

Agrupamento de espécies madeireiras da Amazônia com base em propriedades físicas e mecânicas

Clustering of Amazon wood species based on physical and mechanical properties

Pamella Carolline Marques dos Reis Reis^I, Leonardo Pequeno Reis^{II}, Agostinho Lopes de Souza^{III}, Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho^{III}, Lucas Mazzei^{IV}, Alisson Rodrigo Souza Reis^V, Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres^{III}

Resumo

A procura intensa por essências madeireiras nativas consolidadas, que apresentam elevado uso, pode ocasionar a superexploração de espécies e diminuição do seu estoque na floresta. Uma alternativa para essa situação é a substituição dessas espécies por outras com propriedades da madeira semelhantes e com suficiente estoque de crescimento na floresta. O objetivo deste trabalho foi agrupar as espécies da Amazônia através das propriedades físico-mecânicas da madeira e realizar a análise discriminante para identificar quais características tecnológicas são mais importantes para o agrupamento. As espécies estudadas foram provenientes de oito localidades distintas da região amazônica. As propriedades físico-mecânicas utilizadas obtidas da literatura especializada nacional foram: densidade básica, contração (tangencial, radial e volumétrica), flexão estática, compressão paralela e perpendicular às fibras, dureza Janka paralela e transversal, tração perpendicular às fibras, fendilhamento e cisalhamento. Foi utilizada a técnica de análise multivariada de Cluster (distância euclidiana simples e o método de Ward) e a análise discriminante para avaliar o agrupamento. A análise de Cluster foi eficiente para agrupar as espécies, que foram separadas em três grupos distintos. As espécies que se destacaram foram a *Helicostylis pedunculata* Benoist. e *Tachigali chrysophylla* (Poepp.) Zarucchi & Herend., por se agruparem com as espécies mais comercializadas. Os menores valores de Wilks' Lambda foram da densidade da madeira (0,759053), cisalhamento (0,802960) e compressão paralela às fibras (0,825594). Essas características foram as mais determinantes para discriminar os grupos. A análise de agrupamento é eficiente para indicar a substituição de espécies consolidadas na Amazônia.

Palavras-chave: Indicação de espécies; Madeiras tropicais; Tecnologia da madeira

Abstract

The intense search for consolidated native wood essences, which are highly used, can lead to the overexploitation of species and decrease their stocks in the forest. An alternative to this situation is the replacement of these species by others with similar wood properties and with sufficient forest growing stock. The objective of this work was to cluster the Amazon species through wood physical-mechanical properties and perform the discriminant analysis to identify which technological characteristics are more important for the clustering. The species studied came from eight different locations in the Amazon region. The properties used were: basic density, contraction (tangential, radial and volumetric), static flexion, compression parallel and perpendicular to the fibers, Janka hardness parallel and transversal, traction perpendicular to the fibers, cracking and shearing, all obtained from the national specialized literature. Multivariate Cluster analysis (simple Euclidean distance and Ward's method) and the discriminant analyses were used to evaluate the clustering. Cluster analysis was efficient to cluster the species, which were separated into three distinct groups. The species that stood out were *Helicostylis pedunculata* Benoist. and *Tachigali chrysophylla* (Poepp.) Zarucchi & Herend., for clustering with the most commercialized species. The lowest values of Wilks' Lambda were wood density (0.759053), shearing (0.802960) and compression parallel to the fibers (0.825594). These characteristics were the most determinant to discriminate the clusters. The clustering analysis was efficient for the separation of the species into marketing clusters.

Keywords: Indication of species; Tropical wood; Wood technology

^I Engenheira Florestal, Professora Adjunto, Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Capitão Poço, Travessa Pau Amarelo, s/n, Bairro Vila Nova, CEP 68650-000, Capitão Poço (PA), Brasil. pamellaca@gmail.com (ORCID: 0000-0002-9032-7319)

^{II} Engenheiro Florestal, Grupo de Pesquisa em Ecologia Florestal, Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Estrada do Bexiga, 2.584, Bairro Fonte Boa, CEP 69553-225, Tefé (AM), Brasil. leonardo.reis@mamiraua.org.br (ORCID: 0000-0002-5829-1598)

^{III} Engenheiro (a) Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Campus Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, CEP 36570-900, Viçosa (MG), Brasil. alsouzaal@gmail.com (ORCID: 0000-0003-0205-2392 / ana.marcia@ufv.br (ORCID: 0000-0002-5883-8987) / carlos.eleto@yahoo.com.br (ORCID: 0000-0003-0255-2637)

^{IV} Engenheiro Florestal, Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Tv. Doutor Enéas Pinheiro, Bairro Marco, CEP 66095-903, Belém (PA), Brasil. lucas.mazzei@embrapa.br (ORCID: 0000-0002-1757-9472)

^V Engenheiro Florestal, Professor Adjunto, Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Pará, Campus Altamira, Rua Coronel José Porfírio, 2515, Bairro São Sebastião, CEP 68372-040, Altamira (PA), Brasil. arsreis@gmail.com (ORCID: 0000-0001-7182-4814)

Introdução

A Amazônia é considerada a maior floresta tropical do planeta e de elevada importância ecológica devido a sua alta diversidade de espécies animais, vegetais e seus diversos ecossistemas. Possui uma vasta extensão de mais de 4 milhões de quilômetros quadrados, ocupando 49,29% do território brasileiro, segundo o IBGE (2004).

A floresta amazônica apresenta elevada importância econômica, sendo uma grande fonte de renda na região Norte, tanto pelo extrativismo, como pela colheita de madeiras. No estado do Pará, a renda obtida pela venda de madeiras no ano de 2015 foi de aproximadamente 369 milhões de reais (PARÁ, 2015). Nos estados da Amazônia, a colheita e o processamento industrial de madeira estão entre as principais atividades econômicas, ao lado da mineração industrial e da agropecuária (LENTINI; VERÍSSIMO; PEREIRA, 2011).

A alta comercialização de madeiras, apesar das vantagens econômicas, pode suprimir as espécies mais comercializadas devido à falta de diversificação da colheita e taxas de crescimento não compatíveis com a intensidade colhida. A elevada procura por madeiras consolidadas no mercado pode levar à superexploração, resultando em uma brusca queda na abundância ou até a extinção de espécies. De acordo com Adeodato *et al.* (2011), pesquisas sobre tecnologia da madeira e manejo florestal devem apresentar novos resultados para diversificar as opções de madeira e evitar o exagero no uso de determinadas espécies que são raras na natureza. O uso de madeiras menos nobres reduz o perigo de extinção das espécies que são atualmente mais procuradas na Floresta Amazônica, além de favorecer o manejo florestal, pois com o aumento do número de espécies potenciais, é possível aumentar a produção por unidade de área e adotar mais opções de espécies para a colheita.

A fim de diminuir a pressão sobre as essências florestais mais comerciais é importante que ocorra a diversificação das espécies madeiras e inclusive a substituição por outras com características tecnológicas semelhantes. Para promover essa substituição é importante que haja estudos sobre a estrutura da floresta e saber o comportamento das espécies em relação a distribuição diamétrica. Também são necessários estudos sobre as características tecnológicas das madeiras que se pretende comercializar. A junção dessas informações é fundamental para facilitar a escolha de novas espécies madeiras. É necessário também a comparação dessas informações, principalmente das características tecnológicas das madeiras a fim de agrupá-las formando grupos de espécies comerciais, onde espécies que compõem o mesmo grupo podem ser utilizadas para o mesmo fim.

O objetivo do trabalho foi agrupar as espécies da floresta Amazônia através das propriedades físico-mecânicas das madeiras e realizar uma análise discriminante com a finalidade de substituir espécies madeiras comerciais consolidadas por outras menos comercializadas, com características semelhantes.

Material e Métodos

As características físicas e mecânicas das madeiras utilizadas no agrupamento foram obtidas a partir das seguintes publicações: Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981), Lopes *et al.* (1983), Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1988), IBAMA (1997), Laboratório de Produtos Florestais (2016) e Reis (2017). As 54 espécies utilizadas para o agrupamento (Tabela 1) ocorrem naturalmente na Floresta Nacional do Tapajós - PA, município de Tucumã - PA, Estação experimental de Curuá-uma - PA, Belém - PA, região do Juruá Solimões - AM, Floresta Nacional de Caxiuanã - PA, município de Buriticupu - MA e Floresta Nacional do Jamari - RO.

As características tecnológicas utilizadas para a análise de agrupamento por espécie foram: densidade básica, contração (tangencial, radial e volumétrica), flexão estática, compressão paralela e perpendicular às fibras, dureza de Janka paralela e transversal, tração perpendicular às fibras, fendilhamento e cisalhamento.

Tabela 1 – Lista de espécies florestais da Amazônia estudadas.

Table 1– List of Amazonian forest species studied.

| Família | Nome vulgar | Nome científico | Código | Referências |
|---------------|----------------|--|--------|--|
| Fabaceae | Melancieira | <i>Alexa grandiflora</i> Ducke | E1 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Fabaceae | Garapa | <i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr. | E2 | Laboratório de Produtos Florestais (2016) |
| Anacardiaceae | Muiracatiara | <i>Astronium lecointei</i> Ducke | E3 | Laboratório de Produtos Florestais (2016) |
| Moraceae | Tatajuba | <i>Bagassa guianensis</i> Aubl. | E4 | Laboratório de Produtos Florestais (2016) |
| Bixaceae | Urucu-da-mata | <i>Bixa arborea</i> Huber | E5 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Meliaceae | Andiroba | <i>Carapa guianensis</i> Aubl. | E6 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Caryocaraceae | Pequiá | <i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers. | E7 | Laboratório de Produtos Florestais (2016) |
| Boraginaceae | Freijó-branco | <i>Cordia bicolor</i> A. DC. | E8 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Lecythidaceae | Tuari | <i>Couratari guianensis</i> Aubl. | E9 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Lecythidaceae | Tuari-branco | <i>Couratari stellata</i> A.C.Sm. | E10 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Fabaceae | Agelim-pedra | <i>Dinizia excelsa</i> Ducke | E11 | Laboratório de Produtos Florestais (2016) |
| Fabaceae | Cumarú | <i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd. | E12 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1988) |
| Humiriaceae | Uchi | <i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrec. | E13 | Laboratório de Produtos Florestais (2016) |
| Fabaceae | Fava-rosca | <i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth. | E14 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1988) |
| Vochysiaceae | Quarubarana | <i>Erisma uncinatum</i> Warm. | E15 | Laboratório de Produtos Florestais (2016) |
| Euphorbiaceae | Mirindiba-doce | <i>Glycydendron amazonicum</i> Ducke | E16 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1988) |
| Goupiaceae | Cupiúba | <i>Goupia glabra</i> Aubl. | E17 | Laboratório de Produtos Florestais (2016) |
| Fabaceae | Jatobá | <i>Hymenaea courbaril</i> L. | E18 | Lopes <i>et al.</i> (1983) |
| Bignoniaceae | Parapará | <i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don | E19 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Sapotaceae | Maçaranduba | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) A. Chev. | E20 | Laboratório de Produtos Florestais (2016) |
| Lauraceae | Itaúba | <i>Mezilaurus itauba</i> (Meisn.) Taub. ex Mez | E21 | Laboratório de Produtos Florestais (2016) |

Continua...

Tabela 1 – Continuação...

Table 1 – Continued...

| Família | Nome vulgar | Nome científico | Código | Referências |
|---------------|-----------------|--|--------|--|
| Fabaceae | Fava-tucupi | <i>Parkia multijuga</i> Benth. | E22 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Fabaceae | Timborana | <i>Pseudopiptadenia suaveolens</i> (Miq.) J. W. Grimes | E23 | Laboratório de Produtos Florestais (2016) |
| Araliaceae | Morototó | <i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire, Steyer. & Frodin | E24 | Laboratório de Produtos Florestais (2016) |
| Simaroubaceae | Marupá | <i>Simarouba amara</i> Aubl. | E25 | IBAMA (1997) |
| Bignoniaceae | Ipê | <i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) G. Nicholson | E26 | Laboratório de Produtos Florestais (2016) |
| Fabaceae | Tachi-vermelho | <i>Tachigali chrysophylla</i> (Poepp.) Zarucchi & Herend. | E27 | Laboratório de Produtos Florestais (2016) |
| Combretaceae | Cuiarana | <i>Terminalia amazonica</i> (J.F.Gmel) Exell. | E28 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Myristicaceae | Virola | <i>Virola michellii</i> Heckel | E29 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Apocynaceae | Amapá-amargoso | <i>Parahancornia amapa</i> (Huber) Ducke | E30 | IBAMA (1997) |
| Fabaceae | Angelim-da-mata | <i>Hymenolobium</i> sp. | E31 | IBAMA (1997) |
| Apocynaceae | Araracanga | <i>Aspidosperma desmanthum</i> Benth. ex Müll. Arg. | E32 | IBAMA (1997) |
| Fabaceae | Faveira | <i>Parkia oppositifolia</i> Spruce ex Benth. | E33 | IBAMA (1997) |
| Sapotaceae | Goiabão | <i>Pouteria pachycarpa</i> T.D. Penn. | E34 | IBAMA (1997) |
| Sapotaceae | Jará | <i>Pouteria</i> sp. | E35 | IBAMA (1997) |
| Rutaceae | Pau-amarelo | <i>Euxylophora paraensis</i> Huber | E36 | IBAMA (1997) |
| Salicaceae | Pau-jacaré | <i>Laetia</i> sp. | E37 | IBAMA (1997) |
| Lecythidaceae | Seru | <i>Allantoma lineata</i> (Mart. & O. Berg) Miers | E38 | IBAMA (1997) |
| Combretaceae | Taninbuca | <i>Buchenavia capitata</i> (Vahl) Eichler | E39 | IBAMA (1997) |
| Moraceae | Amapá-doce | <i>Brosimum parinarioides</i> Ducke | E40 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Burseraceae | Breu | <i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand | E41 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Fabaceae | Copaíba | <i>Copaifera duckei</i> Dwyer | E42 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |

Continua...

Tabela 1 – Conclusão...

Table 1 – Conclusion...

| Família | Nome vulgar | Nome científico | Código | Referências |
|---------------|-------------------------|--|--------|--|
| Combretaceae | Cuiarana | <i>Buchenavia huberi</i> Ducke | E43 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Fabaceae | Fava-bolota | <i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp. | E44 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Fabaceae | Faveira-tamboril | <i>Enterolobium maximum</i> Ducke | E45 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Boraginaceae | Freijó | <i>Cordia goeldiana</i> Huber | E46 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Boraginaceae | Freijó | <i>Cordia sagotti</i> I.M. Johnst. | E47 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Lauraceae | Itaúba | <i>Mezilaurus lindaviana</i> Schwacke & Mez | E48 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Salicaceae | Pau-jacaré | <i>Laetia procera</i> (Poepp.) Eichler | E49 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Vochysiaceae | Quaruba-verdadeira | <i>Vochysia maxima</i> Ducke | E50 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Malvaceae | Sumaúma | <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn. | E51 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Fabaceae | Tachi-preto | <i>Tachigali mymercophila</i> (Ducke) Ducke | E52 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Lecythidaceae | Tauari | <i>Couratari oblongifolia</i> Ducke & R. Knuth | E53 | Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (1981) |
| Moraceae | Muiratinga-folha-peluda | <i>Helicostylis pedunculata</i> Benoist. | E54 | Reis (2017) |

Para este trabalho foi utilizado a técnica de análise multivariada de conglomerado (Cluster analysis) com o propósito de agrupar as espécies, utilizando as suas características tecnológicas. Foi elaborado uma matriz X de dados dessas características tecnológicas, em que cada variável x_{ij} representou a i -ésima característica tecnológica classificada na j -ésima espécie. Nessa análise, as espécies foram classificadas de acordo com as características tecnológicas que cada uma tem de similar em relação a outras espécies pertencentes a determinado grupo. O grupo resultante dessa classificação deve exibir um alto grau de homogeneidade interna (within-cluster) e alta heterogeneidade externa (between-cluster).

A matriz X foi utilizada como input nas análises de agrupamento e discriminante. Foi utilizada a distância euclidiana simples e o método de Ward, com o emprego da equação (1):

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{h=1}^p (x_{hi} - x_{hj})^2} \quad (1)$$

Em que: = distância euclidiana estimada entre as espécies i e j ; = característica tecnológica da espécie i , = característica tecnológica da espécie j ; $h = 1, 2, \dots, p$.

Para a definição dos grupos de espécies, foi traçada uma linha de corte ou linha “fenon”, que é uma linha paralela ao eixo horizontal do dendrograma obtido da análise de agrupamento (SOUZA; SOUZA, 2006). A linha de “fenon” traçada para a separação dos grupos foi feita de forma arbitrária.

Foi utilizada uma análise discriminante para avaliar o agrupamento e obter uma função matemática denominada de regra de discriminação, utilizada para classificar novos elementos amostrais nos grupos já existentes. Na análise discriminante, a comparação do elemento amostral em relação aos grupos candidatos é, em geral, realizada através da construção de uma regra matemática de discriminação fundamentada na

teoria das probabilidades (MINGOTI, 2005). Para cada novo elemento amostral, a regra de discriminação permitirá ao manejador definir qual é a população de espécies comerciais mais prováveis de ter gerado seus valores numéricos nas características tecnológicas da madeira avaliada.

A equação ou função linear discriminante assemelha-se a uma equação de regressão múltipla, sendo composta pelas variáveis independentes que representam as características tecnológicas da madeira do elemento, que foram ponderadas pelo nível de sua importância ou impacto que causam no resultado ou variável dependente (MINGOTI, 2005; MARIO, 2014). Representada pela equação (2):

$$z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (2)$$

Em que: $Z = z$ é a variável dependente categórica, que indica uma pontuação ou escore discriminante; β_0 é o intercepto da função quando $X_i = 0$; β_i é o coeficiente discriminante ou a capacidade que cada variável independente tem em discriminar (o peso de cada uma na função); X_n = são os valores das variáveis independentes. A regra de classificação foi a função discriminante linear de Fisher.

Para testar a capacidade preditiva da discriminação, os dados foram divididos em treinamento e teste com o objetivo de analisar o poder de discriminação da equação em dados independentes. O treinamento foi realizado com 38 espécies (70%) e o teste com 16 espécies (30%). Foi realizada a análise de matriz de classificação, a estatística de Wilks' Lambda (U), a correlação canônica e o teste F (ANOVA). Foi utilizado o *software* Statistica 13 (STATSOFT, 2016) para as análises estatísticas de agrupamento e discriminante.

Resultados e Discussão

No dendrograma obtido pela análise de agrupamento, utilizando a distância euclidiana simples e o método de Ward, quando realizado um corte ou linha "fenon" na distância Euclidiana de 20%, as espécies madeireiras foram separadas em três grupos distintos (Figura 1).

O grupo I foi composto pelas espécies: *Apuleia leiocarpa*, *Astronium lecointei*, *Couratari stellata*, *Dinizia excelsa*, *Dipteryx odorata*, *Endopleura uchi*, *Enterolobium schomburgkii*, *Goupia glabra*, *Hymenaea courbaril*, *Manilkara huberi*, *Tabebuia serratifolia*, *Terminalia amazonica*, *Aspidosperma desmanthum*, *Pouteria pachycarpa*, *Pouteria sp.*, *Euxylophora paraensis*, *Laetia procera*, *Buchenavia capitata*, *Buchenavia huberi*, *Helicostylis pedunculata*, *Laetia sp.*, totalizando 21 espécies. O grupo II apresentou as espécies: *Alexa grandiflora*, *Bagassa guianensis*, *Carapa guianensis*, *Caryocar villosum*, *Cordia bicolor*, *Glycydendron amazonicum*, *Mezilaurus itauba*, *Pseudopiptadenia suaveolens*, *Schefflera morototoni*, *Tachigali chrysophylla*, *Virola michellii*, *Hymenolobium sp.*, *Allantoma lineata*, *Brosimum parinarioides*, *Protium heptaphyllum*, *Copaifera duckei*, *Mezilaurus lindaviana*, *Tachigali mymercophila*, totalizando 18 espécies e o grupo III foi constituído pelas espécies: *Bixa arborea*, *Couratari guianensis*, *Couratari oblongifolia*, *Erismia uncinatum*, *Jacaranda copaia*, *Parkia multijuga*, *Simarouba amara*, *Parahancornia amapa*, *Parkia oppositifolia*, *Parkia pendula*, *Enterolobium maximum*, *Cordia goeldiana*, *Cordia sagotti*, *Vochysia maxima*, *Ceiba pentandra*, totalizando 15 espécies.

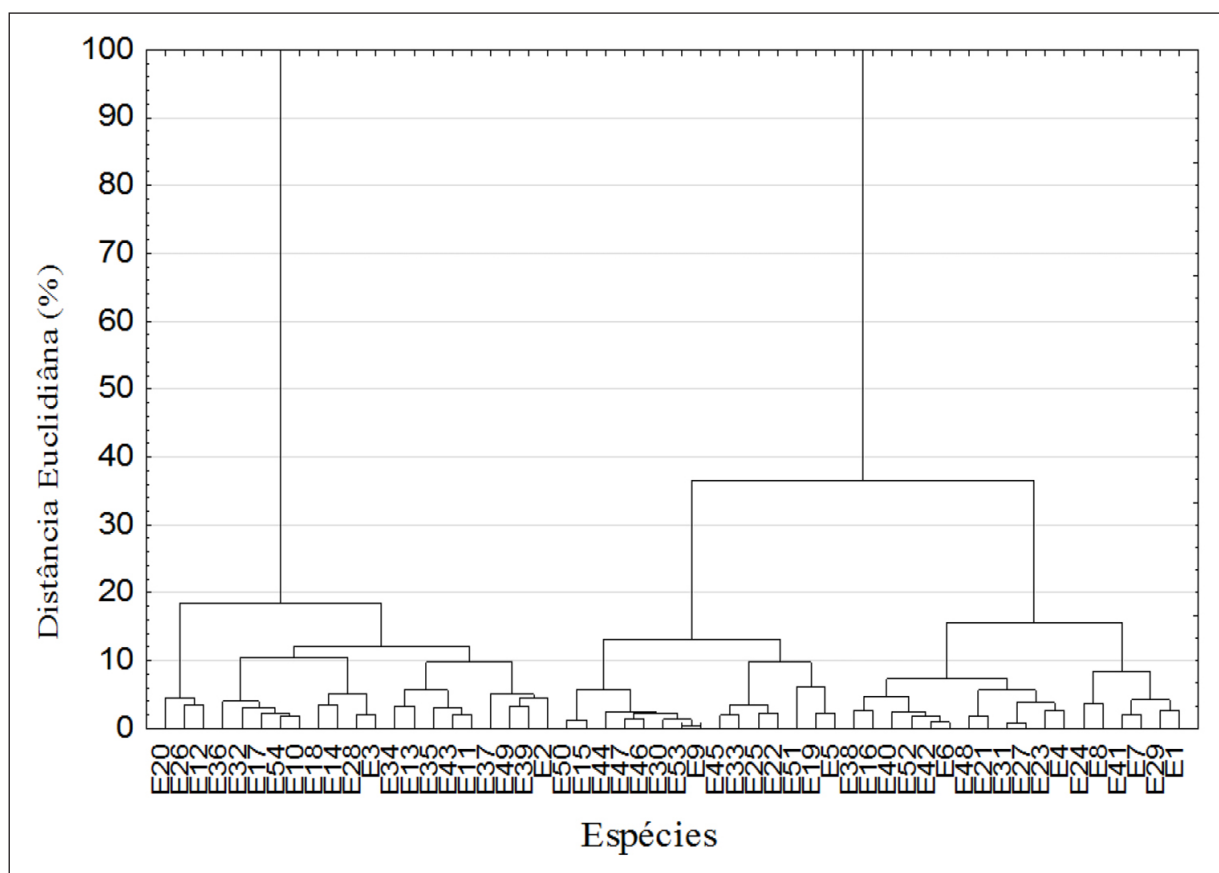
No grupo I, as espécies *Couratari stellata* e *Helicostylis pedunculata* apresentaram características tecnológicas que permitem a sua comercialização, de acordo com os resultados da análise de agrupamento, pertencem ao mesmo grupo das espécies mais comerciais da região amazônica como *Tabebuia serratifolia*, *Manilkara huberi* e *Hymenaea courbaril*, conhecidas principalmente pela boa qualidade da sua madeira e por possuírem alto valor comercial, como é o caso do ipê (*Tabebuia serratifolia*), considerada a espécie mais comercializada principalmente para o mercado internacional (PARÁ, 2015).

O grupo II foi composto por 18 espécies, incluindo as espécies *Carapa guianensis* e *Virola michellii*, que são espécies comerciais da região e de uso consolidado. Neste grupo a espécie *Tachigali chrysophylla*, pouco comercializada na região, apresentou características físicas e mecânicas da madeira semelhantes às de espécies comerciais consolidadas (PARÁ, 2015). O grupo III foi

constituído principalmente por espécies de rápido crescimento na floresta como *Ceiba pentandra*, *Parkia multijuga* e *Bixa arborea*.

Figura 1 – Dendrograma do agrupamento das espécies, a partir das características tecnológicas da madeira.

Figure 1 – Dendrogram of the grouping of the species, based on the wood technological characteristics.



A função discriminante 1 apresentou o coeficiente de correlação canônica de 0,96 e Wilks'Lambda igual a 0,0496, já a função 2 apresentou o coeficiente de correlação canônica 0,65 e Wilks'Lambda igual a 0,5792 (Tabela 2). A correlação canônica é utilizada para explicar a importância da função. Quando o valor dessa correlação é elevado ao quadrado, esta, se torna uma medida do poder explicativo da função, ou seja, a função 1 explica 91,44% da classificação, já a função 2 explica apenas 42,08%. O teste Wilks'Lambda (Tabela 2) varia de 0 a 1 e permite que sejam avaliadas as diferenças de médias entre os grupos, em relação a cada variável. Quanto menor o valor de Lambda, maior será a diferença entre as médias dos grupos, demonstrando que a função tem alta capacidade de discriminar os elementos entre os grupos.

O teste Wilks'Lambda (Tabela 2) pode ser utilizado para verificar quais variáveis foram determinantes para a separação dos grupos, ou seja, quanto menor o valor de Lambda, maior a importância da variável para a separação dos grupos. A variável com menor valor de Wilks'Lambda foi a densidade básica (0,759053), seguida do cisalhamento (0,802960) e da compressão paralela às fibras (0,825594). Na análise de variância (ANOVA), a única variável significativa a 95% de probabilidade foi a densidade básica (Tabela 2).

O percentual de acerto do treinamento para os três grupos que foram discriminados foi de 100% (Tabela 3), já o percentual do teste variou entre os grupos. Para o grupo I, o percentual de acerto do teste foi de 100%, para o grupo II foi de 83,3% e para o grupo III foi de 75%.

Tabela 2 – Função discriminante, teste Wilks’Lambda e análise de variância (ANOVA). FE-flexão estática; MR-máxima resistência; EP-esforço no limite proporcional.

Table 2 – Discriminant function, Wilks’Lambda test and analysis of variance (ANOVA). FE-static bending; MR-maximum strength; EP-effort in the proportional limit.

| Variáveis | Unidades | Função 1 | Função 2 | Teste Wilks | F | p-valor |
|---|-------------------------|------------|-----------|-------------|----------|----------|
| Intercepto | - | -14,916160 | 5,525566 | 0,673039 | 5,586685 | 0,010531 |
| Densidade básica | g/cm ³ | 16,969901 | -8,267818 | 0,759053 | 3,650448 | 0,041989 |
| Contração tangencial | % | -0,227443 | -1,083790 | 0,937347 | 0,768669 | 0,475176 |
| Contração radial | % | 0,250082 | -0,287920 | 0,982891 | 0,200183 | 0,819992 |
| Contração volumétrica | % | 0,643873 | 0,462242 | 0,926450 | 0,912978 | 0,415385 |
| FE (módulo de ruptura) | kgf/cm ² | 0,006869 | -0,005843 | 0,907041 | 1,178586 | 0,325620 |
| FE (módulo de elasticidade) | 1000kgf/cm ² | -0,047013 | 0,097682 | 0,874791 | 1,645992 | 0,214734 |
| Compressão paralela às fibras - MR | (kgf/cm ²) | -0,008167 | -0,019625 | 0,825594 | 2,429371 | 0,110360 |
| Compressão perpendicular às fibras - EP | (kgf/cm ²) | -0,006378 | 0,039967 | 0,913204 | 1,093025 | 0,351989 |
| Dureza Janka paralela | Kgf | 0,002069 | 0,003667 | 0,931489 | 0,845829 | 0,442122 |
| Dureza Janka transversal | Kgf | -0,004913 | 0,008171 | 0,889453 | 1,429296 | 0,259965 |
| Tração (perpendicular às fibras) - MR | (kgf/cm ²) | 0,014497 | 0,000389 | 0,993964 | 0,069835 | 0,932745 |
| Fendilhamento - MR | (kgf/cm ²) | -0,084314 | 0,055693 | 0,931804 | 0,841651 | 0,443846 |
| Cisalhamento - MR | (kgf/cm ²) | 0,058420 | -0,045959 | 0,802960 | 2,822010 | 0,080164 |
| Wilks’Lambda | - | 0,0496 | 0,5792 | - | - | - |
| Correlação canônica | - | 0,9563 | 0,6487 | - | - | - |
| (Correlação canônica) ² | - | 0,9144 | 0,4208 | - | - | - |

Tabela 3 – Percentual de acerto da análise discriminante em relação ao treinamento e teste dos dados.

Table 3 – Percentage of accuracy of discriminant analysis in relation to training and data test.

| Grupos | Treinamento | | | Teste | | | | |
|--------|----------------------|---------------|----|-------|----------------------|---------------|----|-----|
| | Percentual de acerto | Classificação | | | Percentual de acerto | Classificação | | |
| | | I | II | III | | I | II | III |
| I | 100 | 15 | 0 | 0 | 100,0 | 6 | 0 | 0 |
| II | 100 | 0 | 12 | 0 | 83,3 | 1 | 5 | 0 |
| III | 100 | 0 | 0 | 11 | 75,0 | 0 | 1 | 3 |
| Total | 100 | 15 | 12 | 11 | 87,5 | 7 | 6 | 3 |

Além destes coeficientes, foram calculados os coeficientes das funções de classificação (Tabela 4). Esses coeficientes são importantes para classificar novas espécies nos grupos I, II ou III. Para incluir uma espécie em um desses grupos é necessário multiplicar o valor de cada propriedade físico-mecânica por seu respectivo coeficiente e somar todos os valores. A espécie pertencerá ao grupo com o maior valor das funções dentre as funções de classificação.

Tabela 4 – Coeficientes das funções para classificação dos grupos.

Table 4 – Coefficients of functions for group classification.

| Variáveis | Unidades | Funções de classificação | | |
|------------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------|-------------|
| | | I | II | III |
| Intercepto | - | -264,624045 | -218,498719 | -154,307331 |
| Densidade básica | g.cm ³ | 404,289581 | 360,535369 | 273,629882 |
| Contração tangencial | % | -10,298237 | -7,637034 | -8,610078 |
| Contração radial | % | 8,260934 | 7,904581 | 6,326663 |
| Contração volumétrica | % | 16,371477 | 13,363700 | 11,454920 |
| FE (módulo de ruptura) | kgf/cm ² | 0,083112 | 0,069738 | 0,030096 |
| FE (módulo de elasticidade) | 1000kgf/cm ² | -1,072718 | -1,081375 | -0,706795 |
| Compressão paralela às fibras | (kgf/cm ²) MR | 0,007466 | 0,069518 | 0,069102 |
| Compressão perpendicular às fibras | (kgf/cm ²) EP | -0,349926 | -0,397499 | -0,298874 |
| Dureza Janka paralela | kgf | 0,102640 | 0,089186 | 0,086954 |
| Dureza Janka transversal | kgf | -0,325985 | -0,323350 | -0,287851 |
| Tração (perpendicular às fibras) | (kgf/cm ²) MR | -0,665984 | -0,716304 | -0,777208 |
| Fendilhamento | (kgf/cm ²) MR | 2,102357 | 2,294365 | 2,752306 |
| Cisalhamento | (kgf/cm ²) MR | 1,558377 | 1,438139 | 1,107651 |

As espécies que se destacaram neste estudo foram: *Helicostylis pedunculata*, *Couratari stellata* do grupo I e *Tachigali chrysophylla*, presente no grupo II, por apresentarem características tecnológicas semelhantes às das espécies mais comercializadas da região amazônica (PARÁ, 2015). Essas espécies apresentam distribuição diamétrica contínua e decrescente (REIS, 2017), esse comportamento demonstra que as espécies podem ser manejadas, pois possuem capacidade de suportar os impactos da colheita florestal e recuperar o estoque removido. Há números de indivíduos suficientes por classe de diamétrica para compensar os efeitos da mortalidade natural e suprir árvores para cortes seletivos (SOUZA; SOARES, 2013). *Helicostylis pedunculata*, *Couratari stellata*, *Tachigali chrysophylla* são potenciais para comercialização, pois possuem elevada densidade e distribuição diamétrica que favorece a recomposição florestal (REIS, 2017). Essas espécies podem substituir as espécies de maior valor comercial, com isso, diversificando o número de essências florestais colhidas, auxiliando na sustentabilidade da colheita florestal.

De acordo com a análise discriminante, a densidade básica, o cisalhamento e compressão paralela às fibras foram as variáveis determinantes para a separação dos grupos. Segundo Burger e Richter (1991), a densidade básica é a característica tecnológica mais importante da madeira, pois outras propriedades dependem estreitamente dessa característica. A resistência ao cisalhamento da madeira e a resistência a compressão no sentido das fibras têm grande relação com a densidade da madeira, sendo assim, com o aumento da densidade, maior a resistência da madeira ao cisalhamento e compressão paralela às fibras.

Diversos estudos ressaltam a alta correlação da resistência mecânica (propriedades mecânicas) com a densidade da madeira como descrito por Armstrong, Skaar e Zeeuw (1984), Uetimane Junior e Ali (2011), Abruzzi *et al.* (2012) e Protasio *et al.* (2012). Segundo Moraes Neto *et al.* (2009) quanto maior a densidade básica da madeira, maiores serão os parâmetros de resistência (módulo de ruptura à flexão estática, e as resistências à compressões paralela e perpendicular às fibras e cisalhamento).

A inclusão de uma nova espécie em um desses grupos é realizada de forma direta, apenas multiplicando o valor de cada propriedade físico-mecânica ao seu respectivo coeficiente. A finalidade de realizar uma análise discriminante é identificar as variáveis que discriminam os grupos e elaborar

previsões a respeito de novas observações, identificando assim, o grupo mais adequado ao qual ela deverá pertencer, em função de suas características (FAVERO *et al.*, 2009).

Conclusão

A análise de Cluster, pelo método de Ward e distância euclidiana simples, é eficiente para o agrupamento das espécies amazônicas. As espécies madeireiras estudadas foram separadas em três grupos distintos. Com destaque para as espécies *Helicostylis pedunculata* e *Couratari stellata* do grupo I e *Tachigali chrysophylla* pertencente ao grupo II. Estas espécies apresentaram características tecnológicas semelhantes às das principais espécies comerciais da Amazônia, e possuem condições favoráveis para a colheita, podendo ser substituídas das espécies comerciais consolidadas. A densidade básica, o cisalhamento e a compressão paralela às fibras foram as propriedades físico-mecânicas que apresentaram melhor relação para discriminar os grupos.

Referências

- ABRUZZI, R. C. *et al.* Relação das propriedades mecânicas e densidade de postes de madeira de eucalipto com seu estado de deterioração. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 6, p. 1173-1181, 2012.
- ADEODATO, S. *et al.* **Madeira de ponta a ponta**: o caminho desde a floresta até o consumo. São Paulo: FGV; ERA, 2011. 128 p.
- ARMSTRONG, J. P.; SKAAR, C.; ZEEUW, C. The effect of specific gravity on several mechanical properties of some world woods. **Wood Science and Technology**, [S.l.], v. 18, n. 2, p. 137-146, 1984.
- BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.
- FAVERO, L. P. *et al.* **Análise de dados**: modelagem multivariada para tomada de decisões. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. 368 p.
- IBAMA. **Madeiras da Amazônia**: características e utilização. Brasília: IBAMA, 1997. v. 3. 141 p.
- IBGE. **Mapa de biomas e vegetações**. [S.l]: IBGE, 2004. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtml#sub_pesquisa. Acesso em: 20 set. 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia**: características e utilização-Floresta Nacional do Tapajós. Brasília: CNPq, 1981. v. 1. 113 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia**: características e utilização-Estação Experimental de Curuá-Una. Brasília: DPq-LPF, 1988. v. 2. 236 p.
- LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. **A expansão madeireira na Amazônia**. Belém: IMAZON, 2011. Disponível em: <http://www.imazon.org.br/publicacoes/o-estado-da-amazonia/a-expansao-madeireira-na-amazonia-1>. Acesso em: 20 set. 2016.
- LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS. **Madeiras Brasileiras**. 2016. Disponível em: <http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/caracteristicas.php?ID=80&caracteristica=271>. Acesso em: 10 out. 2016.
- LOPES, C. A. C. *et al.* **Propriedades físico-mecânicas e usos comuns de 30 espécies de madeiras da Amazônia**. Belém: SUDAM, 1983. 97 p.
- MARIO, P. C. Análise discriminante. In: CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. A. **Análise multivariada**: para o curso de administração, ciências contábeis e economia. São Paulo: Atlas, 2014. p. 432-459.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 297 p.

MORAES NETO, S. P. *et al.* **Propriedades mecânicas da madeira de cinco procedências de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* implantadas no cerrado do distrito federal**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, v.251).

PARÁ. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade. **Comercialização total por destino das vendas**: 2015. Disponível em: <http://monitoramento.sema.pa.gov.br/sisflora/index.php/relatorios>. Acesso em: 20 set. 2016.

PROTASIO, T. P. *et al.* Correlações entre as propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados de diferentes espécies de *Eucalyptus*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 2, p. 123-132, 2012.

REIS, P. C. M. R. **Análise estrutural e propriedades tecnológicas da madeira de espécies da Amazônia**. 2017. 81 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.

SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Florestas nativas**: estrutura, dinâmica e manejo. Viçosa, MG: UFV, 2013. 322 p.

SOUZA, A. L.; SOUZA, D. R. Análise multivariada para estratificação volumétrica de uma Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme, Amazônia Oriental. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 49-54, 2006.

STATSOFT. **StatSoft. Stat.** Data Anal. Softw. Syst. 13. 2016. Disponível em: <http://www.statsoft.com/>.

UETIMANE JUNIOR, E.; ALI, A. C. Relationship between mechanical properties and selected anatomical features of Ntholo (*Pseudolachnostylis maprounaefolia*). **Journal of Tropical Forest Science**, [S.l.], v. 23, n. 2, p. 166-176, 2011.