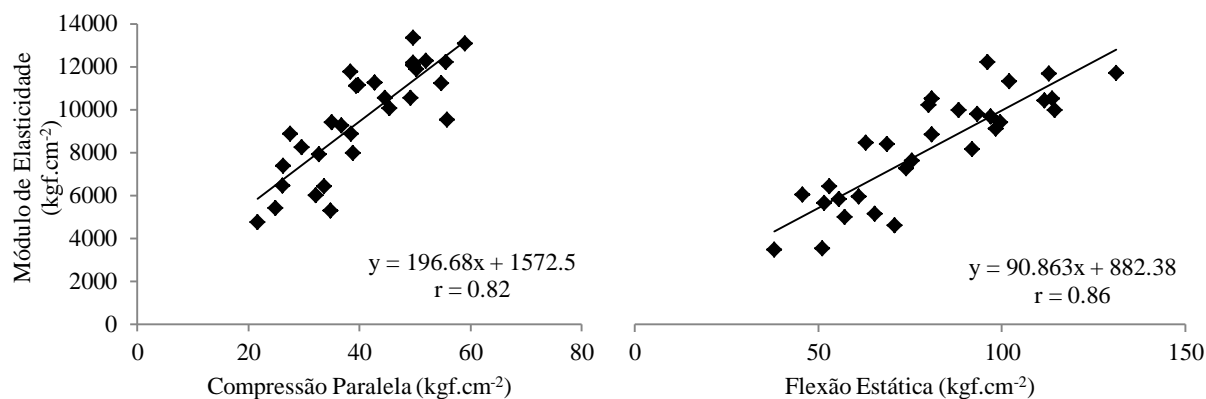


Figura 2. Correlações entre o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura (compressão paralela e flexão estática).

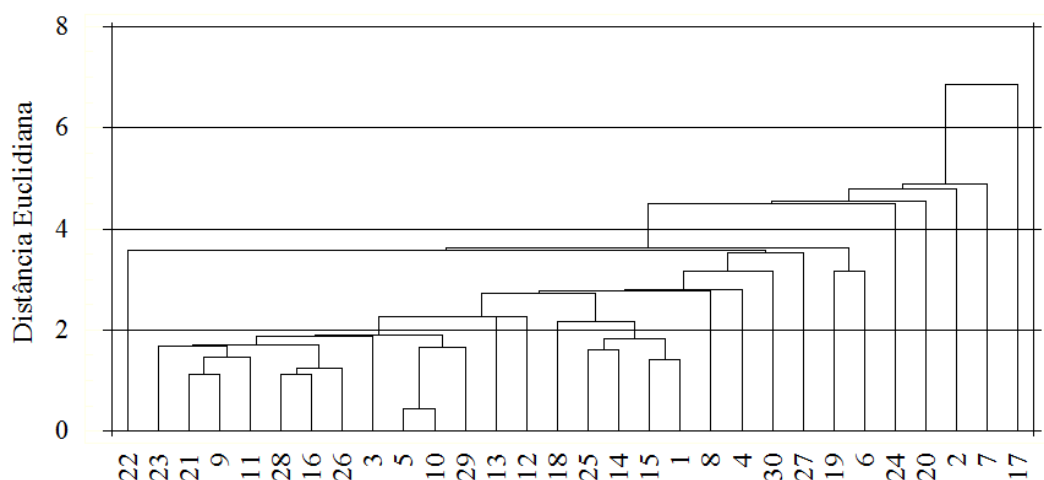


Figura 3. Análise de similaridade entre as espécies estudadas.

Tabela 4. Agrupamento das espécies por similaridade.

| ID | Nome vulgar | Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3 | Grupo 4 |
|----|--------------------|---------|---------|---------|---------|
| 3 | Bracatinga | X | | | |
| 5 | Camboatá-vermelho | X | | | |
| 9 | Corticeira | X | | | |
| 10 | Cruzeiro | X | | | |
| 11 | Figueira-do-mato | X | | | |
| 16 | Mamiqueira | X | | | |
| 21 | Pinho-bravo | X | | | |
| 22 | Pinus eliottii | X | | | |
| 23 | Pinus taeda | X | | | |
| 26 | Tanheiro | X | | | |
| 28 | Timbó | X | | | |
| 29 | Vassourão-branco | X | | | |
| 1 | Angico-branco | | X | | |
| 4 | Caixeta | | X | | |
| 6 | Capororoca | | X | | |
| 8 | Caúna | | X | | |
| 12 | Grevília | | X | | |
| 13 | Guaperê | | X | | |
| 14 | Ingazeiro | | X | | |
| 15 | Leiteiro | | X | | |
| 18 | Marmeleiro-do-mato | | X | | |
| 19 | Pessegueiro-bravo | | X | | |
| 25 | Sapopema | | X | | |
| 27 | Timbaúva | | X | | |
| 30 | Vassourão-preto | | X | | |
| 2 | Baguaçu | | | X | |
| 7 | Carne de vaca | | | X | |
| 20 | Pinho | | | X | |
| 24 | Rabo-do-bugio | | | X | |
| 17 | Maria-preta | | | | X |

ID = número de identificação da espécie.

4. CONCLUSÕES

O leiteiro (*Sapium glandulosum*) e timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*) foram às espécies que tiveram a melhor estabilidade dimensional, considerando o inchamento volumétrico.

A maior resistência mecânica foi atribuída ao pessegueiro-bravo (*Prunus subcoriacea*) e à maria-preta (*Diospyros inconstans*).

As inter-relações entre as espécies estudadas apontaram a massa específica como a propriedade mais influente dentre as estudadas.

A análise de Cluster foi uma ferramenta eficaz na identificação da similaridade entre espécies, podendo ser utilizada no agrupamento de madeiras que possuem propriedades semelhantes.

5. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. H. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, set./dez. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 107 p.

CHIMELO, J. P. **Development of a probability-based computerization system for identification and for property prediction of selected tropical hardwoods.** 1980. 202 f. Dissertation (Ph. D. in Wood Science) – Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, 1980.

DEL MENEZZI, C. H. S. **Instabilidade dimensional da madeira e de seus subprodutos: causas, conseqüências e prevenção.** Brasília: UnB, 2006. 37 p.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade.** Santa Maria: CEPEF/UFSM, 1992. 33 p.

HASELEIN, C. R. et al. Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 147-152, abr./jun. 2002.

LOBÃO, M. S. et al. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 889-894, nov./dez. 2004.

LOBÃO, M. S. et al. Agrupamento de espécies florestais pela similaridade das características físico-anatômicas e usos da madeira. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. spl., p. 97-105, jul. 2010.

MELO, R. R. et al. Caracterização física e mecânica da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Agrária**, Recife, v. 5, n. 1, p. 67-73, jan./mar. 2010.

MORESCHI, J. C. **Propriedades tecnológicas da madeira.** Curitiba: UFPR, 2012. 169 p.

PEDROSO, O.; MATTOS, J. R. **Estudo sobre madeiras do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Instituto de Pesquisas de Recursos Naturais Ataliba Paz, 1987. 181 p.

ROCHA, J. S. **A segurança de estruturas de madeira determinada a partir da variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras amazônicas.** 160 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1994.

SANTINI, E. J. et al. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 85-93, jan./mar. 2000.

SHIMOYAMA, V. R. S. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** 1990. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

TREVISAN, R. et al. Variação radial da massa específica básica da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, p. 553-559, jul./set. 2008.