

**PAMELLA CAROLLINE MARQUES DOS REIS REIS**

**ANÁLISE ESTRUTURAL E PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA  
MADEIRA DE ESPÉCIES DA AMAZÔNIA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2017

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

R375a  
2017  
Reis, Pamella Caroline Marques dos Reis, 1984-  
Análise estrutural e propriedades tecnológicas da madeira  
de espécies da Amazônia / Pamella Caroline Marques dos Reis  
Reis. – Viçosa, MG, 2017.  
xi, 81f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Agostinho Lopes de Souza.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Florestas - Administração. 2. Madeira - Exploração.  
3. Madeira - Amazônia. 4. Espécies. I. Universidade Federal de  
Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de  
Pós-graduação em Ciência Florestal. II. Título.

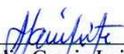
CDO adapt. CDD 634.968

**PAMELLA CAROLLINE MARQUES DOS REIS REIS**

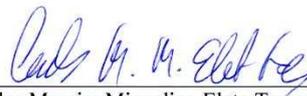
**ANÁLISE ESTRUTURAL E PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA  
MADEIRA DE ESPÉCIES DA AMAZÔNIA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 24 de março de 2017.



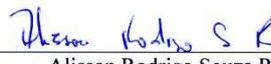
Heio Garcia Leite



Carlos Moreira Miquelino Eieto Torres



Antônio Lelis Pinheiro



Alisson Rodrigo Souza Reis



Agostinho Lopes de Souza  
(Orientador)

*A Deus por todo o amor e ao meu  
marido, amigo e eterno namorado  
Leonardo Pequeno Reis, eu dedico.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida, pela minha família, por todas as oportunidades, por todo o conhecimento e paciência, por todas as bênçãos e principalmente pela sua infinita misericórdia.

À Nossa Senhora, por sua intercessão e o seu grande exemplo de amor, fé e humildade.

Ao meu marido Leonardo Pequeno Reis, pelo amor, paciência, cumplicidade, por compartilhar comigo seus conhecimentos e por toda a sua dedicação.

Aos meus amados pais Fernando e Graça Reis e meu irmão Fernando Junior, por todo amor, incentivo e apoio incondicional.

Aos meus queridos sogros Ivanildo e Eliete Reis, por todo o apoio e incentivo.

Ao meu estimado orientador Professor Agostinho Lopes de Souza, pela orientação, por todo o conhecimento, apoio, confiança, amizade e tempo dedicado a este Trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF), pela oportunidade de realizar este curso e aprimorar meus conhecimentos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pelo apoio financeiro.

À minha querida coorientadora Professora Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho, por sua orientação, apoio e ajuda sempre que necessário.

Ao Pesquisador Dr. Lucas José Mazzei de Freitas, por toda a ajuda.

À Embrapa Amazônia Oriental, pelo apoio financeiro por meio do projeto Segundo Ciclo de Corte: EMBRAPA - 03.12.00.030.00.00 e CNPq 483831/2011-5.

Ao Professor Antônio Lelis Pinheiro (DEF-UFV), pela oportunidade de realizar estágio em ensino na disciplina Dendrologia e por todos os ensinamentos de grande ajuda para a minha formação.

Aos professores do Departamento de Engenharia Florestal (DEF-UFV), Helio Garcia Leite e Carlos Pedro Boechat Soares, por toda a ajuda, e à Professora Angélica de Cássia Oliveira Carneiro, pelo apoio no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM-DEF-UFV).

Aos professores que integraram a banca de defesa, Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres, Helio Garcia leite, Alisson Rodrigo Souza Reis, Antônio Lelis Pinheiro, pelas sugestões de grande ajuda para este Trabalho.

À todos os amigos da pós-graduação, pelas conversas produtivas e pelos momentos de descontração, em especial as amigas Lyvia Rego e Adriana Gomez.

À todos os funcionários do DEF-UFV, por toda a ajuda, em especial ao Alexandre, Dilson, Chiquinho, Verônica, Ademir, Gerônimo, Fernanda, Lawrence e Leila.

À todos, que de alguma forma colaboraram para a realização deste Trabalho.

***“Porém, chamastes-me,  
com uma voz tão forte,  
que rompestes a minha Surdez!  
Brilhastes, cintilastes,  
e logo afugentastes a minha cegueira!  
Exalastes Perfume:  
respirei-o, a plenos pulmões, suspirando por Vós.  
Saboreei-Vos  
e, agora, tenho fome e sede de Vós.  
Tocastes-me  
e ardi, no desejo da Vossa Paz.”***

*Confissões- Santo Agostinho*

***“Se vi mais longe foi por estar de pé sobre ombros de gigantes.”***

*Isaac Newton*

## RESUMO

REIS, Pamella Carolline Marques dos Reis, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2017. **Análise estrutural e propriedades tecnológicas da madeira de espécies da Amazônia.** Orientador: Agostinho Lopes de Souza. Coorientadora: Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho.

A colheita madeireira é uma das principais atividades econômicas da região amazônica. Existem vários estudos que comprovam a sustentabilidade da colheita realizada a partir de técnicas de manejo florestal sustentável. Contudo, para potencializar essa sustentabilidade é necessário a maior diversificação das espécies a serem colhidas. Uma possibilidade é a colheita e utilização no segundo ciclo de madeiras oriundas de espécies não tradicionais ou não comerciais no primeiro ciclo de corte, que podem compor a maior parte da volumetria das futuras colheitas. Um entrave ou obstáculo para a utilização dessas novas espécies são as poucas informações de suas propriedades tecnológicas e do seu estoque na floresta. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi promover as espécies não tradicionais para o uso. O trabalho foi dividido em quatro artigos. No primeiro artigo foi realizada análise estrutural de uma área de 64 ha localizada no Km-67 da Floresta Nacional do Tapajós. A floresta foi avaliada em 1981, um ano após a colheita, e em 2012, sendo analisados os parâmetros densidade ( $n \cdot ha^{-1}$ ), área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ), volume ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ) e distribuição diamétrica. Após 33 anos da colheita, a floresta manejada aumentou sua densidade, área basal e volume. Das 20 espécies com maior densidade em 2012, *Bixa arborea* Huber, *Helicostylis pedunculata* Benoist, *Couratari stellata* A. C. Sm., e *Tachigali chrysophylla* (Poepp.) Zarucchi & Herend. são potenciais para comercialização, pois além da elevada densidade, área basal e volume possuem distribuição diamétrica que favorece a recomposição florestal. O segundo estimou as propriedades físico-mecânicas de madeiras da Amazônia a partir da densidade básica, utilizando Redes Neurais Artificiais (RNA). As propriedades estimadas foram: contração (tangencial, radial e volumétrica), flexão estática, compressão paralela e perpendicular às fibras, dureza de Janka paralela e transversal, tração, fendilhamento e cisalhamento. A estimativa seguiu a tendência dos dados observados para as contrações tangencial, radial e volumétrica. A rede estimou com alta precisão as propriedades mecânicas. Em relação à distribuição dos erros, a flexão estática, compressão paralela e compressão perpendicular às fibras apresentaram maior precisão. Sendo assim, as Redes Neurais Artificiais podem ser utilizadas para estimar as

propriedades contração (tangencial, radial e volumétrica), flexão estática, compressão paralela e perpendicular às fibras, dureza Janka, tração, cisalhamento e fendilhamento, a partir da densidade básica. O terceiro artigo teve como objetivo agrupar espécies da Amazônia através das propriedades físico-mecânicas das madeiras e realizar a análise discriminante para saber quais características tecnológicas foram mais importantes para esse agrupamento. As propriedades físico-mecânicas utilizadas para o agrupamento 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. A análise de Cluster foi eficiente para o agrupamento das espécies. As espécies madeireiras estudadas foram separadas em três grupos distintos. As principais características físico-mecânicas utilizadas para discriminar os grupos foram: a densidade básica, o cisalhamento e a compressão paralela às fibras. No quarto artigo foi realizada a descrição anatômica da madeira de *Couratari stellata* A. C. Sm, estimativa das propriedades físico-mecânicas, determinação da densidade da madeira, poder calorífico, análise química imediata da madeira e do carvão, rendimento gravimétrico e determinação da friabilidade do carvão vegetal, com o objetivo de determinar as propriedades da madeira e do carvão dessa espécie. A madeira de *Couratari stellata* pode ser identificada a nível de espécie na microscopia através dos vasos/poros solitários, em arranjo diagonal, parênquima axial escasso e em linhas reticuladas, raios trisseriados, heterogêneos e presença de fibras septadas e não septadas. A madeira da espécie apresentou características favoráveis ao uso, podendo ser uma substituta de outras espécies com características semelhantes. O carvão de *Couratari stellata* pode ser utilizado para o uso doméstico.

## ABSTRACT

REIS, Pamella Carolline Marques dos Reis, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2017. **Structural analysis and wood technological properties of species of the Amazon.** Adviser: Agostinho Lopes de Souza. Co-adviser: Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho.

Logging is one of the main economic activities in the Amazon region. There are several studies that prove the sustainability of logging based on sustainable forest management techniques. However, to enhance such sustainability, there needs to be a greater diversity of species for logging purposes. One possibility is to log and use second-cycle wood from non-traditional or non-commercial species in the first cutting cycle, which may comprise the majority of the volume of future logging. An impediment or obstacle to using these new species is lack of information on their technological properties and their forest stock. Therefore, the objective of this work was to promote the use of non-traditional species. The work was divided into four articles. In the first article, a structural analysis was made of an area measuring 64 ha by Km-67 of Tapajos National Forest. The forest was evaluated in 1981, a year after logging, and in 2012. The following parameters were analyzed: density ( $n \cdot ha^{-1}$ ), basal area ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ), volume ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ) and diametric distribution. Thirty-three years after logging, there were increases in the managed forest increased for density, basal area, volume and diametric distribution. Out of the 20 species with the highest density in 2012: *Bixa arborea* Huber, *Helicostylis pedunculata* Benoist, *Couratari stellata* A. C. Sm., and *Tachigali chrysophylla* (Poepp.) Zarucchi & Herend have a potential market, because in addition to high density, basal area and volume, they have diametric distribution that favors the forest recovery. The second article estimated the physical-mechanical properties of Amazonian wood based on basic density, using Artificial Neural Networks (RNA). The estimated properties were: basic density, contraction (tangential, radial and volumetric), static flexion, compression parallel and perpendicular to grain, Janka hardness parallel and cross-sectional to grain, traction perpendicular to grain, cracking and shearing. The estimate followed the trend of the observed data for tangential, radial and volumetric contractions. The network estimated the mechanical properties with high accuracy. Regarding the distribution of errors, static flexion, and compression parallel and perpendicular to grain presented greater accuracy. Therefore, Artificial Neural Networks can be used to estimate the properties: contraction (tangential, radial and volumetric), static flexion, compression parallel and perpendicular to grain, Janka

hardness, traction, shearing and cracking, based on basic density. The third article had the objective of clustering Amazonian species by physical-mechanical properties of the woods and make a discriminant analysis to find which technological properties were most important for the clusters. The physical-mechanical properties used for the clustering were: basic density, contraction (tangential, radial and volumetric), static flexion, compression parallel and perpendicular to grain, Janka hardness parallel and cross-sectional to grain, traction perpendicular to grain, cracking and shearing. Cluster analysis was efficient for the clustering of the species. The study wood species were separated into three distinct groups. The main physical-mechanical properties used to discriminate the groups were: basic density, shearing and compression parallel to grain. The fourth article reported the anatomical description of wood from *Couratari stellata* A. C. Sm., estimation of its physical-mechanical properties, determination of wood density, heating value, immediate chemical analysis of wood and charcoal, determination of gravimetric yield and friability of charcoal, with the purpose of determining the properties for wood and charcoal of this species. Wood from *Couratari stellata* can be identified at the species level through microscopy by solitary vessels/pores, diagonal arrangement, scarce axial parenchyma and in reticulated lines, heterogeneous, multiseriate rays and presence of septate fibers. The wood of the species presented characteristics that favor its use, hence it can replace other species with similar properties. Charcoal from *Couratari stellata* can be applied for domestic use.

## SUMÁRIO

1-INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2-OBJETIVO GERAL.....	3
2.1- Objetivos específicos: .....	3
3-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	4
ARTIGO I.....	5
ESTRUTURA DA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS APÓS 33 ANOS DA COLHEITA MADEIREIRA.....	5
1- INTRODUÇÃO .....	6
2- MATERIAL E MÉTODOS .....	7
3- RESULTADOS.....	8
3.1 Composição florística .....	8
3.2 Distribuição diamétrica.....	11
4- DISCUSSÃO.....	15
5- CONCLUSÃO .....	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	16
ARTIGO II.....	19
ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE MADEIRAS DE SEGUNDO CICLO DE CORTE, UTILIZANDO DE REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS .....	19
1-INTRODUÇÃO .....	20
2-MATERIAL E MÉTODOS .....	21
3-RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
4-CONCLUSÃO .....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	31
ARTIGO III.....	36
INDICAÇÃO DE NOVAS ESPÉCIES MADEIREIRAS, COMO ALTERNATIVA PARA DIMINUIR A SUPEREXPLORAÇÃO DAS ESPÉCIES TRADICIONAIS DA AMAZÔNIA.....	36
1-INTRODUÇÃO .....	37
2-MATERIAL E MÉTODOS .....	38
3-RESULTADOS.....	42
4-DISCUSSÃO.....	46
5-CONCLUSÃO .....	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48

ARTIGO IV .....	51
PROPRIEDADES DA MADEIRA E DO CARVÃO DE <i>Couratari stellata</i> A. C. SM	51
1- INTRODUÇÃO .....	52
2- MATERIAL E MÉTODOS .....	54
2.1. Material utilizado para análise .....	54
2.2. Caracterização anatômica da madeira.....	54
2.3. Propriedades físicas e mecânicas .....	55
2.4. Carbonização da madeira.....	56
2.5. Poder calorífico da madeira e do carvão.....	56
2.6. Análise química imediata da madeira e do carvão .....	57
3-RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	57
3.1 Caracterização macro e microscópica.....	57
3.2. Propriedades físicas e mecânicas da madeira .....	60
3.3. Rendimento gravimétrico e friabilidade do carvão vegetal .....	62
3.4. Análise química imediata e poder calorífico da madeira e do carvão vegetal..	63
4-CONCLUSÕES.....	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	66
CONCLUSÕES FINAIS.....	75
APÊNDICE I. Lista das espécies utilizadas para a estimativa e os valores das características físicas e mecânicas. ....	76

## 1-INTRODUÇÃO GERAL

A floresta Amazônica tem importância reconhecida nacional e internacionalmente, principalmente devido sua larga extensão e enorme diversidade de ambientes, com mais de 600 tipos diferentes de habitats terrestres e de água doce, o que resulta numa riquíssima biodiversidade, com cerca de 45.000 espécies de plantas e vertebrados (SFB, 2013). O bioma Amazônia estende-se ao longo de nove países da América do Sul, por uma área de 6,4 milhões de quilômetros quadrados, sendo o Brasil o detentor de 63% desse bioma, com uma área de 4 milhões de quilômetros quadrados (PEREIRA et al., 2010). Além de sua importância ecológica, a floresta amazônica tem grande potencial econômico, principalmente no setor madeireiro. Segundo a Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS), em 2015, a renda obtida pela venda de madeiras no estado do Pará foi de aproximadamente 369 milhões de reais, sendo comercializado 2 milhões de metros cúbicos de madeira.

A problemática em relação a produção madeireira na Amazônia está na procura desenfreada e insistente por espécies consolidadas, com isso, crescendo a pressão sobre as espécies mais comerciais, ocasionando a redução drástica na densidade populacional, tornando-as raras. Para evitar essa situação, é importante promover comercialmente novas espécies.

A comercialização de madeira de segunda linha (potenciais ou sem mercado consolidado) poderia aumentar a receita por hectare entre 40% e 50% no manejo florestal (ADEODATO et al., 2011). Segundo Almeida et al. (2010) existe um grande esforço de entidades de pesquisa em analisar as características físicas das madeiras de espécies desconhecidas do mercado ou de baixo valor comercial, para substituir as espécies de maior valor comercial. Entretanto, há dificuldades para se explicar a substituíbilidade entre as madeiras tropicais no mercado internacional com base apenas em características físicas.

Quando se aborda espécies de floresta nativa, o estoque de crescimento é um critério de grande importância na escolha da espécie a ser colhida. Pois adequados níveis de estoques de regeneração, crescimento e distribuição diamétrica favorável, são indicadores de que se pode colher de forma a não extinguir e nem causar problemas na reprodução da espécie.

Para minimizar os problemas de escassez de determinadas espécies, é necessário que o mercado consumidor de madeiras trabalhe com as espécies que a floresta tem a oferecer. Para isso, é importante considerar diversos fatores como, a disponibilidade da espécie na floresta (densidade-árvore por ha), sua distribuição diamétrica e suas propriedades tecnológicas. As determinações das características físicas e mecânicas das madeiras são importantes para decidir sobre o seu uso adequado, com isso, aumentando o número de espécies a serem utilizadas e diminuindo a pressão sobre as mais comerciais. Isso favorece 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. Também é necessário, para a adoção de novas espécies madeiras, que essas informações cheguem aos comercializadores de madeiras. Não se pode esquecer do aproveitamento de madeiras oriundas de resíduos da colheita florestal (Ribeiro et al., 2014; Ribeiro et al., 2016) e de tratamentos silviculturais.

É importante ressaltar que apesar do consumidor ter grande poder de influência sobre a escolha das espécies comerciais, na prática essa decisão é feita por representantes comerciais e atravessadores, que geralmente usam a aparência da madeira (cor, desenho, grã) e a disponibilidade de toras como parâmetro de seleção.

Para atender o objetivo de promover novas espécies passíveis de serem colhidas, diversificando a oferta de madeiras ocorrentes na região Amazônica. A tese foi organizada em quatro artigos:

Artigo I: Estrutura da Floresta Nacional do Tapajós após 33 anos da colheita madeira.

Artigo II: Estimativa das propriedades físicas e mecânicas de madeiras de segundo ciclo de corte, utilizando de Redes neurais artificiais.

Artigo III: Indicação de novas espécies madeiras, como alternativa para diminuir a superexploração das espécies comerciais da Amazônia.

Artigo IV: Propriedades da madeira e do carvão de *Couratari stellata* A. C. Sm (Lecythidaceae).

## 2-OBJETIVO GERAL

Promover novas espécies madeireiras com a finalidade de substituir aquelas mais colhidas e ampliar o número de espécies comerciais da Amazônia.

### 2.1- Objetivos específicos:

- Analisar a estrutura horizontal e a distribuição diamétrica de uma floresta no leste da Amazônia, após a primeira colheita (1981) e antes da segunda colheita (2012), para verificar quais são as espécies potenciais para futuras colheitas;
- Estimar as propriedades físicas e mecânicas de madeiras de segundo ciclo de corte da Amazônia, utilizando redes neurais artificiais;
- Agrupar as espécies da Amazônia através das propriedades físicas e mecânicas da madeira e realizar a análise discriminante para saber quais características tecnológicas são mais importantes para esse agrupamento;
- Analisar as propriedades da madeira e do carvão de *Couratari stellata* (Lecythidaceae).

### 3-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEODATO, S.; VILLELA, M.; BETIOL, L.S.; MONZONI, M. **Madeira de ponta a ponta: o caminho desde a floresta até o consumo**. São Paulo: FGV ERA, 2011. 128 p.

ALMEIDA, N. A.; ANGELO, H.; SILVA, J. C. G. L.; HOEFLICH, V. A. Mercado de madeiras tropicais: substituição na demanda de exportação. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 119 -126, 2010.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. **Fatos florestais da Amazônia 2010**. Belém: Imazon, 2010. 124 p.

RIBEIRO, R. B. S.; GAMA, J. R. V.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. L.; SOARES, C. P. B.; SILVA, G. F. Métodos para estimar o volume de fustes e galhos na Floresta Nacional do tapajós. **Árvore**, Viçosa, v. 40, n. 1, 81-88, 2016.

RIBEIRO, R. B. S.; GAMA, J. R. V.; MELO, L. O. Seccionamento para cubagem e escolha de equações de volume para a Floresta Nacional do Tapajós. **Cerne**, Lavras, v.20, n. 4, p. 605-612, 2014.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE (SEMAS-PA). **Comercialização Total por Destino das Vendas: 2015**. Disponível em:<<http://monitoramento.sema.pa.gov.br/sisflora/index.php/relatorios>>. Acesso em: 20/09/2016.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Florestas do Brasil em resumo - 2013: dados de 2007-2012**. Serviço Florestal Brasileiro. Brasília: SFB, 2013.

## ARTIGO I

### ESTRUTURA DA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS APÓS 33 ANOS DA COLHEITA MADEIREIRA

**RESUMO** - A colheita madeireira é uma das principais atividades econômicas da região amazônica, sendo necessários estudos que comprovem sua sustentabilidade. Para isso, na Floresta Nacional do Tapajós foi instalado um experimento, em 1981, com o objetivo de monitorar a floresta após a colheita para comprovar a sua viabilidade. A floresta foi avaliada em 1981, um ano após a colheita, e em 2012, sendo analisados os parâmetros densidade ( $n \cdot ha^{-1}$ ), área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ) e volume ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ) no período de 33 anos, além da distribuição diamétrica. Após 33 anos da colheita, a floresta manejada aumentou sua densidade, área basal e volume, mesmo com uma colheita mais intensa do que é previsto na legislação atual. Das 20 espécies com maior densidade em 2012: *Bixa arborea* Huber, *Helicostylis pedunculata* Benoist, *Couratari stellata* A. C. Sm., e *Tachigali chrysophylla* (Poepp.) Zarucchi & Herend. são potenciais para comercialização, pois além da elevada densidade, área basal e volume possuem distribuição diamétrica que favorece a recomposição florestal. Cabe destacar que *Bixa arborea*, *Rinorea guianensis* Aubl. e *Protium apiculatum* Swart, que apresentaram as maiores densidades em 2012, não foram colhidas em 1979 e já possuíam alta densidade na área.

Palavras-chaves: Floresta Equatorial; Manejo Florestal; Potencial madeireiro

### STRUCTURE OF THE TAPAJOS NATIONAL FOREST AFTER 33 YEARS OF LOGGING

**ABSTRACT** - Logging is one of the main economic activities of the Amazon region, and studies are needed to prove its sustainability. For this purpose, an experiment was set up in the Tapajos National Forest in 1981 in order to monitor the forest after logging to prove its viability. The forest was evaluated in 1981, one year after logging, and in 2012. The following parameters were analyzed: density ( $n \cdot ha^{-1}$ ), basal area ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ) and volume ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ) in the period of 33 years, as well as diameter distribution. Thirty-three years after logging, density, basal area and volume increased in the managed forest,

even with more intense logging than allowed in the current legislation. Out of the 20 species with the highest density in 2012, *Bixa arborea* Huber, *Helicostylis pedunculata* Benoist, *Couratari stellata* A. C. Sm., and *Tachigali chrysophylla* (Poepp.) Zarucchi & Herend have a potencial market because they have high density, basal area and volume in addition to diametric distribution that favors forest recovery. It should be noted that *Bixa arborea*, *Rinorea guianensis* Aubl. and *Protium apiculatum* Swart, which had the highest densities in 2012, were not logged in 1979 and already had high density in the area.

Keywords: Equatorial Forest; Forest management; Potential timber

## 1- INTRODUÇÃO

O bioma Amazônia estende-se ao longo de nove países da América do Sul, por uma área de 6,4 milhões de quilômetros quadrados, sendo o Brasil o detentor de 63% desse bioma, com uma área de 4 milhões de quilômetros quadrados (PEREIRA et al., 2010). Sua importância é reconhecida nacional e internacionalmente. Isso se deve principalmente à sua larga extensão e enorme diversidade de ambientes, com mais de 600 tipos diferentes de habitats terrestres e de água doce, o que resulta numa riquíssima biodiversidade, com cerca de 45.000 espécies de plantas e vertebrados (SFB, 2013).

Além de sua importância ecológica, a floresta amazônica tem grande potencial econômico. A receita bruta estimada da indústria madeireira na região amazônica em 2009 foi de R\$ 4,94 bilhões. Desse total, o setor madeireiro do Estado do Pará contribuiu com 44%, seguido de Mato Grosso, com 32% e Rondônia, com 14%, gerando 204 mil empregos diretos e indiretos (PEREIRA et al., 2010; REIS et al., 2014).

Deve-se, entretanto, analisar qual a melhor forma de utilizar os recursos da floresta de forma sustentável. Segundo Reis et al. (2010), o manejo florestal é a forma de garantir o uso dos recursos racionalmente, a manutenção da biodiversidade e sustentar a indústria madeireira que, ainda, é um dos maiores geradores de renda na região Norte. Segundo Whitmore (1997), um dos maiores impactos sobre a floresta tropical, é a extração seletiva de madeira, a qual altera, mas não destrói a floresta. Sendo que a alteração da cobertura natural da floresta e a criação de clareiras, pela queda e remoção de árvores, assemelham-se à dinâmica natural das florestas.

O manejo sustentável da floresta amazônica requer estudos sobre o seu comportamento face à extração dos diversos produtos dela oriundos. Compreender como as espécies se comportam, ajuda a tomada de decisões sobre como conduzir a floresta (REIS et al., 2014). É necessário que haja estudos sobre a estrutura das florestas ao longo do seu ciclo de corte, visando acompanhar a composição florística e demais parâmetros fitossociológicos.

O objetivo desse trabalho foi analisar a estrutura da floresta após a primeira colheita, em 1981 e 2012, antes da segunda colheita, para verificar quais espécies são potenciais para futuras colheitas.

## **2- MATERIAL E MÉTODOS**

A área de estudo está localizada na Floresta Nacional do Tapajós, à altura do km 67 (55° 00' W, 2° 45' S) da Rodovia BR-163, Cuiabá-Santarém. Abrange o bioma Amazônia e a tipologia é Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme e, segundo Dubois (1976), é classificada como floresta alta sem babaçu (*Orbignya barbosiana* Burret).

O clima é tropical úmido com temperatura média anual de 25°C, classificado como Ami pelo sistema de Köppen (CARVALHO, 1980; REIS et al., 2010). A umidade relativa média é de 86% e a precipitação anual média é superior a 2.100 mm. Apresenta topografia plana a ondulada, com ocorrência de solo tipo Latossolo Amarelo Distrófico (COSTA FILHO et al., 1980; REIS et al., 2010).

Segundo Costa Filho et al. (1980) e Reis et al. (2010) em 1945 foram exploradas seletivamente quatro espécies de alto valor comercial na área de estudo: Pau-rosa (*Aniba roseodora* Ducke), Maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev.), Freijó (*Cordia goeldiana* Huber) e Cedro (*Cedrela odorata* L.). Na mesma área, em 64 ha, no ano de 1975, foi realizado inventário a 100% de intensidade (Censo florestal) das espécies madeireiras com DAP  $\geq 15$  cm e, posteriormente, em 1979 foi realizada colheita intensiva de 64 espécies madeireiras, as quais acumularam em média um volume explorado de 72,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

A colheita foi executada sob dois tratamentos: corte de todas as árvores com DAP  $\geq 45$  cm em 39 ha; e corte das árvores com DAP  $\geq 55$  cm em 25 ha (COSTA FILHO et al., 1980). Em 1981 foram instaladas, aleatoriamente, 36 parcelas permanentes (50 m x 50 m) na área de estudo. Nessas parcelas, todas as plantas com DAP  $\geq 5$  cm foram identificadas botanicamente in loco ou, em caso de dúvida, foram coletadas amostras

para posterior identificação no Herbário IAN da Embrapa Amazônia Oriental. As remedições nas parcelas foram efetuadas nos anos de 1982, 1983, 1985, 1987, 1992, 1997, 2007 e 2012 (REIS et al., 2010).

Foram analisados os seguintes parâmetros: a densidade (N, em árvores ha<sup>-1</sup>), a área basal (G, em m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>), o volume (V, em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) e a distribuição diamétrica das espécies. Estas variáveis foram avaliadas nos seguintes anos: em 1981, primeiro inventário amostral após a colheita de 1979; e em 2012. Foram analisadas as 20 espécies com maior densidade em 1981 e as 20 espécies com maior densidade em 2012.

Os volumes de madeira foram calculados pelas equações propostas por Silva e Araújo (1984) e Silva et al. (1984) para árvores com diâmetros de 20 cm a 45 cm ( $V = -0,0994 + (9,1941) 10^{-4} d^2$ , com  $R^2 = 0,96$ ) e para diâmetros acima de 45 cm ( $\ln V = -7,62812 + 2,18090 \ln d$ , com  $R^2 = 0,84$ ). Onde: V= Volume comercial com casca; d = DAP de cada árvore (medição tomada a 1,30 m do solo) e; ln = Logaritmo natural (REIS et al., 2010).

Aplicou-se o teste- t para amostras pareadas para verificar o efeito da colheita florestal na comunidade remanescente. Para a aplicação do teste- t foi realizado o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov.

A significância estatística para a distribuição diamétrica entre os diferentes levantamentos foi verificada pelo teste Qui-quadrado ( $\chi^2$ ), ao nível de 5% de significância. Agrupou-se as classes subsequentes que apresentavam frequência menor que cinco.

Esse trabalho visou promover novas espécies passíveis de serem colhidas, para aumentar a diversificação da oferta de madeiras ocorrentes na região do Tapajós e para isso, foi considerado como primeiro fator de promoção a alta densidade (árvores por hectare), seguido da análise da distribuição diamétrica para observar se o estoque da espécie na floresta é favorável à colheita, levando também em consideração se a espécie não é comercializada tradicionalmente na região de Santarém.

### **3- RESULTADOS**

#### **3.1 Composição florística**

Nos 9 ha amostrados, em 1981, a comunidade possuía 8.314 árvores com DAP $\geq$  5 cm (923,8 arv. ha<sup>-1</sup>), com área basal de 20,3187m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> e o volume total de 161,6662 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Em 2012 a comunidade apresentou 10.453 árvores com DAP $\geq$  5 cm (1.161,4

arv. ha<sup>-1</sup>), área basal de 30,4228 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> e volume total de 270,6402 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> (Tabela 1). Verificando-se aumento de 24,5% da densidade, 49,7% da área basal e 64,4% do volume no período avaliado. Para todas as variáveis (N, G e V) houve diferença significativa (*p*-valor < 0,01) entre os anos de 1981 e 2012. Em 1981 existiam 284 espécies na área amostral e em 2012 foram registradas 305 espécies.

Dentre as espécies analisadas, destacam-se: *Bixa arborea* Huber e *Rinorea guianensis* Aubl. com maior densidade em 2012 e que já possuíam alta densidade desde 1981; e *Protium apiculatum* Swart com a terceira maior densidade em 2012. Estas espécies em 2012 representaram 14,63% da densidade total da comunidade.

As espécies com maiores volumes da comunidade foram *Bixa arborea*, *Carapa guianensis* Aubl. e *Tachigali chrysophylla*, representando juntas 21,7% do volume total da comunidade. As espécies com maior incremento em volume foram *Cecropia distachya* Huber, *Protium apiculatum* e *Tachigali chrysophylla*. Já *Miconia* sp. e *Ocotea opifera* Mart. apresentaram redução do seu volume em mais de 80%.

Tabela 1. Densidade (N- árvores ha<sup>-1</sup>), área basal (G- m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>), volume (V- m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) das espécies da Flona Tapajós mais abundantes em 1981 e 2012.

Espécies	Ano	<50				≥50				Total			
		N	G	V	V%	N	G	V	V%	N	G	V	V%
<i>Bixa arborea</i>	1981	39,8	0,924	6,904	6,363	0,2	0,0524	0,6704	1,261	40,0	0,977	7,574	4,7
	2012	60,3	2,320	20,606	13,760	1,3	0,3385	4,3602	3,607	61,7	2,658	24,966	9,2
<i>Rinorea guianensis</i>	1981	51,1	1,263	8,286	7,637	-	-	-	-	51,1	1,263	8,286	5,1
	2012	54,8	1,220	8,840	5,903	-	-	-	-	54,8	1,220	8,840	3,3
<i>Protium apiculatum</i>	1981	16,3	0,202	0,529	0,487	-	-	-	-	16,3	0,202	0,529	0,3
	2012	53,2	0,750	4,458	2,977	0,2	0,0518	0,6608	0,547	53,4	0,802	5,119	1,9
<i>Virola michellii</i>	1981	11,1	0,420	3,819	3,519	-	-	-	-	11,1	0,420	3,819	2,4
	2012	46,4	0,610	3,688	2,463	0,9	0,2240	2,8839	2,386	47,3	0,834	6,572	2,4
<i>Inga spp</i>	1981	53,1	0,434	1,658	1,528	0,1	0,0238	0,3013	0,567	53,2	0,457	1,959	1,2
	2012	26,6	0,375	2,126	1,420	-	-	-	-	26,6	0,375	2,126	0,8
<i>Aparasthmium cordatum</i>	1981	9,1	0,044	0,078	0,072	0,1	0,0694	0,9693	1,823	9,2	0,113	1,047	0,6
	2012	26,2	0,176	0,206	0,138	-	-	-	-	26,2	0,176	0,206	0,1
<i>Miconia panicularis</i>	1981	13,0	0,162	0,743	0,685	-	-	-	-	13,0	0,162	0,743	0,5
	2012	23,9	0,122	0,051	0,034	-	-	-	-	23,9	0,122	0,051	0,0
<i>Protium altsonii</i>	1981	37,6	0,698	3,838	3,538	-	-	-	-	37,6	0,698	3,838	2,4
	2012	23,8	0,600	4,460	2,979	-	-	-	-	23,8	0,600	4,460	1,6
<i>Pouteria macrophylla</i>	1981	33,3	0,584	2,984	2,750	-	-	-	-	33,3	0,584	2,984	1,8
	2012	23,3	0,367	1,648	1,100	-	-	-	-	23,3	0,367	1,648	0,6
<i>Virola elongata</i>	1981	6,1	0,073	0,260	0,240	-	-	-	-	6,1	0,073	0,260	0,2

	2012	22,1	0,215	0,569	0,380	-	-	-	-	22,1	0,215	0,569	0,2
<i>Coussarea paniculata</i>	1981	27,7	0,258	0,096	0,089	-	-	-	-	27,7	0,258	0,096	0,1
	2012	19,6	0,175	0,125	0,084	-	-	-	-	19,6	0,175	0,125	0,0
<i>Helicostylis pedunculata</i>	1981	5,0	0,145	1,226	1,130	-	-	-	-	5,0	0,145	1,226	0,8
	2012	19,0	0,192	0,950	0,634	0,2	0,0465	0,5876	0,486	19,2	0,239	1,537	0,6
<i>Couratari stellata</i>	1981	16,6	0,320	2,123	1,957	1,0	0,4003	5,4239	10,202	17,6	0,721	7,547	4,7
	2012	18,0	0,332	2,100	1,402	1,0	0,4016	5,4552	4,512	19,0	0,734	7,555	2,8
<i>Pausandra trianae</i>	1981	10,0	0,081	0,154	0,142	-	-	-	-	10,0	0,081	0,154	0,1
	2012	18,8	0,126	0,268	0,179	-	-	-	-	18,8	0,126	0,268	0,1
<i>Carapa guianensis</i>	1981	18,7	0,770	7,080	6,525	0,1	0,0230	0,2901	0,546	18,8	0,793	7,370	4,6
	2012	15,9	0,862	8,551	5,710	2,4	0,6908	9,0112	7,454	18,3	1,553	17,562	6,5
<i>Eschweilera coriacea</i>	1981	16,4	0,286	1,501	1,384	-	-	-	-	16,4	0,286	1,501	0,9
	2012	16,0	0,313	1,872	1,250	0,1	0,0241	0,3051	0,252	16,1	0,337	2,177	0,8
<i>Tachigali chrysophylla</i>	1981	9,4	0,267	2,294	2,114	-	-	-	-	9,4	0,267	2,294	1,4
	2012	12,0	0,206	1,340	0,895	2,4	1,0803	14,7871	12,232	14,4	1,287	16,127	6,0
<i>Eschweilera grandiflora</i>	1981	10,4	0,353	2,722	2,509	0,1	0,0249	0,3166	0,596	10,6	0,378	3,039	1,9
	2012	12,9	0,456	3,800	2,538	0,1	0,0316	0,4112	0,340	13,0	0,487	4,212	1,6
<i>Cordia bicolor</i>	1981	9,1	0,197	1,564	1,441	-	-	-	-	9,1	0,197	1,564	1,0
	2012	12,0	0,213	0,897	0,599	0,3	0,0793	1,0153	0,840	12,3	0,292	1,912	0,7
<i>Brosimum discolor</i>	1981	2,3	0,033	0,123	0,113	-	-	-	-	2,3	0,033	0,123	0,1
	2012	12,2	0,110	0,396	0,265	-	-	-	-	12,2	0,110	0,396	0,1
<i>Guatteria poeppigiana</i>	1981	11,0	0,199	1,406	1,295	-	-	-	-	11,0	0,199	1,406	0,9
	2012	10,2	0,147	0,899	0,600	0,4	0,1057	1,3531	1,119	10,7	0,253	2,252	0,8
<i>Amphirrhox longifolia</i>	1981	15,4	0,064	-	-	-	-	-	-	15,4	0,064	-	-
	2012	10,3	0,036	-	-	-	-	-	-	10,3	0,036	-	-
<i>Ocotea neesiana</i>	1981	10,7	0,264	1,931	1,780	-	-	-	-	10,7	0,264	1,931	1,2
	2012	10,1	0,273	2,196	1,466	0,1	0,0288	0,3706	0,307	10,2	0,301	2,566	0,9
<i>Eperua bijuga</i>	1981	11,0	0,227	1,701	1,568	0,1	0,0372	0,4910	0,923	11,1	0,264	2,192	1,4
	2012	4,3	0,164	1,579	1,054	0,4	0,1116	1,4360	1,188	4,8	0,275	3,015	1,1
<i>Cecropia sciadophylla</i>	1981	19,9	0,148	0,744	0,686	-	-	-	-	19,9	0,148	0,744	0,5
	2012	4,2	0,313	3,240	2,163	-	-	-	-	4,2	0,313	3,240	1,2
<i>Cecropia distachya</i>	1981	14,6	0,067	0,132	0,121	-	-	-	-	14,6	0,067	0,132	0,1
	2012	3,9	0,216	2,032	1,357	-	-	-	-	3,9	0,216	2,032	0,8
<i>Ocotea opifera</i>	1981	13,7	0,242	1,472	1,357	-	-	-	-	13,7	0,242	1,472	0,9
	2012	1,6	0,027	0,163	0,109	-	-	-	-	1,6	0,027	0,163	0,1
<i>Sloanea guianensis</i>	1981	64,6	0,287	0,509	0,469	0,3	0,1317	1,7782	3,345	64,9	0,419	2,287	1,4
	2012	1,0	0,041	0,414	0,276	0,4	0,2671	3,8173	3,158	1,4	0,308	4,231	1,6
Subtotal	1981	557,0	9,0098	55,8758	51,497	2,1	0,7627	10,2408	19,263	559,1	9,7725	66,1167	40,9
	2012	562,7	10,9566	77,4729	51,736	10,6	3,4817	46,4545	38,426	573,2	14,4383	123,9273	45,8
Total	1981	921,6	16,3546	108,5	67,115	11,2	3,964	53,1641	32,885	932,8	20,3187	161,6662	-
	2012	1133,8	21,3382	149,75	55,331	27,7	9,085	120,8930	44,669	1161,4	30,4228	270,6402	-

### 3.2 Distribuição diamétrica

A comunidade estudada apresentou distribuição diamétrica com tendência “J-invertido” nos dois momentos avaliados (1981 e 2012), com maior quantidade de árvores nas classes inferiores de diâmetro e menor número nas maiores classes (Figura 1).

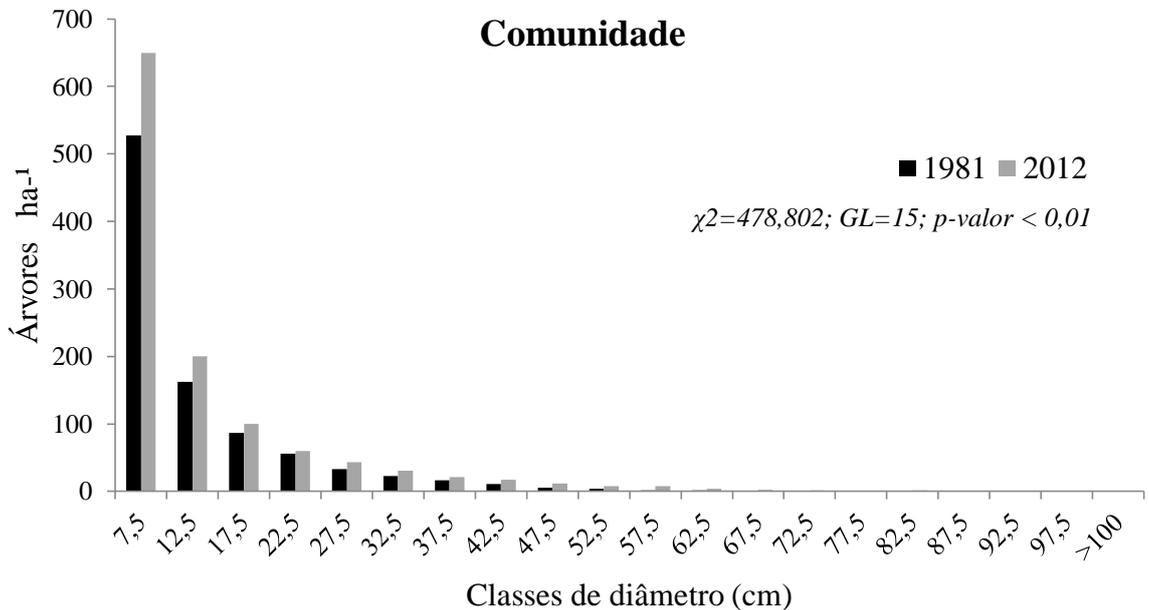


Figura 1. Distribuição diamétrica da comunidade (64ha) em 1981 e 2012 na Floresta Nacional do Tapajós, estado do Pará.

As distribuições diamétricas das 28 espécies analisadas também apresentaram tendência “J-invertido”, respectivamente, em 1981 e em 2012, concentrando o maior número de indivíduos nas primeiras classes de diâmetro (classes 7,5 e 12,5), diminuindo nas classes subsequentes (Figura 2).

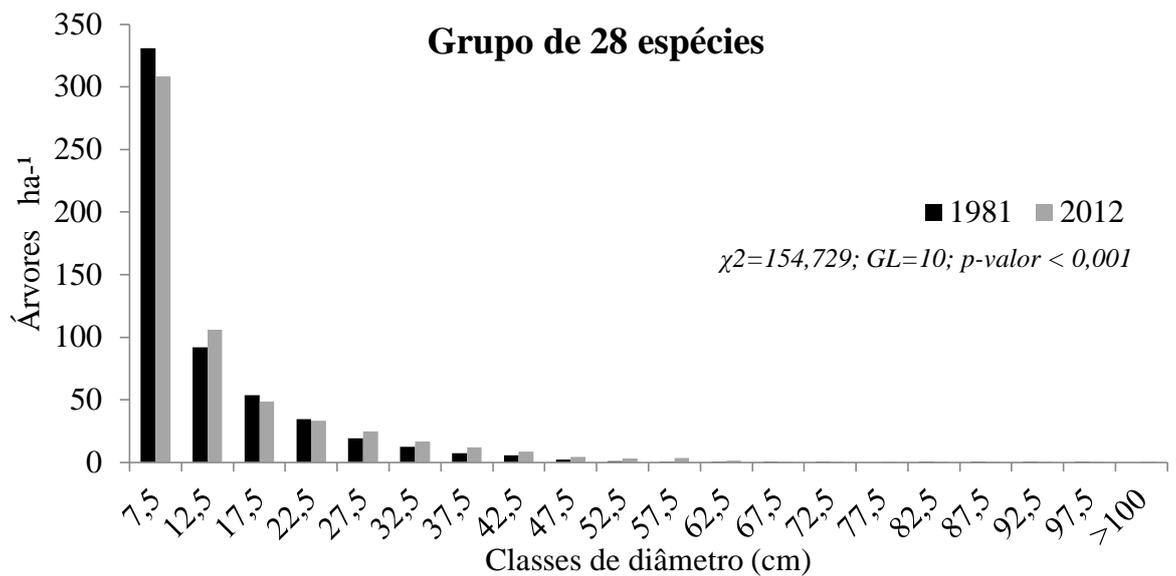


Figura 2. Distribuição diamétrica das 28 espécies com as maiores densidades (árvores por hectare) em 1981 e 2012 na Floresta Nacional do Tapajós, estado do Pará.

De acordo com os critérios adotados para seleção das espécies, destacou-se: *Bixa arborea*, *Helicostylis pedunculata*, *Couratari stellata* e *Tachigali chrysophylla*.

*Bixa arborea* mostrou-se com distribuição de J-invertido desde 1981, com aumento significativo na densidade, apresentando árvores em quase todas as classes de DAP nas duas ocasiões observadas. Nota-se que houve uma redução na densidade da primeira classe de diâmetro em 2012, entretanto, nas demais classes a espécie aumentou sua densidade (Figura 3).

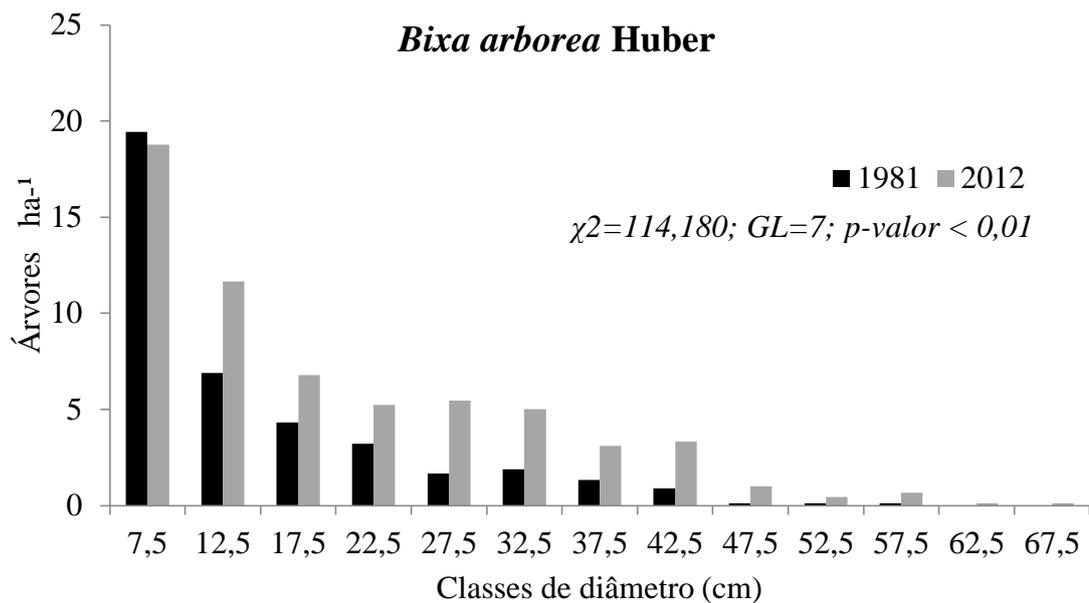


Figura 3. Distribuição diamétrica de *Bixa arborea* em 1981 e 2012 na Floresta Nacional do Tapajós, estado do Pará.

*Helicostylis pedunculata* apresentou indivíduos na maioria das classes de DAP, exceto na classe de 47,5cm. Também apresentou distribuição diamétrica “J-invertido” (Figura 4) e maior densidade na primeira classe de diâmetro.

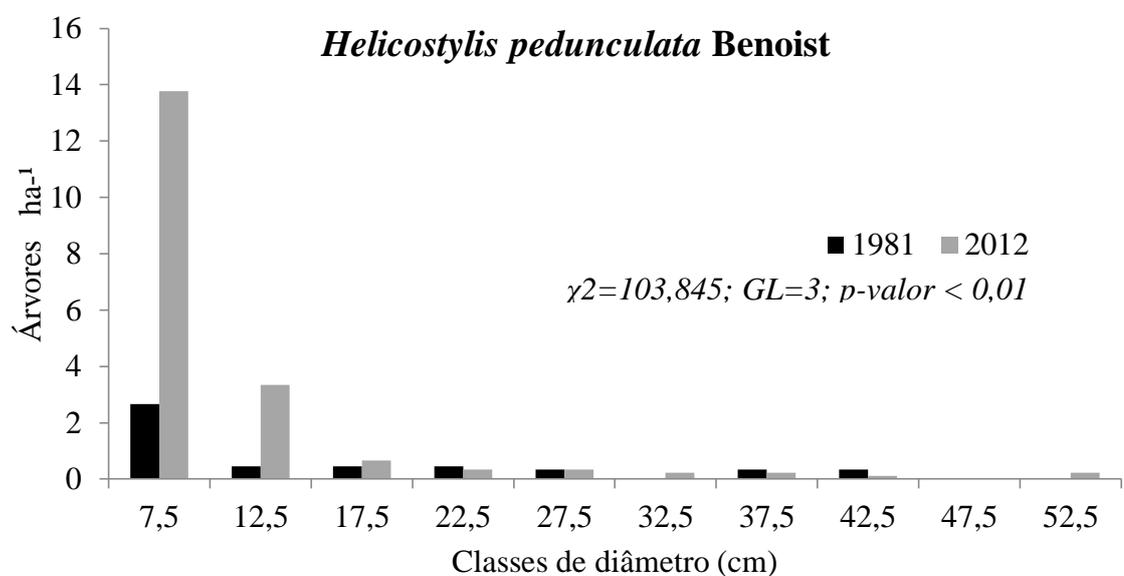


Figura 4. Distribuição diamétrica de *Helicostylis pedunculata* em 1981 e 2012 da Floresta Nacional do Tapajós, estado do Pará.

*Couratari stellata* apresentou distribuição diamétrica J-invertido (Figura 5), com maior número de indivíduos na primeira classe de DAP (7,5 cm). Com ausência de árvores nas classes de 77,5 cm, 87,5 cm e 102,5 cm. A espécie possui indivíduos com DAP acima de 100 cm.

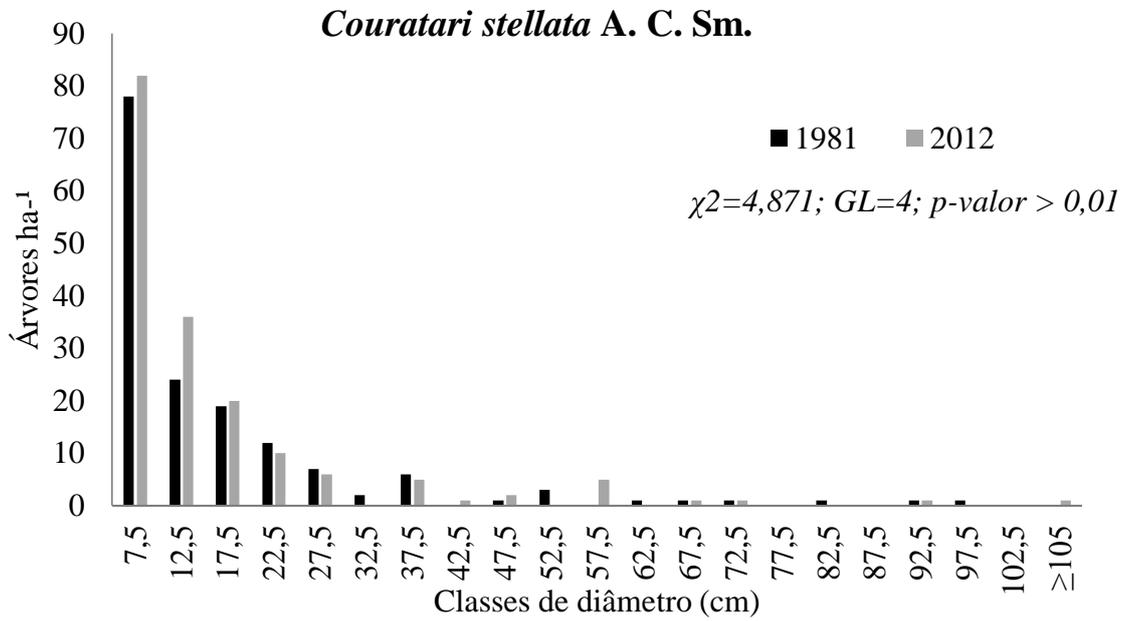


Figura 5. Distribuição diamétrica de *Couratari stellata* em 1981 e 2012 na Floresta Nacional do Tapajós, estado do Pará.

*Tachigali chrysophylla* está entre as 20 espécies com maior densidade em 2012, com distribuição diamétrica em J-invertido, possui o maior número de indivíduos nas classes de 7,5cm e 12,5cm, tem indivíduos com DAP acima de 100cm e ausência de árvores na classe 67,5cm (Figura 6).

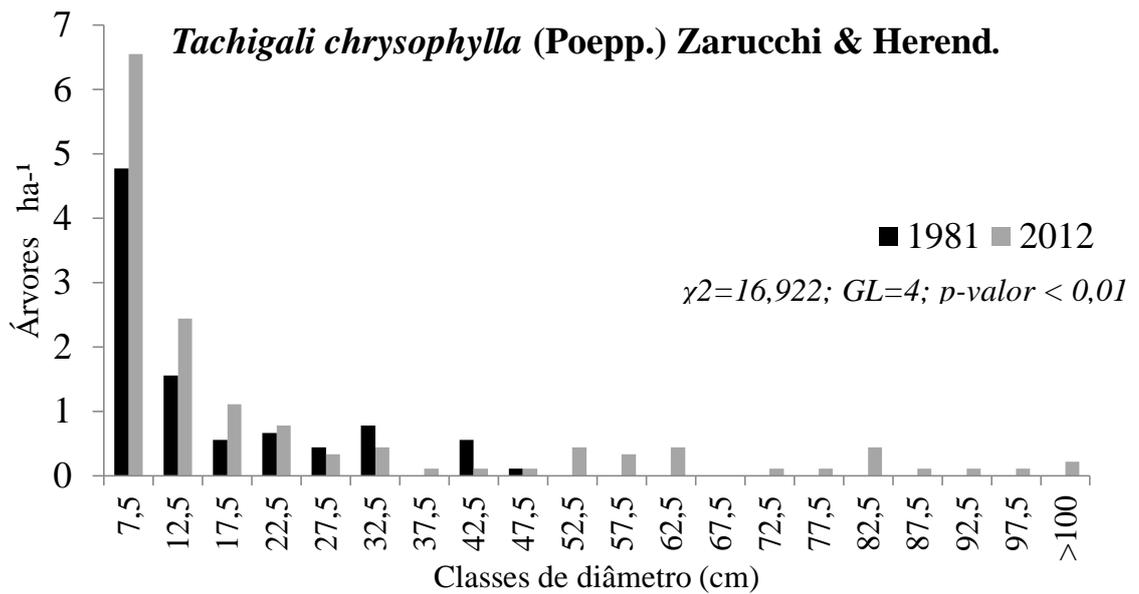


Figura 6. Distribuição diamétrica de *Tachigali chrysophylla* em 1981 e 2012 na Floresta Nacional do Tapajós, estado do Pará.

#### 4- DISCUSSÃO

A comunidade apresentou aumento na densidade (árvores ha<sup>-1</sup>) de 24,5%, na área basal (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) de 49,7% e no volume (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) de 64,4%. Estes aumentos podem ter ocorrido devido aos benefícios da colheita florestal, como liberação do dossel, aumento da radiação solar e diminuição da competição por água e nutrientes dos indivíduos remanescentes, possibilitando o recrutamento de indivíduos e incremento em diâmetro das espécies. Essas condições favoráveis para o recrutamento de novos indivíduos também foram retratadas por Serrão et al. (2003), Reis et al. (2013) e Reis et al. (2014) em uma floresta manejada na Amazônia.

A espécie *Sloanea guianensis* (Aubl.) Benth., com maior densidade da comunidade em 1981, não foi colhida, entretanto, teve sua densidade, área basal e volume drasticamente reduzidos. Provavelmente, por ser uma espécie pioneira que se estabeleceu na área logo nos primeiros anos após a colheita, mas com o fechamento do dossel com o passar dos anos, sua densidade e recrutamento foram reduzidos com a diminuição gradativa da radiação solar.

A comunidade amostrada de 9 ha apresentou distribuição diamétrica com tendência “J-invertido”, mostrando a viabilidade para o manejo sustentável, visto que tanto em 1981 como em 2012, a floresta apresentou estrutura balanceada dos diâmetros. As 28 espécies estudadas neste trabalho também apresentaram a distribuição diamétrica em J-invertido, mostrando-se potenciais para futuras colheitas.

Analisando a distribuição diamétrica de *Bixa arborea* infere-se que a espécie pode ser manejada, pois possui capacidade de suportar os impactos da colheita e recuperar o estoque removido. *Helicostylis pedunculata*, *Couratari stellata* e *Tachigali chrysophylla* também apresentaram distribuição diamétrica “J-invertido”, ou seja, há números de indivíduos suficientes por classe de diamétrica para compensar os efeitos da mortalidade natural e suprir árvores para cortes seletivos (SOUZA e SOARES, 2013). De acordo com Reis et al. (2010) e Reis (2012), esse comportamento indica estabilidade na recomposição florestal, demonstrando que se estas espécies forem manejadas, terão capacidade de suportar e recuperar o estoque retirado na colheita madeireira. Já as classes de diâmetro vazias, segundo Reis (2012), é um fato puramente aleatório e muito comum a diversas espécies das florestas tropicais, pois pode ter havido mortalidade na classe vazia ou egresso para a classe subsequente.

Segundo Reis et al. (2010) as espécies *Couratari stellata* e *Tachigali chrysophylla* são consideradas comerciais, entretanto, os autores consideraram comerciais todas as espécies que foram colhidas independentemente de serem espécies com venda consolidada no mercado. Sabe-se que as espécies do gênero *Couratari*, conhecidas como tauarí, muitas vezes são comercializadas por grupo, não sabendo exatamente qual a espécie que está sendo colhida.

## 5- CONCLUSÃO

A floresta manejada, após 33 anos da colheita aumentou a densidade, área basal, volume e número de espécies, mesmo com uma colheita mais intensa do que é previsto na legislação atual, demonstrando a sustentabilidade do manejo florestal.

Das 20 espécies com maior densidade em 2012, *Bixa arborea*, *Helicostylis pedunculata*, *Couratari stellata* e *Tachigali chrysophylla*, são potenciais para comercialização, pois possuem alta densidade e distribuição diamétrica que favorece a recomposição florestal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, J.O.P. Inventário diagnóstico da regeneração natural da vegetação em área da Floresta Nacional do Tapajós. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 23p. (Embrapa-CPATU **Boletim de pesquisa**, 2), 1980.

COSTA FILHO, P. P.; DA COSTA, H.B.; DE AGUIAR, O.R.; **Exploração mecanizada da floresta tropical, úmida sem babaçu**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. p. 29.(Embrapa-CPATU. Circular técnico 9), 1980.

DUBOIS, J. **Preliminary Forest management guidelines for the National Forest of the Tapajós**. Belém: [s.n], 1976. p. 42. SF./ FAO/BRA- 71-545, PRODEPEF/ Northern Region.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. **Fatos florestais da Amazônia 2010**. Belém: Imazon, 2010. 124 p.

REIS, L. P.; RUSCHEL, A. R.; COELHO, A. A.; LUZ, A. S.; MARTINS-DA-SILVA, R. C. V. Avaliação do potencial madeireiro na Floresta Nacional do Tapajós após 28 anos da exploração florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Curitiba, v. 30, p. 265-281, 2010.

REIS, P. C. M. **Efeito da exploração de impacto reduzido na dinâmica da densidade, dominância, mortalidade e ingresso de espécies de Lecythidaceae em floresta de terra firme no município de Moju, Estado do Pará**. 2012. 47p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2012.

REIS, L. P.; SILVA, J. N. M.; REIS, P. C. M.; CARVALHO, J. O. P.; QUEIROZ, W. T.; RUSCHEL, A. R. Efeito da exploração de impacto reduzido em algumas espécies de Sapotaceae no leste da Amazônia. **Floresta**. Curitiba, v. 43, p. 395, 2013.

REIS, P. C. M.; REIS, L. P.; RUSCHEL, A. R.; SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; QUEIROZ, W. T. Effect of timber harvesting on density and basal area of Lecythidaceae species in the eastern Amazon. **Floresta**. Curitiba, v. 44, p. 229, 2014.

SERRÃO, D. R.; JARDIM, F. C. S.; NEMER, T. C. Sobrevivência de seis espécies florestais em uma área explorada seletivamente no município de Mojú, Pará. **Cerne**, Lavras, v. 9, p.153-163, 2003.

SILVA, J. N. M.; ARAÚJO, S. M. Equação de volume para árvores de pequeno diâmetro, na Floresta Nacional do Tapajós. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.16-25. 1984.

SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; LOPES, J. C. A.; CARVALHO, M. S. P. Equação de volume para a Floresta Nacional do Tapajós. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.8-9, p.50-63, 1984.

SFB. **Florestas do Brasil em resumo - 2013: dados de 2007-2012**. Serviço Florestal Brasileiro. Brasília: SFB, 2013.

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

WHITMORE, T. C. Tropical forest disturbance, disappearance, and species loss. LAURANCE, W. F.; BIERREGAARD Jr, R. O. (Eds) **Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities**. University of Chicago Press, p 3-12, 1997.

**ARTIGO II**  
**ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE**  
**MADEIRAS DE SEGUNDO CICLO DE CORTE, UTILIZANDO DE REDES**  
**NEURAS ARTIFICIAIS**

**RESUMO** - As madeiras de segundo ciclo de corte podem compor a maior parte da volumetria das futuras colheitas, mas são poucos os estudos das propriedades físicas e mecânicas importantes para embasar a consolidação das espécies. Este estudo teve como objetivo estimar as propriedades físicas e mecânicas de madeiras da Amazônia a partir da densidade básica, utilizando Redes Neurais Artificiais (RNA). Foram estimadas as propriedades: 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. A estimativa seguiu a tendência dos dados observados para as contrações tangencial, radial e volumétrica. A rede estimou com alta precisão as propriedades mecânicas. Em relação à distribuição dos erros, a flexão estática, compressão paralela e compressão perpendicular às fibras apresentaram maior precisão. As RNA podem ser usadas para estimar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de espécies da Amazônia.

Palavras-chaves: madeiras tropicais, inteligência artificial, potencial madeireiro

**ESTIMATION OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF**  
**SECOND CYCLE CUTTING WOOD USING ARTIFICIAL NEURAL**  
**NETWORKS**

**ABSTRACT** -The woods of second cutting cycle may compose most of the volumetry of future crops, but there are few studies of the physical and mechanical properties which are important to support the consolidation of species. This study aimed to estimate the physical and mechanical properties of woods of the Amazon from the basic density, using Artificial Neural Networks (ANNs). The properties: contraction (tangential, radial and volumetric), static bending, parallel and perpendicular to the fibers compression, parallel and transverse Janka hardness, perpendicular to the fibers traction, splitting and shear. The estimation followed the tendency of the data observed for the tangential, radial and volumetric contractions. The network estimated with high accuracy the mechanical properties. In relation to the distribution of errors, static

bending, parallel compression and perpendicular to the fibers compression showed greater accuracy. The ANNs can be used to estimate the physical and mechanical properties of wood of species of the Amazon.

Keywords: tropical wood, artificial intelligence, timber potential

## **1-INTRODUÇÃO**

O período de tempo decorrido entre uma colheita seletiva e outra é denominado ciclo de corte e esse período deverá ser suficiente para a floresta restituir o estoque colhido. Esse período de recuperação é definido na legislação brasileira de manejo florestal, com base em resultados de pesquisas e de monitoramentos de florestas exploradas.

Muitos trabalhos demonstraram a viabilidade do segundo ciclo de corte, em relação a recuperação do estoque de crescimento. E que a primeira colheita auxilia na recuperação do volume e área basal florestal, potencializando o crescimento da floresta remanescente como relatados em estudos de Reis et al. (2010), Reis et al. (2013) e Reis et al. (2014).

A Floresta Nacional do Tapajós completou seu segundo ciclo de corte, com monitoramento, em 2014, sendo a primeira no mundo a conseguir esse feito, demonstrando que a colheita seletiva de madeiras de florestas nativas é sustentável. Segundo Reis et al. (2010), a floresta conseguiu, em 28 anos, recuperar seu estoque volumétrico total, demonstrando que o segundo ciclo de corte neste sítio experimental é possível, principalmente devido ao estoque crescimento de espécies não exploradas na primeira colheita. As madeiras de segundo ciclo são oriundas de espécies beneficiadas pela colheita florestal que aumentaram sua densidade na área, e mesmo apresentando pouca atratividade comercial, podem ter um mercado significativo, aumentando a produção e conseqüentemente renda do produtor.

De acordo com Adeodato et al. (2011), a comercialização de madeira de segunda linha (potenciais ou sem mercado consolidado) poderia aumentar a receita por hectare entre 40% e 50% no manejo florestal. Segundo Almeida et al. (2010) existe um grande esforço de entidades de pesquisa em analisar as características físicas das madeiras de espécies desconhecidas do mercado ou de baixo valor comercial, para substituir as espécies de maior valor comercial.

Para promover novas espécies é necessária uma série de informações que fundamentam sua utilização no mercado, principalmente sobre propriedades tecnológicas da madeira. A determinação das características físicas e mecânicas das madeiras são importantes para decidir sobre o seu uso adequado, com isso, aumentando o número de espécies a serem utilizadas e diminuindo a pressão sobre as mais comerciais. Também favorece 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 colheitas.

Para a estimativa dessas propriedades utilizou-se as Redes Neurais Artificiais (RNA), que são modelos computacionais inspirados no sistema nervoso dos seres vivos. E podem ser definidas como um conjunto de unidades de processamento maciçamente paralelo, caracterizado por neurônios artificiais, que são interligados por um grande número de interconexões. As RNA possuem a capacidade natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para o uso (Silva et al., 2010). Vários trabalhos vêm sendo realizados utilizando RNA na área florestal, com sucesso nas estimativas, em povoamentos equiâneos e inequiâneos (Binoti et al., 2013; Binoti et al., 2014; Diamantopoulou et al., 2015; Castro et al., 2015; Binoti et al., 2015).

As RNA apresentam vantagens em relação às análises de regressão devido as suas propriedades e capacidades inerentes, como: não-linearidade, capacidade de aprendizagem, habilidades de generalização, adaptabilidade, tolerância a falhas e organização de dados (Silva et al., 2010). Se tratando de dados como as propriedades físicas e mecânicas da madeira, que tem muitas variações intra e interespecíficas, as RNA podem melhorar os ajustes para estimar essas propriedades.

Esse trabalho teve como objetivo utilizar as Redes Neurais Artificiais para estimar as propriedades físicas e mecânicas de madeiras de segundo ciclo de corte da Amazônia, a partir da densidade básica.

## **2-MATERIAL E MÉTODOS**

As espécies estudadas ocorrem na Floresta Nacional do Tapajós (Flona do Tapajós), que se localiza a altura do km 67 (55° 00' W, 2° 45' S) da Rodovia BR-163, Cuiabá-Santarém (Reis et al, 2010).

No ano de 1975 foi realizado o censo florestal e em 1979 ocorreu a colheita de 64 espécies madeireiras, sendo removido 72,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Em 1981 foram instaladas,

aleatoriamente, 36 parcelas permanentes (50 x 50 m) na área de estudo. Nessas parcelas, todas as árvores com DAP  $\geq$  5 cm foram identificadas botanicamente *in loco* e foram coletadas amostras para posterior identificação no Herbário IAN da Embrapa Amazônia Oriental (Reis et al., 2010).

Em dezembro de 2014, a Flona do Tapajós completou seu primeiro ciclo de corte (34 anos). De acordo com Reis et al. (2010) apesar da colheita de alta intensidade, a recuperação do futuro estoque das espécies (DAP  $\geq$  50 cm) estava garantido e inclusive era superior ao observado antes da colheita. A área da colheita de 2014 foi dividida em dois tratamentos: a área onde houve a colheita em 1979 com 39 ha (T1) e a área onde nunca houve colheita com 31,5 ha (T2). As duas áreas totalizam 70,5 ha de floresta. Foram colhidas 35 espécies nas duas áreas, com intensidade média de densidade de 3,76 árvores ha<sup>-1</sup> e volume de 15,3324 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Os dados das propriedades físicas e mecânicas das madeiras (Apêndice I) foram obtidos de estudos de espécies da região amazônica. As fontes foram as publicações do IBDF (1981), Lopes et al. (1983), IBDF (1988), IBAMA (1997) e LPF (2016).

Foram utilizadas 133 espécies da região amazônica na análise da estimativa. Para as estimativas das propriedades da madeira foi considerada a densidade básica (g.cm<sup>3</sup>) como variável independente. Para os dados de contração da madeira consideraram-se as literaturas que seguiram as normas da Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT). Para a obtenção das propriedades mecânicas consideraram-se as literaturas, onde os corpos de prova apresentaram teor de umidade de 12% também seguindo as normas da COPANT.

As Redes Neurais Artificiais (RNA) foram utilizadas para estimar as variáveis físicas e mecânicas das madeiras sem valor comercial consolidado, pertencentes à lista de espécies da colheita realizada em 2014 na Flona do Tapajós. Os dados foram divididos em dois grupos, um para o treinamento das RNA (80%) e outro para o teste-generalização (20%), isso para avaliar a capacidade de generalização das redes. O grupo de treinamento não faz parte do grupo de teste das RNA.

A variável de entrada das RNA foi densidade básica da madeira (Db- g.cm<sup>3</sup>). E as variáveis simultâneas de saída múltiplas e simples das RNA (Figura 1) foram: Contração tangencial (CT - %); Contração radial (CR - %); Contração volumétrica (CV - %); Flexão Estática - Módulo de Ruptura (FMR - kg/cm<sup>2</sup>); Flexão Estática - Módulo de Elasticidade (FME - 1000 kgf/cm<sup>2</sup>); Compressão paralela às fibras (CParF -

kgf/cm<sup>2</sup>); Compressão perpendicular às fibras (CPerF - kgf/cm<sup>2</sup>); Dureza Janka paralela (DJP - kgf); Dureza Janka transversal (DJT - kgf); Tração perpendicular às fibras (Tr - kgf/cm<sup>2</sup>); Fendilhamento (Fe - kgf/cm<sup>2</sup>); Cisalhamento (Ci - kgf/cm<sup>2</sup>).

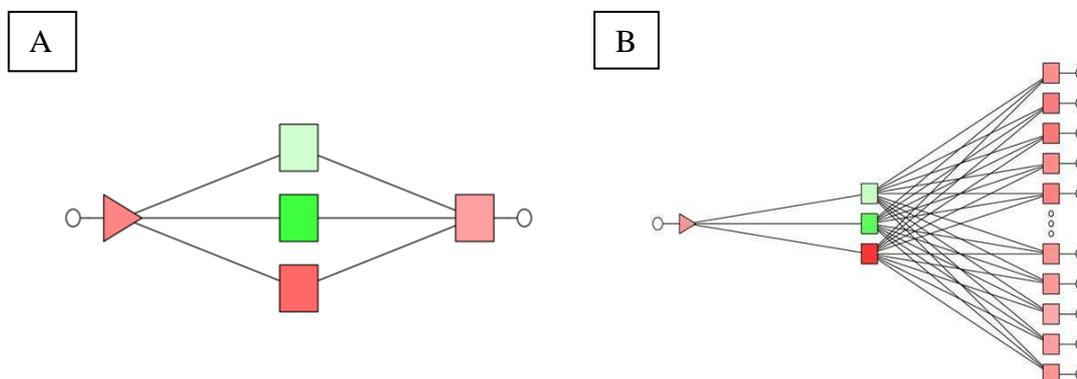


Figura 1. Rede Perceptron multicamadas (MLP). A - Rede de saída simples; B - Rede de saídas múltiplas.

Foram treinadas 3.900 RNA usando a densidade básica como entrada, sendo 3.600 RNA treinadas com saída simples e mais 300 RNA treinadas com saída múltipla (Tabela 1).

Tabela 1. Variáveis de entrada e saída utilizadas para o treinamento das RNA e números de treinamentos realizados.

RNA	Entrada	Saída	Número de treinamentos
1	Db	Saída simples - CT, CR, CV, FMR, FME, CParF, CPerF, DJP, DJT, Tr, Fe, Ci	3600
2	Db	Saída múltipla - CT, CR, CV, FMR, FME, CParF, CPerF, DJP, DJT, Tr, Fe, Ci	300
Total	-	-	3900

Db: Densidade básica (g/cm<sup>3</sup>); CT: Contração tangencial (%); CR: Contração radial (%); CV: Contração volumétrica (%); FMR: Flexão Estática - Módulo de Ruptura (kg/cm<sup>2</sup>); FME: Flexão Estática - Módulo de Elasticidade (1000 kgf/cm<sup>2</sup>); CParF: Compressão paralelo às fibras (kgf/cm<sup>2</sup>); CPerF: Compressão perpendicular às fibras (kgf/cm<sup>2</sup>); DJP: Dureza de Janka paralela (kgf); DJT: Dureza de Janka transversal (kgf); Tr: Tração (kgf/cm<sup>2</sup>); Fe: Fendilhamento (kgf/cm<sup>2</sup>); Ci: Cisalhamento (kgf/cm<sup>2</sup>).

O treinamento de RNA consiste na aplicação de um conjunto de passos ordenados com intuito de ajustar os pesos e os limiares de seus neurônios. Assim, tal

processo de ajuste, também conhecido como algoritmo de aprendizagem, visa sintonizar a rede para que as suas respostas estejam próximas dos valores desejados (Silva et al., 2010).

No treinamento foi utilizada a arquitetura *feedforward* de camadas múltiplas, o Perceptron multicamadas (MLP) e a ferramenta *Intelligent Problem Solver* (IPS) do software Statistica 13 (STATSOFT, INC, 2016) para testar as funções de ativação (Identidade, Logística, Tangente hiperbólica e exponencial) da camada intermediária (oculta) e de saída. Nos treinamentos, utilizou-se apenas uma camada oculta, e o intervalo do número de neurônios nessa camada foi definido pelo método de Fletcher-Gloss, onde se define o intervalo do número de neurônios de acordo com o número de variáveis de entrada e saída, e foi dado pela equação (1):

$$2 \cdot \sqrt{n} + n_2 \leq n_1 \leq 2 \cdot n + 1 \quad (1)$$

Em que,  $n$  é o número de entradas da rede,  $n_1$  é a quantidade de neurônios na camada escondida e  $n_2$  é a quantidade de neurônios na camada de saída.

Foi utilizado o número máximo de neurônios definidos pelo método de Fletcher-Gloss, e para o mínimo, foi utilizado um neurônio, isso para analisar a capacidade de generalização de uma topologia mais simples. O máximo definido pelo método foi para evitar uma excessiva memorização dos dados de entrada (*overfitting*) ou extrair insuficientemente pouca informação no treinamento (*underfitting*).

Para a escolha e comparação das RNA foram utilizados a estatística de correlação entre os valores estimados e os valores reais ( $r_{Y\hat{Y}}$ ) e a raiz quadrada do erro médio (RMSE). Também foi utilizada a análise gráfica da dispersão dos erros percentuais (Erro %) em relação aos valores observados (Equação 2):

$$Erro \% = \frac{(\hat{Y} - Y)}{Y} \cdot 100 \quad (2)$$

Em que,  $\hat{Y}$ : valores estimados pelas RNA;  $Y$ : valores observados.

A correlação indica a intensidade da relação entre os valores estimados e observados. Quanto mais próximo de 1, maior é a correlação entre as variáveis. A correlação foi calculada pela equação (3):

$$r_{Y\hat{Y}} = \frac{Cov(Y, \hat{Y})}{\sqrt{S^2(Y)S^2(\hat{Y})}} \quad (3)$$

Sendo,  $\hat{Y}$ : valores estimados pelas RNA; Y: valores observados nas parcelas permanentes;  $S^2$ : variância e Cov: covariância.

Em relação à raiz quadrada do erro médio (RMSE), quanto menores as estimativas, mais confiável é o treinamento ou generalização. Para o cálculo da RMSE, realizada para comparação entre as RNA, foi utilizada a equação (4):

$$RMSE = 100 \cdot \bar{Y}^{-1} \sqrt{n^{-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y})^2} \quad (4)$$

Sendo,  $\hat{Y}$ : valores estimados pelas RNA; Y: valores observados; n: número de observações.

### 3-RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando observado os resultados do teste (generalização) das RNA, as propriedades da madeira: contração tangencial (CT), contração radial (CR), contração volumétrica (CV) e compressão perpendicular às fibras (CPerpF) apresentaram maior correlação na rede de saída simples (rede com uma variável de saída). Já as propriedades Flexão estática (módulo de ruptura-FMR), flexão estática (módulo de elasticidade-FME), compressão paralela às fibras (CParF), dureza Janka paralela (DJP), dureza Janka transversal (DJT), tração (Tr), fendilhamento (Fe) e cisalhamento (Ci) obtiveram maior correlação na rede de saída múltipla, ou seja, rede com múltiplas variáveis de saída (Tabela 2).

Tabela 2. Características, variáveis de entrada e saída das RNA treinadas e validadas.

R: correlação; RMSE%: quadrado médio do erro.

RNA	Entrada	Arquitetura	Função de ativação	Saída	Treinamento		Teste	
					R	RMSE%	R	RMSE%
4	Db	MLP 1-2-1	Tangencial/identidade	CT	0,3021	17,35	0,569	15,64
5	Db	MLP 1-3-12	Logística/exponencial	CT – RMS	0,3334	15,52	0,383	15,20
5	Db	MLP 1-3-1	Tangencial/exponencial	CR	0,4628	21,58	0,475	23,63
5	Db	MLP 1-3-12	Logística/exponencial	CR – RMS	0,2712	19,73	0,263	17,92
4	Db	MLP 1-3-1	Exponencial/identidade	CV	0,3786	16,20	0,641	17,13
5	Db	MLP 1-3-12	Logística/exponencial	CV – RMS	0,4616	15,16	0,554	17,53
4	Db	MLP 1-3-1	Exponencial/Exponencial	FMR	0,9499	9,57	0,978	7,91
5	Db	MLP 1-3-12	Logística/exponencial	FMR – RMS	0,9400	9,39	0,981	7,88
1	Db	MLP 1-3-1	Logística/identidade	FME	0,8993	9,53	0,945	9,50
5	Db	MLP 1-3-12	Logística/exponencial	FME – RMS	0,9238	7,74	0,976	6,34
3	Db	MLP 1-3-1	Logística/Logística	CParF	0,9384	10,79	0,984	7,56
5	Db	MLP 1-3-12	Logística/exponencial	CParF – RMS	0,9208	11,31	0,994	4,31
2	Db	MLP 1-1-1	Identidade/exponencial	CPerF	0,9072	21,29	0,976	12,38
5	Db	MLP 1-3-12	Logística/exponencial	CPerF – RMS	0,8911	19,29	0,952	23,31
1	Db	MLP 1-3-1	Exponencial/Logística	DJP	0,8590	25,26	0,933	19,45
5	Db	MLP 1-3-12	Logística/exponencial	DJP – RMS	0,8686	21,55	0,968	14,61
1	Db	MLP 1-3-1	Logística/identidade	DJT	0,9255	22,27	0,963	17,98
5	Db	MLP 1-3-12	Logística/exponencial	DJT – RMS	0,9150	20,45	0,979	14,02
2	Db	MLP 1-3-1	Exponencial/Exponencial	Tr	0,6621	21,23	0,777	15,71
5	Db	MLP 1-3-12	Logística/exponencial	Tr – RMS	0,6933	20,25	0,802	20,71
5	Db	MLP 1-1-1	Exponencial/Exponencial	Fe	0,8084	18,68	0,666	19,73
5	Db	MLP 1-3-12	Logística/exponencial	Fe – RMS	0,7876	15,39	0,720	21,26
3	Db	MLP 1-3-1	Logística/tangencial	Ci	0,8899	16,11	0,910	16,35
5	Db	MLP 1-3-12	Logística/exponencial	Ci – RMS	0,8756	15,07	0,942	13,59
	Db			Saída Simples	0,7486	17,49	0,8180	15,25
	Db		Média	Saída Múltipla	0,7402	15,90	0,7928	14,72

Db: Densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ ); CT: Contração tangencial (%); CR: Contração radial (%); CV: Contração volumétrica (%); FMR: Flexão Estática - Módulo de Ruptura ( $\text{kg/cm}^2$ ); FME: Flexão Estática - Módulo de Elasticidade ( $1000 \text{ kgf/cm}^2$ ); CParF: Compressão paralelo às fibras ( $\text{kgf/cm}^2$ ); CPerF: Compressão perpendicular às fibras ( $\text{kgf/cm}^2$ ); DJP: Dureza de Janka paralela ( $\text{kgf}$ ); DJT: Dureza de Janka transversal ( $\text{kgf}$ ); Tr: Tração ( $\text{kgf/cm}^2$ ); Fe: Fendilhamento ( $\text{kgf/cm}^2$ ); Ci: Cisalhamento ( $\text{kgf/cm}^2$ ). RMS: Rede múltiplas saída.

Analisando o RMSE%, a contração volumétrica (CV), compressão perpendicular às fibras (CPerF), tração (Tr) e o fendilhamento (Fe) obtiveram melhor desempenho na rede de saída simples. E a contração tangencial (CT), contração radial (CR), flexão estática (módulo de ruptura-FMR), flexão estática (módulo de elasticidade-

FME), compressão paralela às fibras (CParF), dureza Janka paralela (DJP), dureza Janka transversal (DJT) e o cisalhamento (Ci) apresentaram melhor desempenho, ou seja, menor erro na rede de saída múltipla (Tabela 2).

Os resultados das contrações não foram tão precisos quando comparados com as propriedades mecânicas testadas (Tabela 3), entretanto, também apresentaram bons resultados. A contração é muito influenciada pela estrutura anatômica da madeira. Segundo estudos realizados por Zhang & Zhong (1992), analisando a relação das estruturas anatômicas com as propriedades físicas e mecânicas da madeira, o diâmetro das fibras é a característica anatômica que mais influenciou nas contrações tangencial e radial, seguida da proporção dos vasos e a proporção das fibras que influenciou na contração radial e contração tangencial, respectivamente.

Tabela 3. Correlação simples da densidade básica com as propriedades físicas e mecânicas.

Variáveis	Db	CT	CR	CV	FMR	FME	CParF	CPerF	DJP	DJT	Tr	Fe	Ci
Db	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CT	0,362*	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CR	0,232 <sup>ns</sup>	0,593*	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV	0,489*	0,916*	0,721*	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FMR	0,952*	0,307*	0,229 <sup>ns</sup>	0,444*	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-
FME	0,930*	0,384*	0,241 <sup>ns</sup>	0,516*	0,952*	1,000	-	-	-	-	-	-	-
CParF	0,936*	0,312*	0,253*	0,463*	0,962*	0,923*	1,000	-	-	-	-	-	-
CPerF	0,912*	0,241 <sup>ns</sup>	0,155 <sup>ns</sup>	0,390*	0,916*	0,818*	0,916*	1,000	-	-	-	-	-
DJP	0,881*	0,378*	0,278*	0,504*	0,915*	0,881*	0,910*	0,847*	1,000	-	-	-	-
DJT	0,924*	0,352*	0,244 <sup>ns</sup>	0,475*	0,941*	0,902*	0,940*	0,896*	0,971*	1,000	-	-	-
Tr	0,679*	0,278*	-0,014 <sup>ns</sup>	0,303*	0,640*	0,649*	0,647*	0,599*	0,627*	0,658*	1,000	-	-
Fe	0,773*	0,286*	0,176 <sup>ns</sup>	0,364*	0,739*	0,747*	0,783*	0,702*	0,657*	0,720*	0,762*	1,000	-
Ci	0,890*	0,250*	0,102 <sup>ns</sup>	0,369*	0,890*	0,880*	0,879*	0,822*	0,896*	0,929*	0,768*	0,774*	1,000

Db: Densidade básica (g/cm<sup>3</sup>); CT: Contração tangencial (%); CR: Contração radial (%); CV: Contração volumétrica (%); FMR: Flexão Estática - Módulo de Ruptura (kg/cm<sup>2</sup>); FME: Flexão Estática – Módulo de Elasticidade (1000 kgf/cm<sup>2</sup>); CParF: Compressão paralelo às fibras (kgf/cm<sup>2</sup>); CPerF: Compressão perpendicular às fibras (kgf/cm<sup>2</sup>); DJP: Dureza de Janka paralela às fibras (kgf); DJT: Dureza de Janka transversal às fibras (kgf); Tr: Tração (kgf/cm<sup>2</sup>); Fe: Fendilhamento (kgf/cm<sup>2</sup>); Ci: Cisalhamento (kgf/cm<sup>2</sup>). \*: Significativo a nível 5% de probabilidade; <sup>ns</sup>: Não significativo a nível de 95% de probabilidade. -: Dados ocultados, correlação das variáveis já apresentada na tabela.

A contração da madeira também é afetada por outros fatores, como o ângulo das microfibrilas da camada secundária central da parede celular (Chauhan & Walker, 2006;

Poubel et al, 2011) e características estruturais da madeira resistentes à contração como a quantidade de raios na direção radial (Poubel et al., 2011). Apesar disso a estimativa conseguiu seguir a tendência dos dados observados para as contrações tangencial, radial e volumétrica.

Em relação à distribuição dos erros, nota-se que as contrações tangencial, radial e volumétrica apresentaram tendência de estimar menores erros para os maiores valores (Figura 2).

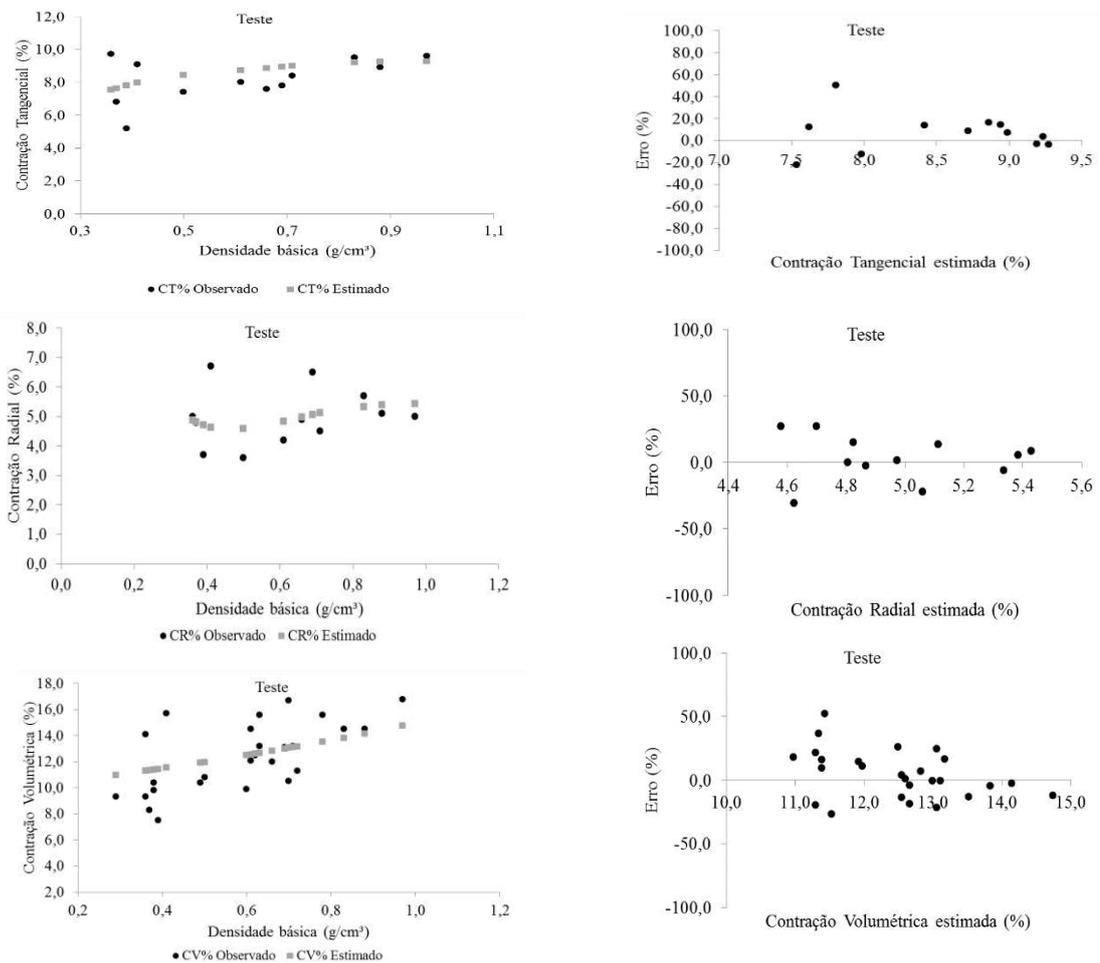


Figura 2. Densidade básica da madeira em relação à contração tangencial, radial e volumétrica estimada e o erro (%) em relação às variáveis estimadas.

A rede estimou com precisão as propriedades mecânicas da madeira, sendo que os dados estimados seguiram a tendência dos dados observados. Armstrong et al. (1984) demonstrou que a densidade como variável independente explica as propriedades mecânicas

(FME, FMR e CParF) com coeficientes de correlação acima 0,70, em condições da madeira verde e seca.

Em todas as propriedades mecânicas analisadas, à medida que aumenta o valor da densidade, aumenta também o valor da propriedade. Isso decorre da alta correlação (Tabela 3) entre a densidade e as demais propriedades mecânicas. Araujo (2007) também obteve resultados significativos entre a densidade e as propriedades mecânicas da madeira. Outros estudos também corroboram essa relação da densidade com as propriedades mecânicas, como em Abruzzi et al. (2012) e Protasio et al. (2012).

A densidade é uma das propriedades mais importantes no que se refere a indicação de usos para a madeira de acordo com Leite, et al. (2016) e Peres et al. (2012). Sendo uma das propriedades que mais fornece informações a respeito das características da madeira, estando relacionada com a sua resistência.

Com os resultados obtidos, observa-se que todas as propriedades mecânicas estudadas têm correlação com a densidade básica da madeira. De acordo com Lobão et al. (2004), as propriedades mecânicas da madeira são dependentes da densidade básica.

Segundo Panshin & De Zeeuw (1980) e Lobão et al. (2004), a variabilidade da maior parte das propriedades mecânicas da madeira pode ser estimada com base na variação da densidade. As propriedades de resistência à flexão estática e o seu módulo de elasticidade estão correlacionados com a densidade que está correlacionada com as dimensões das células. A relação entre densidade e as propriedades mecânicas pode ser alterada pela presença de extrativos que se adicionam à massa lenhosa, aumentando, sobretudo, a resistência à compressão axial da madeira.

Em relação à distribuição dos erros (Figura 3): flexão estática, compressão paralela às fibras e compressão perpendicular às fibras obtiveram menor erro consequentemente maior precisão.

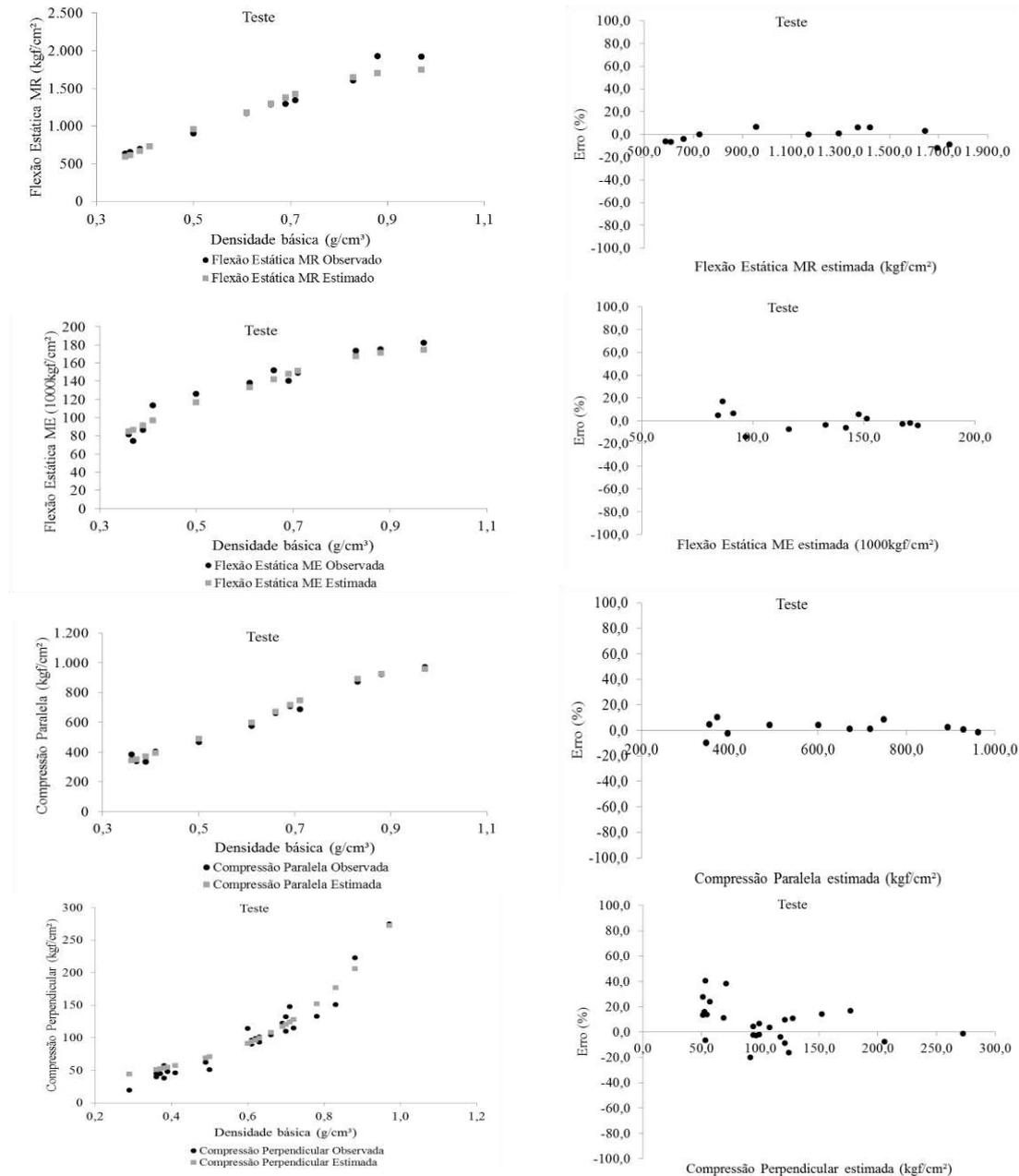


Figura 3. Módulo de Ruptura (MR) e módulo de elasticidade (ME), compressão paralela e perpendicular às fibras estimadas em relação a densidade básica da madeira e erro % em relação as variáveis estimadas.

Estudos realizados por Beltrame et al. (2010) afirmam que as propriedades mecânicas definem o comportamento da madeira quando submetida a esforços de natureza mecânica, permitindo compará-la com outras madeiras de propriedades conhecidas.

Para as propriedades flexão estática, compressão paralela e perpendicular às fibras e o cisalhamento, o resultado da correlação foi alto e o resultado do erro foi baixo (Tabela 2), indicando que as referidas propriedades podem ser estimadas através da densidade básica utilizando as redes neurais artificiais. Segundo Lisboa et al. (1993) essas propriedades são de primeira importância na obtenção de informações sobre possíveis usos finais da madeira.

#### **4-CONCLUSÃO**

As RNA podem ser uma opção de teste não destrutivo para a obtenção das propriedades físico-mecânicas da madeira.

As Redes Neurais Artificiais estimam com precisão as propriedades contração (tangencial, radial e volumétrica), flexão estática, compressão paralela e perpendicular às fibras, dureza Janka, tração, cisalhamento e fendilhamento, a partir da densidade básica.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABRUZZI, R. C.; PIRES, M. R.; DEDAVID, D. A.; KALIL, S. B. Relação das propriedades mecânicas e densidade de postes de madeira de eucalipto com seu estado de deterioração. **Revista Árvore**, v. 36, n. 6, p. 1173 -1181, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622012000600018>.

ADEODATO, S.; VILLELA, M.; BETIOL, L.S.; MONZONI, M. **Madeira de ponta a ponta: o caminho desde a floresta até o consumo**. São Paulo: FGV ERA, 2011. 128 p.

ALMEIDA, N. A.; ANGELO, H.; SILVA, J. C. G. L.; HOEFLICH, V. A. Mercado de madeiras tropicais: substituição na demanda de exportação. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 119 -126, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672010000100015>.

ARAÚJO, H. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, v. 37, n. 3, p. 399-416, 2007. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v37i3.9937>.

ARMSTRONG, J. P.; SKAAR, C.; ZEEUW, C. The effect of specific gravity on several mechanical properties of some world woods. **Wood Science and Technology**, v. 18, n. 2, p. 137-146, 1984. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00350472>

BELTRAME, R.; SOUZA, J. T.; MACHADO, W. G.; VIVIAN, M. A.; BULIGON, E. A.; PAULESKI, D. T.; GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R. Propriedades físico-mecânicas da madeira de Araucaria angustifolia (Bertol.) em três estratos fitossociológicos. **Ciência da Madeira**, v. 1, n. 2, p. 54-69, 2010.

BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G.; BINOTI, D. H. B.; GLERIANI, J. M. Prognose em nível de povoamento de clones de eucalipto empregando redes neurais artificiais. **Cerne**, v. 21, n. 1, p. 97-105, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521011153>

BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G.; SILVA, A. A. L.; ALBULQUERQUE, A. C. Modelagem da distribuição de diâmetros utilizando autômatos celulares e redes neurais artificiais. **Cerne**, v.19, n.4, p. 677-685, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602013000400019>

BINOTI, M. L. M. S.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G.; GARCIA, S. L. R.; FERREIRA, M. Z.; RODE, R.; SILVA, A. A. L. Redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 283-288, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622014000200008>

CASTRO, R. V. O.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L.; MARTINS, F. B.; NOGUEIRA, G. S.; ROMARCO, M. L. O. Artificial neural networks effectiveness to estimate mortality in a Semi-deciduous Seasonal Forest. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 9, n. 5, p. 435-444, 2015.

CHAUHAN S. S., WALKER J. C. F. Variations in acoustic velocity and density with age, and their interrelationships in radiata pine. **Forest Ecology and Management**, v. 229, n. 1-3, p.388-394, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2006.04.019>.

DIAMANTOPOULOU, M. J.; OZÇELIK, R.; CRECENTE-CAMPO, F.; ELER, U. Estimation of Weibull function parameters for modelling tree diameter distribution using least squares and artificial neural networks methods. **Biosystems Engineering**, v. 133, p. 33–45, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2015.02.013>

IBDF-INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia: características e utilização-Floresta Nacional do Tapajós**. v.1, CNPq: Brasília, 1981. 113p.

IBDF-INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia: características e utilização-Estação Experimental de Curuá-Una**. v.2, DPq-LPF: Brasília, 1988. 236p.

IBAMA-INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS RENOVÁVEIS. **Madeiras da Amazônia: características e utilização**. v.3, IBAMA: Brasília, 1997. 141p.

LEITE, H. G.; BINOTI, D. H. B.; OLIVEIRA NETO, R. R.; LOPES, P. F.; CASTRO, R. R.; PAULINO, E. J.; BINOTI, M. L. M. S.; COLODETTE, J. L. Redes Neurais Artificiais para a estimação da densidade básica da madeira. **Scientia forestalis**, v. 44, n.109, 2016. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n109.14>

LISBOA, C. D. J.; MATOS, J. L. M.; MELO, J. E. **Amostragem e Propriedades Físico-Mecânicas de Madeiras Amazônicas**. Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal. Brasília: IBAMA, 1993. 103 p.

LOBÃO, M. S.; DELLA LUCIA, R. M.; MOREIRA, M. S. S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, v.28, n.6, p. 889-894, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622004000600014>

LPF-LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS. **Madeiras Brasileiras**, 2016. Disponível em: <http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/caracteristicas.php?ID=80&caracteristica=271> >. Acesso em: 10/10/2016.

LOPES, C. A. C.; PEDROSO, L. M.; DOURADO, P. S. S.; DOURADO, R. S. A. **Propriedades físico-mecânicas e usos comuns de 30 espécies de madeiras da Amazônia**. Belém: SUDAM, 1983. 97p.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4 ed. New York: 1980. 722p.

PERES, M. L.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; BELTRAME, R.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Idade de segregação do lenho juvenil e adulto pela variação da massa específica de açoita-cavalo. **Ciência Rural**, v.42, n. 9, p.1596-1602, 2012.

POUBEL, D. S.; GARCIA, R. A. LATORRACA, J. V. F.; CARVALHO, A. M. Estrutura Anatômica e Propriedades Físicas da Madeira de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. p.117-126, 2011. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2011.029>.

PROTASIO, T. P.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; MENDES, R. F.; GUIMARÃES, B. M. R. Correlações entre as propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados de diferentes espécies de *Eucalyptus*. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 2, p. 123 - 132, 2012. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.014>.

REIS, L. P.; RUSCHEL, A. R.; COELHO, A. A.; LUZ, A. S.; MARTINS-DA-SILVA, R. C. V. Avaliação do potencial madeireiro na Floresta Nacional do Tapajós após 28 anos da exploração florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, p. 265-281, 2010. <http://dx.doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.265>.

REIS, L. P.; SILVA, J.N.M.; REIS, P.C.M.; CARVALHO, J.O.P.; QUEIROZ, W. T.; RUSCHEL, A. R. Efeito da exploração de impacto reduzido em algumas espécies de

Sapotaceae no leste da Amazônia. **Floresta**, v. 43, p. 395, 2013.  
<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v43i3.30808>.

REIS, P. C. M.; REIS, L. P.; RUSCHEL, A. R.; SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; QUEIROZ, W. T. Effect of timber harvesting on density and basal area of Lecythidaceae species in the Eastern Amazon. **Floresta**, v.44, n. 2, p.229 - 238, 2014.  
<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v44i2.33043>

StaSoft Inc, 2016. StatSoft [WWW Document]. Stat. Data Anal. Softw. Syst. 13. URL  
<http://www.statsoft.com/>

SILVA, I. N.; SPATTI, D. H.; FLAUZIN, R. A. **Redes neurais artificiais: para engenharia e ciências aplicadas**. São Paulo: Artliber, 2010. 396 p.

ZHANG, S. Y., ZHONG Y. Structure–properties relationship of wood in East Liaoning oak. **Wood Science and Technology**, v. 26, n. 2, p. 139–149, 1992.  
<http://dx.doi.org/10.1007/BF00194469>

**ARTIGO III**  
**INDICAÇÃO DE NOVAS ESPÉCIES MADEIREIRAS, COMO ALTERNATIVA**  
**PARA DIMINUIR A SUPEREXPLORAÇÃO DAS ESPÉCIES TRADICIONAIS**  
**DA AMAZÔNIA**

**RESUMO-** A procura desenfreada por essências madeireiras consolidadas pode ocasionar a superexploração de espécies. 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 saber quais características tecnológicas são mais importantes para o agrupamento. As espécies estudadas são provenientes de oito localidades distintas da região amazônica. As propriedades físico-mecânicas utilizadas 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. Destacando-se *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 (0,759053), cisalhamento (0,802960) e compressão paralela às fibras (0,825594). Demonstrando que essas características foram as mais determinantes para discriminar os grupos.

**PALAVRAS-CHAVE:** substituição de espécies, tecnologia da madeira, manejo florestal.

**INDICATION OF NEW TIMBER SPECIES AS AN ALTERNATIVE TO**  
**REDUCE OVEREXPLOITATION OF TRADITIONAL AMAZONIAN SPECIES**

**ABSTRACT** - Unrestrained demand for consolidated wood essences can lead to overexploitation. An alternative to this situation is the replacement of these species by other wood species with similar properties and with sufficient forest stock growth. The

objective of this work was to cluster the Amazon species based on physical-mechanical properties of wood and perform discriminant analysis in order to find which technological characteristics are the most important for each cluster. The study species come from eight different locations in the Amazon region. The physical-mechanical properties used were: basic density, contraction (tangential, radial and volumetric), static flexion, compression parallel and perpendicular to grain, parallel Janka hardness parallel and cross-sectional to grain, traction perpendicular to grain, cracking and shearing. Multivariate cluster analysis (simple Euclidean distance and Ward's method) and discriminant analysis were used to evaluate the clusters. Cluster analysis was efficient to group the species, which were separated into three distinct clusters. *Helicostylis pedunculata* Benoist and *Tachigali chrysophylla* (Poepp.) Zarucchi & Herend were particularly relevant because they are grouped with the species with the highest marketability. The lowest Wilks' Lambda values were found for density (0.759053), shearing (0.802960) and compression parallel to grain (0.825594). This is indicative that these properties were the most determinant to discriminate the clusters.

**KEYWORDS:** species replacement, wood technology, forest management.

## **1-INTRODUÇÃO**

A Amazônia é a maior floresta tropical do planeta e de grande 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).

Além da importância ecológica a floresta amazônica também tem grande 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 (SEMAS, 2015). Na Amazônia, a colheita e o processamento industrial de madeira estão entre as principais atividades econômicas, ao lado da mineração industrial e da agropecuária (LENTINI et al., 2011).

A alta comercialização de madeiras, apesar das vantagens econômicas, pode suprimir as espécies mais comercializadas devido à falta de diversificação da colheita. A grande procura por madeiras consolidadas no mercado pode levar a 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.

Por isso, é importante que ocorra a diversificação das espécies madeiras e inclusive a substituição por espécies com características tecnológicas semelhantes, a fim de diminuir a pressão sobre as mais comerciais. Para promover essa substituição de essências florestais madeiras é fundamental 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 compõe o mesmo grupo podem ser utilizadas para o mesmo fim.

O objetivo do trabalho foi agrupar as espécies da Amazônia através das propriedades físico-mecânicas das madeiras e realizar a análise discriminante para saber quais características tecnológicas são mais importantes para esse agrupamento, com a finalidade de substituir espécies madeiras comerciais consolidadas por espécies menos comercializadas.

## **2-MATERIAL E MÉTODOS**

As características físicas e mecânicas das madeiras das espécies amazônicas foram estimadas a partir das Redes Neurais Artificiais, seguindo a metodologia abordada no segundo artigo desta tese. As propriedades estimadas foram: contração tangencial, radial e volumétrica e as propriedades mecânicas flexão estática, compressão paralela e perpendicular às fibras, dureza Janka, tração, cisalhamento e fendilhamento. A densidade básica da madeira foi utilizada como variável de entrada (variável independente) da RNA. Foram utilizadas 133 espécies da região amazônica na análise da estimativa. Os dados foram divididos em dois grupos, um para o treinamento das RNA (80%) e outro para o teste-generalização (20%), isso para avaliar a capacidade de

generalização das redes. O grupo de treinamento não fez parte do grupo de teste das RNA. O software utilizado para o processamento dos dados das estimativas foi o Statistica 13 (STATSOFT, INC, 2016).

As espécies estudadas (Tabela 1) são provenientes da Floresta Nacional do Tapajós (PA), município de Tucumã (PA), Estação experimental de Curuá-una (PA), Belém (PA), região do Juruá Solimões (AM), Floresta Nacional de Caxiuanã (PA), município de Buriticupu (MA) e Floresta Nacional do Jamari (RO).

Tabela 1. Lista de espécies da Amazônia estudadas.

<b>Família</b>	<b>Nome vulgar</b>	<b>Nome científico</b>	<b>Código</b>
Fabaceae	Melancieira	<i>Alexa grandiflora</i> Ducke	E1
Fabaceae	Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr.	E2
Anacardiaceae	Muiracatiara	<i>Astronium lecointei</i> Ducke	E3
Moraceae	Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	E4
Bixaceae	Urucu-da-mata	<i>Bixa arborea</i> Huber	E5
Meliaceae	Andiroba	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	E6
Caryocaraceae	Pequiá	<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers.	E7
Boraginaceae	Freijó-branco	<i>Cordia bicolor</i> A. DC.	E8
Lecythidaceae	Tauari	<i>Couratari guianensis</i> Aubl.	E9
Lecythidaceae	Tauari-branco	<i>Couratari stellata</i> A.C.Sm.	E10
Fabaceae	Agelim-pedra	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	E11
Fabaceae	Cumarú	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	E12
Humiriaceae	Uchi	<i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrec.	E13
Fabaceae	Fava rosca	<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.	E14
Vochysiaceae	Quarubarana	<i>Erisma uncinatum</i> Warm.	E15
Euphorbiaceae	Mirindiba doce	<i>Glycydendron amazonicum</i> Ducke	E16
Goupiaceae	Cupiúba	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	E17
Fabaceae	Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	E18
Bignoniaceae	Parapará	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	E19
Sapotaceae	Maçaranduba	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) A. Chev.	E20
Lauraceae	Itaúba	<i>Mezilaurus itauba</i> (Meisn.) Taub. ex Mez	E21
Fabaceae	Fava-tucupi	<i>Parkia multijuga</i> Benth.	E22
Fabaceae	Timborana	<i>Pseudopiptadenia suaveolens</i> (Miq.) J. W. Grimes <i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire, Steyererm. & Frodin	E23
Araliaceae	Morototó		E24
Simaroubaceae	Marupá	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	E25
Bignoniaceae	Ipê	<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) G. Nicholson	E26
Fabaceae	Tachi-vermelho	<i>Tachigali chrysophylla</i> (Poepp.) Zarucchi & Herend.	E27
Combretaceae	Cuiarana	<i>Terminalia amazonica</i> (J.F.Gmel) Exell.	E28
Myristicaceae	Virola	<i>Virola michellii</i> Heckel	E29
Apocynaceae	Amapá-amargoso	<i>Parahancornia amapa</i> (Huber) Ducke	E30
Fabaceae	Angelim-da-mata	<i>Hymenolobium</i> sp.	E31
Apocynaceae	Araracanga	<i>Aspidosperma desmanthum</i> Benth. ex Müll. Arg.	E32

Fabaceae	Faveira	<i>Parkia oppositifolia</i> Spruce ex Benth.	E33
Sapotaceae	Goiabão	<i>Pouteria pachycarpa</i> T.D. Penn.	E34
Sapotaceae	Jará	<i>Pouteria</i> sp.	E35
Rutaceae	Pau-amarelo	<i>Euxylophora paraensis</i> Huber	E36
Salicaceae	Pau-jacaré	<i>Laetia</i> sp.	E37
Lecythidaceae	Seru	<i>Allantoma lineata</i> (Mart. & O. Berg) Miers	E38
Combretaceae	Taninbuca	<i>Buchenavia capitata</i> (Vahl) Eichler	E39
Moraceae	Amapá-doce	<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke	E40
Burseraceae	Breu	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	E41
Fabaceae	Copaíba	<i>Copaifera duckei</i> Dwyer	E42
Combretaceae	Cuiarana	<i>Buchenavia huberi</i> Ducke	E43
Fabaceae	Fava-bolota	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp.	E44
Fabaceae	Faveira tamboril	<i>Enterolobium maximum</i> Ducke	E45
Boraginaceae	Freijó	<i>Cordia goeldiana</i> Huber	E46
Boraginaceae	Freijó	<i>Cordia sagotti</i> I.M. Johnst.	E47
Lauraceae	Itaúba	<i>Mezilaurus lindaviana</i> Schwacke & Mez	E48
Salicaceae	Pau-jacaré	<i>Laetia procera</i> (Poepp.) Eichler	E49
Vochysiaceae	Quaruba-verdadeira	<i>Vochysia maxima</i> Ducke	E50
Malvaceae	Sumaúma	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	E51
Fabaceae	Tachi-preto	<i>Tachigali mymercophila</i> (Ducke) Ducke	E52
Lecythidaceae	Tauari	<i>Couratari oblongifolia</i> Ducke & R. Knuth	E53
Moraceae	Muiratinga-folha-peluda	<i>Helicostylis pedunculata</i> Benoist.	E54

As características tecnológicas que foram 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.

Foi utilizada neste trabalho a técnica de análise multivariada de conglomerado (Cluster analysis) com o propósito de agrupar as espécies, baseando-se nas suas características tecnológicas. Elaborou-se 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):

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

Sendo que  $d_{ij}$  = distância euclidiana estimada entre as espécies i e j;  $x_{hi}$  = característica tecnológica da espécie i,  $x_{hj}$  = característica tecnológica da espécie j; h = 1, 2, ..., 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 e SOUZA, 2006).

Foi utilizada a análise discriminante para avaliar o agrupamento e obter uma função matemática chamada de regra de discriminação, que é 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, feita 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. É 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 et al., 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 é a variável dependente categórica, que indica uma pontuação ou escore discriminante;  $\beta_0$  é o intercepto da função quando  $X_i = 0$ ;  $\beta_1$  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 realizado 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, INC, 2016) para as análises estatísticas de agrupamento e discriminante.

### 3-RESULTADOS

No dendrograma obtido para análise de agrupamento, realizando um corte ou linha “fenon” na distância Euclidiana de 20%, as espécies madeireiras foram separadas em três grupos distintos (Figura 1).

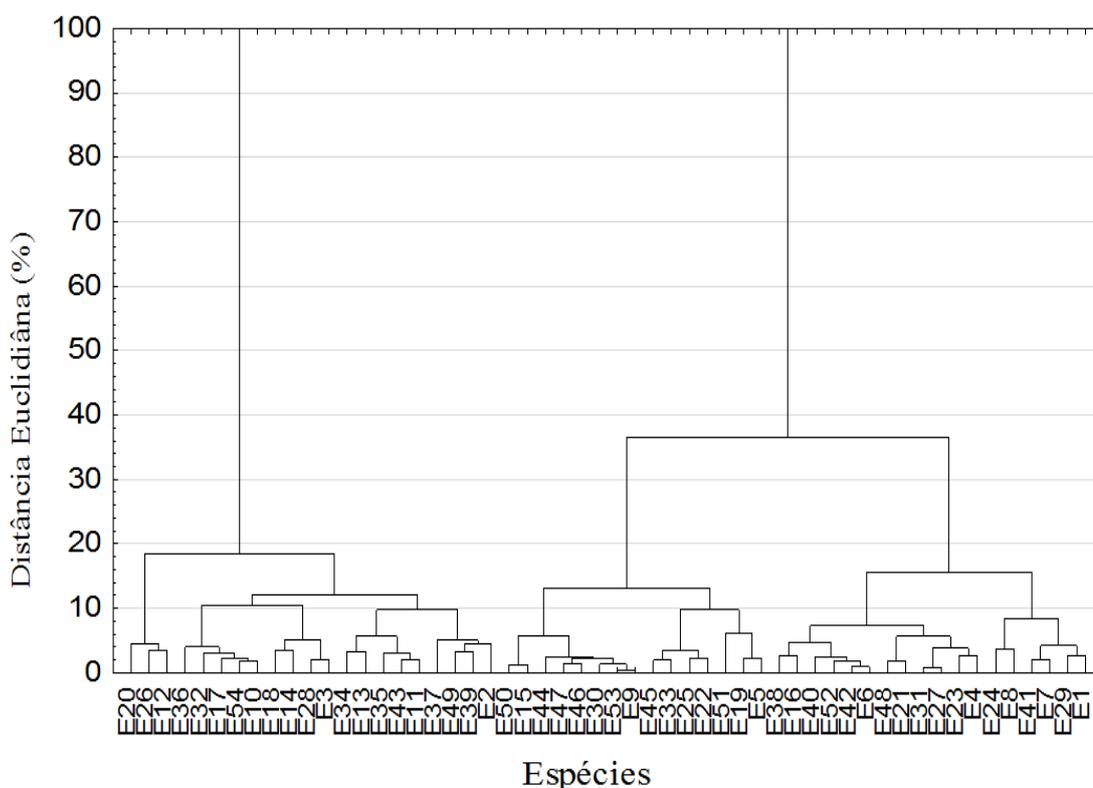


Figura 1. Dendrograma mostrando os grupos de espécies agrupadas por características tecnológicas da madeira, obtidos da análise de agrupamento utilizando a distância euclidiana simples e o método de Ward. E1: *Alexa grandiflora*; E2: *Apuleia leiocarpa*; E3: *Astronium lecointei*; E4: *Bagassa guianensis*; E5: *Bixa arborea*; E6: *Carapa guianensis*; E7: *Caryocar villosum*; E8: *Cordia bicolor*; E9: *Couratari guianensis*; E10: *Couratari stellata*; E11: *Dinizia excelsa*; E12: *Dipteryx odorata*; E13: *Endopleura uchi*; E14: *Enterolobium schomburgkii*; E15: *Erisma uncinatum*; E16: *Glycydendron*

*amazonicum*; E17: *Goupia glabra*; E18: *Hymenaea courbaril*; E19: *Jacaranda copaia*; E20: *Manilkara huberi*; E21: *Mezilaurus itauba*; E22: *Parkia multijuga*; E23: *Pseudopiptadenia suaveolens*; E24: *Schefflera morototoni*; E25: *Simarouba amara*; E26: *Tabebuia serratifolia*; E27: *Tachigali chrysophylla*; E28: *Terminalia amazonica*; E29: *Viola michellii*; E30: *Parahancornia amapa*; E31: *Hymenolobium* sp.; E32: *Aspidosperma desmanthum*; E33: *Parkia oppositifolia*; E34: *Pouteria pachycarpa*; E35: *Pouteria* sp.; E36: *Euxylophora paraenses*; E37: *Laetia* sp.; E 38: *Allantoma lineata*; E39: *Buchenavia capitata*; E40: *Brosimum parinarioides*; E41: *Protium heptaphyllum*; E42: *Copaifera duckei*; E43: *Buchenavia huberi*; E44: *Parkia pendula*; E45: *Enterolobium maximum*; E46: *Cordia goeldiana*; E47: *Cordia sagotti*; E48: *Mezilaurus lindaviana*; E49: *Laetia procera*; E50: *Vochysia máxima*; E51: *Ceiba pentandra*; E52: *Tachigali mymercophila*; E53: *Couratari oblongifolia*; E54: *Helicostylis pedunculata*.

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. 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*, *Viola michellii*, *Hymenolobium* sp., *Allantoma lineata*, *Brosimum parinarioides*, *Protium heptaphyllum*, *Copaifera duckei*, *Mezilaurus lindaviana*, *Tachigali mymercophila*. E o grupo III foi constituído pelas espécies: *Bixa arborea*, *Couratari guianensis*, *Couratari oblongifolia*, *Erisma uncinatum*, *Jacaranda copaia*, *Parkia multijuga*, *Simarouba amara*, *Parahancornia amapa*, *Parkia oppositifolia*, *Parkia pendula*, *Enterolobium maximum*, *Cordia goeldiana*, *Cordia sagotti*, *Vochysia máxima*, *Ceiba pentandra*.

No grupo I destaca-se as espécies *Couratari stellata* e *Helicostylis pedunculata*, que 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*, espécies conhecidas principalmente pela boa qualidade da sua madeira e por possuírem alto valor comercial, como é o caso do Ipê (*Tabebuia serratifolia*), que é a espécie mais comercializada principalmente para o mercado internacional.

O grupo II foi composto por 18 espécies, dentre elas *Carapa guianensis* e *Viola michellii*, que são espécies comerciais da região e de uso consolidado. Destacando-se neste grupo a espécie *Tachigali chrysophylla*, que ainda é pouco comercializada, mas

segundo o agrupamento possui características físicas e mecânicas da madeira semelhantes às de espécies comerciais consolidadas. O grupo III foi constituído principalmente por espécies de rápido crescimento na floresta como *Ceiba pentandra*, *Parkia multijuga* e *Bixa arborea*.

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 torna-se 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 seja avaliada 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.

Tabela 2. Função discriminante. FE-flexão estática; MR-máxima resistência; EP-esforço no limite proporcional.

Variáveis	Unidades	Função 1	Função 2
Intercepto	-	-14,916160	5,525566
Densidade básica	g.cm <sup>3</sup>	16,969901	-8,267818
Contração tangencial	%	-0,227443	-1,083790
Contração radial	%	0,250082	-0,287920
Contração volumétrica	%	0,643873	0,462242
FE (módulo de ruptura)	Kgf/cm <sup>2</sup>	0,006869	-0,005843
FE (módulo de elasticidade)	1000Kgf/cm <sup>2</sup>	-0,047013	0,097682
Compressão paralela às fibras	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) MR	-0,008167	-0,019625
Compressão perpendicular às fibras	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) EP	-0,006378	0,039967
Dureza Janka paralela	Kgf	0,002069	0,003667
Dureza Janka transversal	Kgf	-0,004913	0,008171
Tração (perpendicular às fibras)	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) MR	0,014497	0,000389
Fendilhamento	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) MR	-0,084314	0,055693
Cisalhamento	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) MR	0,058420	-0,045959
Wilks'Lambda	-	0,0496	0,5792
Correlação canônica	-	0,9563	0,6487
(Correlação canônica) <sup>2</sup>	-	0,9144	0,4208

O teste Wilks'Lambda (Tabela 3) também 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 propriedade físico-mecânica 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 3).

Tabela 3. Teste Wilks'Lambda e análise de variância (ANOVA). FE-flexão estática; MR-máxima resistência; EP-esforço no limite proporcional.

Variáveis	Unidades	Teste Wilks	F	p-valor
Intercepto	-	0,673039	5,586685	0,010531
Densidade básica	g.cm <sup>3</sup>	0,759053	3,650448	0,041989
Contração tangencial	%	0,937347	0,768669	0,475176
Contração radial	%	0,982891	0,200183	0,819992
Contração volumétrica	%	0,926450	0,912978	0,415385
FE (módulo de ruptura)	Kgf/cm <sup>2</sup>	0,907041	1,178586	0,325620
FE (módulo de elasticidade)	1000Kgf/cm <sup>2</sup>	0,874791	1,645992	0,214734
Compressão paralela às fibras	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) MR	0,825594	2,429371	0,110360
Compressão perpendicular às fibras	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) EP	0,913204	1,093025	0,351989
Dureza Janka paralela	Kgf	0,931489	0,845829	0,442122
Dureza Janka transversal	Kgf	0,889453	1,429296	0,259965
Tração (perpendicular às fibras)	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) MR	0,993964	0,069835	0,932745
Fendilhamento	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) MR	0,931804	0,841651	0,443846
Cisalhamento	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) MR	0,802960	2,822010	0,080164

O percentual de acerto do treinamento para os três grupos que foram discriminados foi de 100% (Tabela 4), 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 4. Percentual de acerto da análise discriminante em relação ao treinamento e teste dos dados.

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

Foi calculado também os coeficientes das funções de classificação (Tabela 5). Esses coeficientes são importantes para classificar novas espécies nos grupos I, II ou III. Para incluir uma nova espécie em um desses grupos é necessário multiplicar o valor de cada propriedade físico-mecânica por seu respectivo coeficiente e somar todos os valores. Sendo assim, a nova espécie pertencerá ao grupo com o maior valor das funções dentre as funções de classificação.

Tabela 5. Coeficientes das funções de classificação dos grupos.

Variáveis	Unidades	Funções de classificação		
		I	II	III
Intercepto	-	-264,624045	-218,498719	-154,307331
Densidade básica	g.cm <sup>3</sup>	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 <sup>2</sup>	0,083112	0,069738	0,030096
FE (módulo de elasticidade)	1000Kgf/cm <sup>2</sup>	-1,072718	-1,081375	-0,706795
Compressão paralela às fibras	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) MR	0,007466	0,069518	0,069102
Compressão perpendicular às fibras	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) 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 <sup>2</sup> ) MR	-0,665984	-0,716304	-0,777208
Fendilhamento	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) MR	2,102357	2,294365	2,752306
Cisalhamento	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) MR	1,558377	1,438139	1,107651

#### 4-DISCUSSÃO

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 aos das espécies mais comercializadas da região amazônica. Essas espécies apresentam distribuição diamétrica contínua e decrescente, 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 e SOARES, 2013). *Helicostylis pedunculata*, *Couratari stellata*, *Tachigali chrysophylla* são potenciais para comercialização, pois possuem elevada densidade e distribuição diamétrica que favorece a recomposição florestal.

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. A massa específica (massa por volume) ou densidade da madeira está entre as principais propriedades físicas da madeira (ARAUJO, 2007). Segundo Burger e Richter (1991) essa propriedade, no que se refere a composição química e o volume de matéria lenhosa por peso, é talvez a característica tecnológica mais importante da madeira, pois dela dependem estreitamente outras propriedades.

A densidade é uma quantificação direta do material lenhoso por unidade de volume, e está relacionada a muitas propriedades e características tecnológicas fundamentais para a produção e utilização dos produtos florestais, sendo um dos parâmetros mais importantes entre as diversas propriedades físicas da madeira, pois afeta todas as demais propriedades (SHIMOYAMA, 1990).

A resistência ao cisalhamento da madeira e a resistência a compressão no sentido das fibras tem grande relação com a densidade da madeira, sendo assim, com o aumento da densidade, também é maior a resistência da madeira ao cisalhamento e compressão paralela às fibras. Diversos estudos ressaltam a alta correlação das propriedades mecânicas com a densidade da madeira como em Armstrong et al. (1984), Araujo (2007), 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, compressões paralela e perpendicular e cisalhamento) e de rigidez (módulo de elasticidade à flexão estática).

Os coeficientes das funções de classificação calculados são importantes para inserir novas espécies a um dos três grupos formados. 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, 2009).

## 5-CONCLUSÃO

A análise de Cluster, pelo método de Ward e distância euclidiana simples, foi eficiente para o agrupamento das espécies. As espécies madeireiras estudadas foram separadas em três grupos distintos. Destacaram-se 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 a colheita, podendo ser substitutas das espécies comerciais consolidadas, diminuindo a superexploração e diversificando o manejo florestal na Amazônia.

A densidade básica, o cisalhamento e a compressão paralela às fibras foram as características físico-mecânicas mais importantes para discriminar os grupos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRUZZI, R. C.; PIRES, M. R.; DEDAVID, D. A.; KALIL, S. B. Relação das propriedades mecânicas e densidade de postes de madeira de eucalipto com seu estado de deterioração. **Revista Árvore**, v. 36, n. 6, p. 1173 -1181, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622012000600018>.

ADEODATO, S.; VILLELA, M.; BETIOL, L.S.; MONZONI, M. **Madeira de ponta a ponta: o caminho desde a floresta até o consumo**. São Paulo: FGV ERA, 2011. 128p.

ARAÚJO, H. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 399-416, 2007.

ARMSTRONG, J. P.; SKAAR, C.; ZEEUW, C. The effect of specific gravity on several mechanical properties of some world woods. **Wood Science and Technology**, v. 18, n. 2, p. 137-146, 1984. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00350472>

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel. 1991. 154p.

FAVERO, L. P.; BELFIORE, P.; SILVA, F. L.; CHAN, B. L. **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Elsevier. 2009. 368p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de biomas e vegetações**. 2004. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm#sub\\_pesquisa](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm#sub_pesquisa) >Acesso: 20 de setembro de 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Madeiras da Amazônia: características e utilização**. v.3 IBAMA: Brasília, 1997. 141p.

LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. **A Expansão Madeireira na Amazônia. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. IMAZON, 2011**. Disponível em: <<http://www.imazon.org.br/publicacoes/o-estado-da-amazonia/a-expansao-madeireira-na-amazonia-1>>. Acesso: 20 de setembro de 2016.

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: Editora UFMG, p. 297, 2005.

MORAES NETO, S. P.; TELES, R. F.; RODRIGUES, T. O; VALE, A. T.; SOUZA, M. R. Propriedades mecânicas da madeira de cinco procedências de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* implantadas no cerrado do Distrito Federal, DF. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, **Boletim de pesquisa e desenvolvimento** 251. 20p. 2009.

PROTASIO, T. P.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; MENDES, R. F.; GUIMARÃES, B. M. R. Correlações entre as propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados de

diferentes espécies de *Eucalyptus*. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 2, p. 123 - 132, 2012.  
<http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.014>

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE (SEMAS-PA).  
**Comercialização Total por Destino das Vendas: 2015**. Disponível em:<<http://monitoramento.sema.pa.gov.br/sisflora/index.php/relatorios>>. Acesso: 20 de setembro de 2016.

SHIMOYAMA, V. R. **Variáveis da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** 1990. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). ESAUQ, Piracicaba, 1990.

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

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.

STASOFT INC, 2016. StatSoft. Stat. **Data Anal.** Softw. Syst. 13. URL <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**, v. 23, n. 2, p. 166–176, 2011.

## ARTIGO IV

### PROPRIEDADES DA MADEIRA E DO CARVÃO DE *Couratari stellata* A. C. SM

**RESUMO** - Lecythidaceae é uma das famílias mais representativas da flora Amazônica e possui diversas espécies produtoras de madeira de boa qualidade. O objetivo desse trabalho foi descrever anatomicamente a madeira de *Couratari stellata* A. C. Sm., determinar suas propriedades físico-mecânicas (densidade básica, contrações tangencial, radial e volumétrica, flexão estática, compressão paralela e perpendicular às fibras, dureza Janka paralela e transversal, tração, fendilhamento e cisalhamento), a análise química imediata (teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo) e poder calorífico da madeira e do carvão, rendimento gravimétrico do carvão, gases condensáveis e gases não condensáveis e a friabilidade do carvão vegetal. A madeira de *Couratari stellata* pode ser identificada a nível de espécie na microscopia através dos vasos/poros solitários, em arranjo diagonal, parênquima axial escasso e em linhas reticuladas, raios multisseriados, heterogêneos e presença de fibras septadas. A madeira da espécie apresentou características favoráveis ao uso, podendo ser uma substituta de outras espécies com características semelhantes. O resíduo da madeira de *Couratari stellata* pode ser utilizado para produção de carvão para uso doméstico.

Palavras-chave: Tauarí, madeiras da Amazônia, propriedades anatômicas, físicas e químicas

### PROPERTIES OF WOOD AND COAL OF *Couratari stellata* A. C. SM

**ABSTRACT** – Lecythidaceae is one of the most representative families of the Amazonian flora and has several good quality wood producers species. The objective of this work was to describe anatomically the wood of *Couratari stellata* AC Sm., to determine its physico-mechanical properties (basic density, tangential, radial and volumetric contractions, static flexion, parallel and perpendicular compression to the fibers, parallel and transverse Janka hardness, cracking and shearing), the immediate chemical analysis (volatile matter content, ash and fixe carbono content) and calorific power of wood and coal, gravimetric yield of coal, condensable gases and non-condensable gases and the friability of charcoal. The *Couratari stellata* wood can be identified at the species level in the microscopy through solitary vessels / pores, diagonal arrangement, scarce axial parenchyma and in reticulated lines, multisseries,

heterogeneous rays and presence of septate fibers. The wood of the species presented characteristics favorable to the use, being able to be a substitute of other species with similar characteristics. The residue of the wood of *Couratari stellata* can be used for the production of charcoal for domestic use.

Keywords: Tauari, Amazon woods, Anatomical, physical and chemical properties

## 1- INTRODUÇÃO

A família Lecythidaceae é encontrada principalmente em regiões tropicais. E compreende aproximadamente 325 espécies dentro de 22 gêneros em todo o mundo. Sendo que 11 gêneros e cerca de 210 espécies descritas ocorrem no Ocidente. Lecythidaceae é uma família botânica muito conhecida, principalmente pela espécie *Bertholletia excelsa* Bonpl., sendo um dos grupos de árvores mais dominantes do norte da América do Sul. No Brasil, existem 10 gêneros e cerca de 120 espécies, sendo aproximadamente 45% das espécies endêmicas do país. O principal centro de diversidade de Lecythidaceae no mundo, fica na região amazônica, mais especificamente do estado do Amazonas, onde há mais de 75 espécies (TER STEEGE et al., 2006; PRANCE, 2012; SMITH et al., 2015; MORI et al., 2016; SMITH et al., 2016).

As espécies de Lecythidaceae abrangem desde árvores pequenas até árvores de grande porte, que crescem principalmente em matas higrófilas abaixo de mil metros de altitude. Somente 14 espécies (todas do gênero *Eschweilera*), das 200 espécies do continente americano, encontram-se acima de mil metros de altitude. A maioria das espécies encontra-se em terra firme, mas algumas ocorrem preferencialmente na várzea, como *Couratari oligantha* A. C. Smith, *Couratari tenuicarpa* A. C. Smith e *Eschweilera ovalifolia* (DC.) Nied. Poucas espécies ocorrem no cerrado (MORI, 1988). Lecythidaceae tem sido observada como uma das famílias mais importantes na composição florística em diversos locais da Amazônia brasileira. Trabalhos realizados por Pinheiro et al. (2007), Reis et al. (2010) e Reis et al. (2014a) mostram Lecythidaceae sempre entre as três famílias com maior densidade na área.

Além da sua grande importância ecológica para as florestais neotropicais, as Lecythidaceae também possuem grande importância econômica para a região amazônica. Na Amazônia brasileira um dos produtos florestais não madeireiros mais importantes economicamente é a castanha-do-pará, que move o extrativismo da região.

As madeiras das espécies dessa família também são muito valorizadas na região, principalmente no estado do Pará, onde atualmente são colhidas 28 espécies de Lecythidaceae para produção de madeira (REIS et al, 2016).

O gênero *Couratari* apresenta árvores de grande porte, com altura variando de 25 a 48 m, com diâmetro máximo podendo atingir 150 m. As espécies desse gênero são muito conhecidas por apresentar sílica na sua madeira. As espécies de *Couratari*, são amplamente comercializadas para a colheita madeireira, principalmente a espécie *Couratari guianensis* Aubl. que não possui sílica. Já *C. stellata* por apresentar maior quantidade de sílica é menos comercializada, pois pode ocasionar danos ao maquinário durante o desdobro, devido seu efeito abrasivo sobre os elementos de corte. Sendo necessário para esta espécie a elaboração de técnicas de desdobro mais apropriadas e o uso de serras especiais (PROCÓPIO & SECCO, 2008; REIS et al, 2016). *C. stellata* possui poucos estudos sobre suas propriedades tecnológicas da madeira e do carvão.

Para promover novas espécies potenciais madeireiras é necessária uma série de informações que fundamentam sua utilização no mercado, principalmente sobre propriedades tecnológicas da madeira. As determinações das características físicas e mecânicas das madeiras são importantes para decidir sobre o seu uso adequado, com isso, aumentando o número de espécies a serem utilizadas e diminuindo a pressão sobre as espécies mais comerciais. Também favorece o manejo florestal, pois com o aumento do número de espécies comerciais, é possível aumentar a produção por unidade de área e adotar mais opções de colheitas.

Estudos sobre o rendimento gravimétrico do carvão de espécies potenciais também são de grande importância para a comercialização de novas espécies para esse fim, e principalmente para destinar novos usos para os resíduos florestais, tanto resíduos da colheita como resíduos de serraria. O desperdício de madeiras colhidas na região amazônica pode ocorrer tanto após a colheita, com o não aproveitamento dos galhos, como na serraria, visto que, um maquinário antigo ou pouco eficiente pode gerar uma grande quantidade de resíduos. Segundo Gerwing et al. (2001), estudando o rendimento do processamento de madeiras no estado do Pará, os rendimentos médios para as laminadoras são de 39%, de serrarias que produzem para o mercado doméstico de 36% e de serrarias que produzem para exportação de 32%.

O objetivo desse trabalho foi descrever anatomicamente a madeira de *Couratari stellata* A. C. Sm., e também determinar suas propriedades (químicas, físicas e

mecânicas), o rendimento gravimétrico, a análise química imediata e a friabilidade do carvão, a fim de caracterizar a madeira e o carvão desta espécie.

## **2- MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Material utilizado para análise**

O material deste estudo é proveniente de resíduo de serraria de oito árvores de *Couratari stellata* A.C. Sm., oriundas da segunda colheita ocorrida na Floresta Nacional do Tapajós (FLONA Tapajós). Sendo consideradas madeiras de segundo ciclo de corte, ou seja, originária de espécies que foram favorecidas pela colheita florestal e aumentaram sua densidade (árvore/ha<sup>-1</sup>) na área.

A espécie estudada ocorre na Floresta Nacional do Tapajós, localizada no km 67 (55° 00' W, 2° 45' S) da Rodovia BR-163, Cuiabá-Santarém (REIS et al., 2010). Em dezembro de 2014, a FLONA Tapajós completou seu primeiro ciclo de corte (34 anos). Foram colhidas 35 espécies na área de 70,5 ha, sendo removido o volume de 15,3324 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. *Couratari stellata* foi uma das espécies colhidas em 2014.

Foram retiradas 2 amostras de cada árvore de *Couratari stellata*, a aproximadamente seis metros de altura, a média da altura comercial das árvores estudadas foi de 25,3 m.

### **2.2. Caracterização anatômica da madeira**

Foram retirados corpos de provas das amostras de madeiras nas dimensões sugeridas por Coradin e Bolzon de Muñiz (1991): 1,5 cm na direção tangencial; 2,0 cm na direção radial e 3,0 cm na direção longitudinal. Na caracterização macroscópica foi realizada a descrição das características da madeira utilizando uma lupa de aumento de 10 vezes.

Para a análise microscópica os corpos de prova foram imersos e fervidos em água destilada para o amolecimento da madeira. Com auxílio de um micrótomo de deslize horizontal foram retiradas finas seções das amostras com espessura de 16 µm. Essas seções foram clarificadas com hipoclorito de sódio a 60%, lavadas em água destilada e coradas com solução de safranina, para a montagem das lâminas semipermanentes. A descrição da madeira foi realizada em microscópio óptico, seguindo normas da IAWA Committee (1989). Foi utilizado para captura das imagens e medições das estruturas anatômicas com o software AxioVision 4.9.

Para o preparo do material macerado foram retirados pequenos fragmentos de madeira e transferidos para tubos de ensaio com solução macerante composto por peróxido de hidrogênio e ácido acético glacial na proporção de 1:1 (DADSWELL, 1972). Em seguida o material foi para estufa a 60 °C por 48 horas, lavado com água corrente e corados com corante azul de astra para posterior montagem das lâminas semipermanentes. Foram mensurados o comprimento e largura das fibras e largura do lume. A espessura da parede foi estimada pela formula:

$$EP = \frac{L - DL}{2} \quad (1)$$

Onde: EP é a espessura da parede ( $\mu\text{m}$ ); L é a largura ( $\mu\text{m}$ ); DL é o diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ ).

### 2.3. Propriedades físicas e mecânicas

Para a determinação da densidade básica (Db) da madeira de *Couratari stellata* A.C. Sm. foi utilizado o método de imersão em água, que seguiu a norma da ABNT NBR 11941 (ABNT, 2003).

As propriedades físicas, contração tangencial, radial e volumétrica, e as propriedades mecânicas flexão estática, compressão paralela e perpendicular às fibras, dureza Janka, tração, cisalhamento e fendilhamento foram estimadas a partir da densidade básica utilizando Redes Neurais Artificiais (RNA) seguindo a metodologia do segundo artigo desta tese.

Os dados das propriedades físicas e mecânicas das madeiras foram obtidos de estudos de espécies da região amazônica. Os dados das propriedades físicas e mecânicas das madeiras foram obtidos de estudos de espécies da região amazônica. As fontes foram as publicações do IBDF (1981), Lopes et al. (1983), IBDF (1988), IBAMA (1997) e LPF (2016). Foram utilizadas na análise 135 espécies, sendo que os dados foram divididos em dois grupos, um para o treinamento das RNA (80%) e outro para o teste-generalização (20%), isso para avaliar a capacidade de generalização das redes. O grupo de treinamento não fez parte do grupo de teste das RNA.

A variável de entrada das RNA foi densidade básica da madeira. E as variáveis simultâneas de saída (múltiplas saídas) e simples das RNA foram: contração tangencial;

contração radial; contração volumétrica; flexão Estática (módulo de ruptura); flexão estática (módulo de elasticidade); compressão paralela e perpendicular às fibras; dureza de Janka paralela e transversal às fibras; tração perpendicular às fibras; fendilhamento; cisalhamento. O software Statistica 13 (STATSOFT, INC, 2016) foi utilizado para o processamento dos dados.

#### **2.4. Carbonização da madeira**

Para carbonização da madeira foram retiradas amostras das oito árvores a aproximadamente seis metros de altura formando uma única amostra composta com 369,1g de madeira, que foi seca em estufa a  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  até o peso constante. A carbonização foi realizada em um forno de mufla, com controle da temperatura, iniciando em uma temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$ , o controle do aquecimento foi manual com aumento de  $50^{\circ}\text{C}$  da temperatura a cada 30 minutos até atingir a temperatura final de  $450^{\circ}\text{C}$ , permanecendo estabilizada por um período de 60 min. A média da temperatura foi de  $1,67^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  e o período total da carbonização foi de 4 horas e 30 minutos.

Após a carbonização foram determinados os valores do rendimento gravimétrico do carvão vegetal (RGCV), de gases condensáveis (RGGC) e gases não condensáveis (RGGNC), com base no valor de massa seca da madeira. O rendimento gravimétrico em percentagem do carvão foi determinado pelo quociente entre o peso do carvão seco e o peso da madeira seca, o valor dos gases condensáveis e não condensáveis foram obtidos por diferença em relação ao peso da madeira seca.

Para determinação do índice ou grau de friabilidade do carvão vegetal, utilizou-se um friabilômetro MA 791. O carvão foi pesado e depois colocado em um tambor rotatório a 30 RPM por 17 minutos, logo após esse processo o carvão foi pesado novamente. Foi calculada a diferença da massa do carvão, obtendo assim a percentagem da friabilidade do carvão, sendo realizadas duas repetições.

#### **2.5. Poder calorífico da madeira e do carvão**

Na determinação do poder calorífico superior (PCS) foi utilizada uma amostra composta, que previamente foi dimensionada na forma de palitos, que, por sua vez, foram secos em estufa a  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  até o peso constante. A amostra foi transformada em serragem por meio de um triturador de madeira e posteriormente passada em uma peneira de malha de 40 mesh, sendo retida em uma peneira de malha de 60 mesh

(ASTM, 1982). Para determinar o PSC foi utilizada uma bomba calorimétrica adiabática IKA300, e seguiu-se a metodologia apresentada na norma da ABNT NBR 8633 (ABNT, 1984). Para a determinação do PCS do carvão foi realizado o mesmo processo da madeira, sendo que o carvão oriundo da carbonização foi triturado e peneirado para posterior análise. Tanto para a análise da madeira quanto para a de carvão foram realizadas duas repetições.

## **2.6. Análise química imediata da madeira e do carvão**

Para a composição química imediata da madeira a amostra composta foi triturada e passada por uma peneira de malha de 40 mesh, sendo retida na peneira de malha de 60 mesh (ASTM, 1982). O carvão também foi triturado e peneirado semelhante ao processo realizado com a madeira. Os procedimentos seguiram a norma da ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986). O resultado desse procedimento determinou os teores de matérias voláteis (MV), cinzas (Cz) e carbono fixo (CF), em base seca.

O trabalho foi realizado no Laboratório de Propriedades da Madeira (LPM) e no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) do Departamento de Engenharia Florestal (DEF) da Universidade Federal de Viçosa, MG.

## **3-RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1 Caracterização macro e microscópica**

Na caracterização macroscópica, *Couratari stellata* apresentou anéis de crescimento indistintos, vasos distintos a olho nu, desobstruídos, solitários em sua maioria, dispostos em arranjo diagonal e porosidade difusa. Parênquima axial indistinto sob lente. Raios distintos a olho nu nas seções transversal e radial, não estratificados.

Na caracterização microscópica apresentou: anéis de crescimento indistintos. Vasos predominantemente solitários (64%), também ocorrendo múltiplos de dois (24%) e múltiplos de três (12%), com placa de perfuração simples e pontoações intervasculares alternas, apresentando vasos pequenos à grandes (54,40 a 286,87  $\mu\text{m}$ ), diâmetro tangencial médio de 159,80  $\mu\text{m}$  (Tabela 1). Porosidade difusa e arranjo diagonal dos vasos. Parênquima axial paratraqueal escasso e apotraqueal reticulado. Raios não estratificados e heterogêneos, com células procumbentes em sua maioria, apresentando também células eretas, multisseriados, sendo predominantemente trisseriados,

ocorrendo também bisseriados e poucos unisseriados, com altura média de 411,67  $\mu\text{m}$  e largura média de 52,55  $\mu\text{m}$ . Fibras não septadas e poucas septadas.

Tabela 1. Dados quantitativos de vasos/poros, fibras e raios de *Couratari stellata* A.C. Sm.

Análise descritiva	Fibra			Vasos		Raios	
	Comprimento (mm)	Diâmetro do lume ( $\mu\text{m}$ )	Espessura da parede ( $\mu\text{m}$ )	Diâmetro ( $\mu\text{m}$ )	Nº de poros/ $\text{mm}^2$	Altura ( $\mu\text{m}$ )	Largura ( $\mu\text{m}$ )
Média	1,67	12,85	6,41	159,80	3,77	411,67	52,55
Maior valor	2,45	29,52	13,96	286,87	10,83	842,46	84,91
Menor valor	1,01	2,42	1,67	54,40	0,83	101,79	15,09
Desvio padrão	0,25	4,68	2,30	44,38	2,31	152,45	15,17
Coefficiente de variação	15,22	36,41	35,81	27,77	61,29	37,03	28,86

A espécie apresentou vasos predominantemente solitários (Figura 1A), com placas de perfuração simples, porosidade difusa e arranjo diagonal. Resultados semelhantes também foram encontrados por Fedalto et al. (1989) e Coradin et al. (2010) analisando espécies do gênero *Couratari*. Outros estudos também encontraram esses resultados para o gênero *Cariniana* como em Cury & Tomazello Filho (2011) e Rodrigues et al. (2012) e para o gênero *Eschweilera* como em estudos de Paula (2003). Demonstrando que vasos predominantemente solitários, porosidade difusa e placa de perfuração simples podem ser características anatômicas comuns a madeira das espécies da família Lecythidaceae. A espécie apresentou vasos com diâmetro tangencial variando de 54,40 a 286,87  $\mu\text{m}$ . Segundo a classificação de Botosso (2009) os vasos de *C. stellata* variam de pequenos (> 100  $\mu\text{m}$ ) à grandes (>200  $\mu\text{m}$ ).

Os vasos são estruturas que ocorrem, salvo raras exceções, em todas as angiospermas, constituindo o principal elemento de diferenciação entre gimnospermas e angiospermas (BOTOSSO, 2009). De acordo com Burger & Richter (1991), os vasos (distribuição, abundância, tamanho e agrupamento) são características importantes para a identificação de espécies e propriedades tecnológicas da madeira.

A espécie apresentou parênquima axial escasso e em linhas formando desenhos semelhantes a retângulos com os raios (Figura 1A). Esse tipo de parênquima reticulado é comum ao gênero *Couratari*, sendo encontrado também em espécies do gênero

*Cariniana*, *Bertholletia* e *Eschweilera*, como verificado em estudos de Coradin et al. (2010) e Reis & Reis (2016). O parênquima axial desempenha a função de armazenamento no lenho. Suas células geralmente se destacam das demais por apresentarem paredes finas não lignificadas, pontuações simples, e por sua forma nos planos longitudinais (BURGER & RICHTER, 1991). O parênquima axial é uma estrutura muito utilizada na identificação de madeiras, tendo juntamente com o parênquima radial grande importância para essa finalidade. Pois os raios possuem uma variação morfológica muito grande, quanto ao tipo, número e tamanho de células.

A espécie apresentou fibras não septadas em sua maioria e poucas fibras septadas (Figura 1B e 1D). O estudo das fibras é de grande importância para a tecnologia da madeira, pois sua porção no volume total e a espessura de suas paredes influenciam diretamente a densidade da madeira (REIS et al., 2014b) e suas propriedades mecânicas, visto que, ambas são influenciadas pela espessura da parede da fibra.

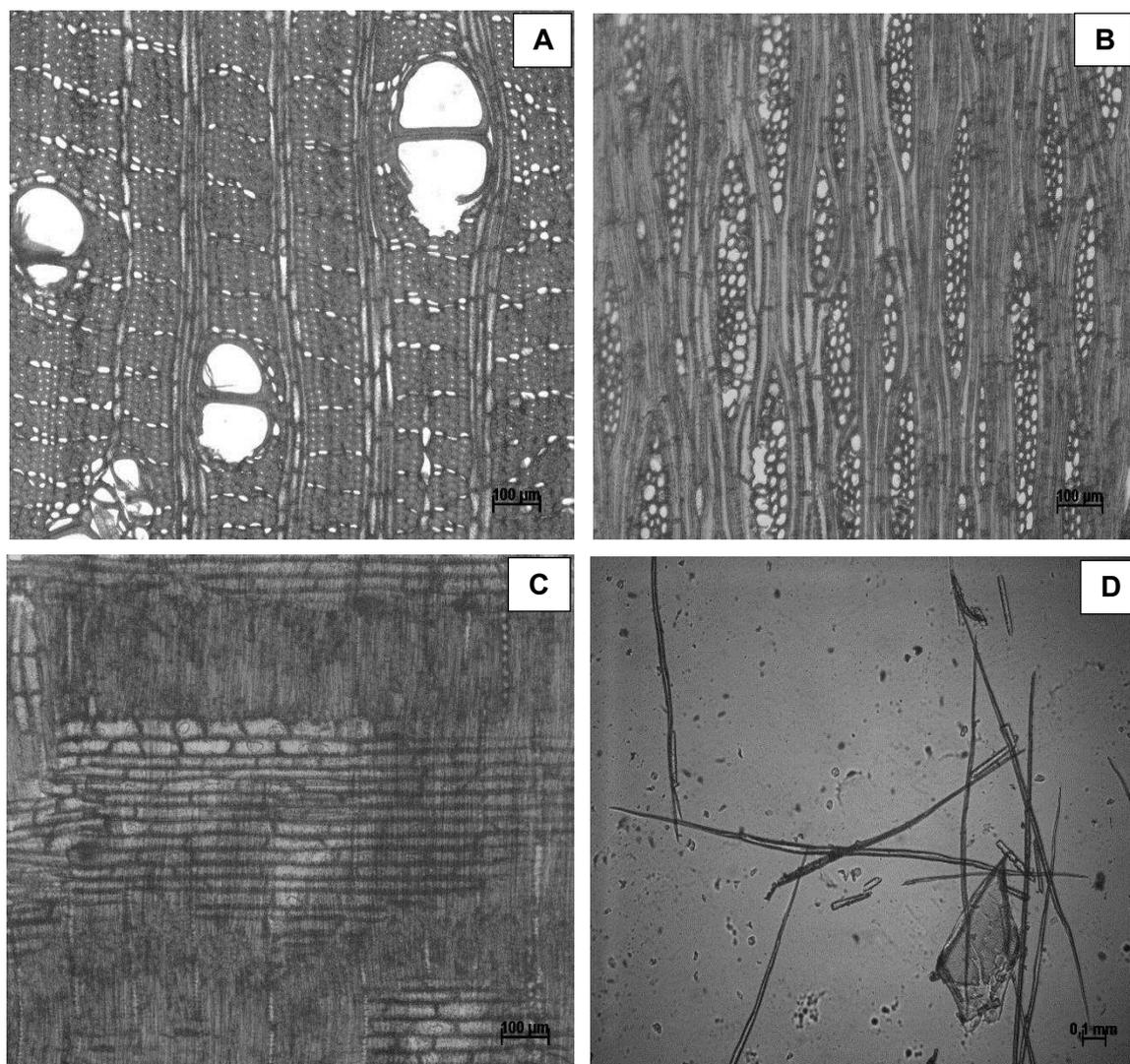


Figura 1. Imagens microscópicas de *Couratari stellata*. A: Seção transversal; B: Seção longitudinal tangencial; C: Seção longitudinal radial; D: Fibras e vaso.

### 3.2. Propriedades físicas e mecânicas da madeira

O valor da densidade básica da madeira de *C. stellata* foi  $0,58 \text{ g.cm}^3$  (Tabela 2). Resultados semelhantes também foram encontrados por Coradin et al. (2010), Pereira (2013) e IPT (2013) para o gênero *Couratari*. A espécie apresenta densidade média segundo a classificação do IBAMA (1997). A madeira das espécies do gênero *Couratari* (*C. stellata*, *C. guianensis* e *C. oblongifolia*) podem ser indicadas para fabricação de caixas, engradados, paletes, embalagens leves, fabricação de andaimes, formas de concreto, construção naval, assoalhos e revestimentos de barco, cais para embarcações, fabricação de móveis, peças decorativas, brinquedos, instrumentos musicais e embalagens (PEREIRA, 2013).

Tabela 2. Propriedades físicas e mecânicas de *Couratari stellata* A.C. Sm. FE-flexão estática; COMP-compressão; MR-máxima resistência; EP-esforço no limite proporcional.

<i>Couratari stellata</i>	Propriedades	Valores	Unidades
Propriedades físicas	Densidade básica	0,58	g.cm <sup>3</sup>
	Contração tangencial	8,83	%
	Contração radial	4,94	%
	Contração volumétrica	12,77	%
Propriedades mecânicas	FE (módulo de ruptura)	1268,98	Kgf/cm <sup>2</sup>
	FE (módulo de elasticidade)	140,20	1000Kgf/cm <sup>2</sup>
	COMP (paralela às fibras)	656,31	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) MR
	COMP (perpendicular às fibras)	104,79	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) EP
	Dureza Janka paralela	971,31	Kgf
	Dureza Janka transversal	794,21	Kgf
	Tração (perpendicular às fibras)	44,09	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) MR
	Fendilhamento	57,91	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) MR
Cisalhamento	139,35	(Kgf/cm <sup>2</sup> ) MR	

Nas propriedades de contração e propriedades mecânicas considerar o teor de umidade de 12%.

A densidade básica tem muita importância quando a madeira é usada para geração de energia, pois expressa a quantidade de massa de madeira, sem a influência da umidade, sendo uma informação essencial para o dimensionamento das unidades de geração de energia, do rendimento e eficiência da biomassa nos sistemas de geração (BRAND, 2010). Segundo Carneiro et al. (2014), a densidade básica da madeira está diretamente relacionada com a produção de energia, pois, quanto maior a densidade, maior a quantidade de energia estocada por metro cúbico. Sendo assim, essa propriedade é muito importante para a escolha de espécies para queima direta da madeira.

Segundo Burger & Richter (1991), a massa específica, no que se refere a composição química e o volume de matéria lenhosa por peso, é talvez a característica tecnológica mais importante da madeira, pois dela dependem estreitamente outras propriedades. Essa propriedade pode variar entre 0,13g/cm<sup>3</sup> e 1,40 g/cm<sup>3</sup>.

A densidade da madeira é um referencial importante no que tange a qualificação da madeira para o uso mais apropriado, aliado as características anatômicas e físicas, são de fundamental importância para a utilização da madeira. Inclusive orienta na elaboração de programas de secagem e imunização da madeira (PAULA & COSTA, 2011). De acordo com Lopes e Garcia (2002), a densidade da madeira constitui-se em

um excelente índice para a análise de viabilidade de seu emprego em diversas finalidades.

Os valores das propriedades de contração e propriedades mecânicas de *Couratari stellata* foram próximas aos resultados encontrados por IBDF (1981) e LPF (2016) para a mesma espécie. Também foram próximos aos resultados de Pereira (2013) para duas espécies do gênero *Couratari*. Entretanto, as propriedades mecânicas deste estudo foram superiores as encontradas por IPT (2013).

As propriedades físicas e mecânicas das madeiras são importantes no que se refere às aplicações a que serão destinadas. Desse modo, aliado a outros aspectos (econômicos, estéticos, durabilidade, trabalhabilidade, etc.), as madeiras podem ser classificadas e agrupadas em usos a que se mostram mais adequadas, por exemplo, estruturas, uso em ambientes internos e externos de habitações, móveis, painéis, embalagens, etc. (MORAES NETO et al., 2009).

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, compressões paralela e perpendicular e cisalhamento) e de rigidez (módulo de elasticidade à flexão estática). Estudos realizados por Beltrame et al. (2010) afirmam que as propriedades mecânicas definem o comportamento da madeira quando submetida a esforços de natureza mecânica, permitindo compará-la com outras madeiras de propriedades conhecidas.

### **3.3. Rendimento gravimétrico e friabilidade do carvão vegetal**

*Couratari stellata* apresentou rendimento gravimétrico do carvão (RGCV) de 35,47%, rendimento de gases condensáveis (RGGC) de 47,06% e rendimento de gases não condensáveis (RGGNC) de 17,47%. A espécie apresentou RGCV% próximos aos encontrados por Carneiro et al. (2013a) estudando oito espécies provenientes de cerrado (RN) e por Soares et al. (2015) estudando híbridos de eucaliptos em diferentes idades. Sendo superior aos resultados do estudo de Costa et al. (2014) analisando cinco espécies de cerrado em Minas Gerais. Também se posicionou dentro do intervalo de RGGC% encontrados por Trugilho et al. (2005) estudando quatro clones de *Eucalyptus* (35,95% a 40,24%). O carvão de *C. stellata* apresentou RG% superior aos encontrados por Silva et al. (2007) analisando três espécies da Amazônia.

Segundo Carneiro et al. (2013a), o maior rendimento gravimétrico em carvão vegetal é sempre mais desejável, porque resulta em maior massa de carvão vegetal e, conseqüentemente, maior produtividade dos fornos. Entretanto, o rendimento gravimétrico em carvão vegetal pode apresentar grande variação, pois é influenciado por diversas variáveis, tanto da matéria-prima quanto do processo de transformação (pirólise).

O maior rendimento gerado pela espécie foi de gases condensáveis (47,06%). Esses produtos são representados pela água (no mínimo  $\frac{3}{4}$  da totalidade dos produtos condensáveis), seguido pelo ácido acético, álcool metílico, acetona e alcatrões. Normalmente, os produtos condensáveis se separam por repouso, em duas camadas: uma camada inferior formada por alcatrão bruto, onde o creosoto é o constituinte mais importante, e uma camada superior aquosa, onde são encontrados o ácido acético, álcool metílico, acetona e alcatrões solúveis dissolvidos em 80-85% de água. Essa camada é denominada de ácido ou licor pirolenhoso (BRITO & BARICHELO, 1981). O licor pirolenhoso é utilizado como adubo orgânico e na compostagem, como potencializador da eficiência de produtos fitossanitários e absorção de nutrientes em pulverizações foliares, também é utilizado como esterilizante e para desinfetar ambientes. Na área humana é usado como aditivo em alimentos (CAMPOS, 2007).

O carvão de *C. stellata* apresentou friabilidade de 4,44%, sendo um resultado muito satisfatório quando comparado com resultados de três espécies da Amazônia estudadas por Silva et al. (2007). De acordo com a classificação do CTFT (1972) citado por Silva et al. (2007), o carvão de *C. stellata* é considerado muito pouco friável, pois possui friabilidade inferior a 10%.

A friabilidade do carvão vegetal está relacionada com a susceptibilidade do produto de formar finos quando submetido à abrasão e choques mecânicos. Esta propriedade está relacionada com a umidade, o diâmetro e o comprimento da madeira que será carbonizada (CARDOSO, 2010).

#### **3.4. Análise química imediata e poder calorífico da madeira e do carvão vegetal**

A madeira de *C. stellata* apresentou teor de materiais voláteis igual a 81,16% (Tabela 3), carbono fixo igual a 17,48% e teor de cinzas de 1,36%. A madeira de Tauarí possui teores de carbono fixo superiores aos encontrado por Chaves et al. (2013),

assim como teores de materiais voláteis inferiores aos encontrados pelos autores analisando clones de eucalipto, provenientes do município de Vazante, Minas Gerais.

Segundo Brand (2010), o conhecimento da composição química imediata é importante para o cálculo do projeto da fornalha e das quantidades de ar primário e secundário, necessários em função da percentagem de voláteis. O teor de voláteis tem grande importância na ignição e etapas iniciais da combustão de sólidos. Em termos gerais a madeira apresenta índice de matérias voláteis entre 75 e 85%, e índice de carbono fixo entre 15 e 25%.

Tabela 3. Valores do poder calorífico superior (PCS), teores de materiais voláteis (TMV), teor de cinzas (TCz) e teor de carbono fixo (CF) da madeira e do carvão de *Couratari stellata* A.C. Sm.

<i>Couratari stellata</i>	Repetição	PCS (kcal.kg-1)	TMV (%)	TCz (%)	CF (%)
Madeira	1	4689,00	81,20	1,36	17,44
Madeira	2	4747,00	81,12	1,37	17,52
Média	-	4718,00	81,16	1,36	17,48
Carvão	1	7090,00	28,86	3,47	67,66
Carvão	2	7010,00	28,38	3,50	68,12
Média	-	7050,00	28,62	3,48	67,89

O carvão apresentou teor de materiais voláteis de 28,62% (Tabela 3) e carbono fixo igual a 67,89%. Segundo Carneiro et al. (2013b), o teor desejado de carbono fixo no carvão para uso siderúrgico deve estar no intervalo de 75 e 80%, visto que, maiores teores de carbono fixo contribuem para o aumento na produtividade dos altos-fornos. O valor encontrado para o teor de cinzas foi de 3,48%, sendo considerado alto segundo Damásio et al. (2013), que afirmam que para uso siderúrgico, é esperado valores inferiores a 1%.

Embora não possua características favoráveis ao uso siderúrgico, o carvão de *C. stellata* pode ser utilizado como carvão doméstico. De acordo com Brito & Barichelo (1981), o carvão doméstico não deve ser muito duro, deve ser facilmente inflamável e emitir o mínimo de fumaça e sua composição química não tem importância fundamental. Esse carvão pode ser obtido a baixas temperaturas (350-400°C).

*C. stellata* pode alcançar diâmetros elevados na floresta de até 95 cm. Os resíduos de galhos da espécie são abundantes, para cada 1m<sup>3</sup> de volume total de madeira em pé são produzidos em média 0,35 m<sup>3</sup> de resíduo para serraria, utilizando a equação de Ribeiro et al. (2016). Este resíduo poderia ser utilizado para a produção de energia dentre outros usos.

O poder calorífico superior (PCS) encontrado para a madeira de *C. stellata* foi de 4.718 kcal.kg<sup>-1</sup> (Tabela 3), resultados próximos a este foram encontrados por Quirino et al. (2005) e Brand (2010) para a mesma espécie. Segundo Brito (1993) e Santos et al. (2011), os valores médios para o poder calorífico da madeira de folhosas tropicais estão entre 3.500 a 5.000 kcal/kg.

Segundo Santos (2010) e Carneiro et al. (2014), o poder calorífico é uma das principais variáveis usadas para seleção de espécies com melhores características para fins energéticos, uma vez que está relacionada com a quantidade de energia liberada pela madeira durante a sua queima. A quantidade de calor despreendida da madeira é muito importante para se conhecer a capacidade energética de determinada espécie.

De acordo com Santos et al. (2011) e Carneiro et al. (2013a), para indicar espécies visando o uso como energia, é fundamental antever a qualidade da madeira mediante a avaliação das suas propriedades. Assim, para esse fim, recomenda-se o uso da madeira com maiores valores da densidade básica, poder calorífico superior e percentual de massa residual após o processo de carbonização e combustão.

O carvão de *Coutatari stellata* apresentou poder calorífico superior (PCS) de 7.050 kcal.kg<sup>-1</sup> (Tabela 3), esse valor é superior aos encontrados por Paes et al. (2012) estudando o carvão de três espécies provenientes do semiárido brasileiro (6.653,5 kcal.kg<sup>-1</sup> a 6.814,7 kcal.kg<sup>-1</sup>) e por Medeiros Neto et al. (2014) analisando duas espécies da caatinga (6.247,80 kcal.kg<sup>-1</sup> a 6.977,40 kcal.kg<sup>-1</sup>). Já Santos et al. (2011) estudando quatro clones de *Eucalyptus* (8.210 kcal.kg<sup>-1</sup> e 8.515 kcal.kg<sup>-1</sup>), encontraram valores superiores.

O poder calorífico é a quantidade de calor total (energia térmica) que é liberado durante a combustão completa de uma unidade de massa ou de volume de combustível (BRAND, 2010). De acordo com Santos et al. (2011), o carvão vegetal com maior poder calorífico proporciona, especialmente para o emprego siderúrgico, menor consumo de insumo redutor, considerando uma mesma produtividade.

#### 4-CONCLUSÕES

A espécie *Couratari stellata* (Tauarí) pode ser identificada microscopicamente através das seguintes características: vasos/poros maioria solitários e em arranjo diagonal, parênquima axial escasso e em linhas reticuladas, raios trisseriados, heterogêneos e presença de fibras septadas e não septadas.

As propriedades físico-mecânicas da madeira e características do carvão de Tauarí encontradas nesse estudo não apresentam divergências discrepantes aos estudos realizados por outros autores que trabalharam com o gênero *Couratari*.

A madeira de *Couratari stellata* apresenta características favoráveis a utilização, podendo ser uma substituta de outras espécies com características semelhantes. Sendo indicada dentre outros usos para fabricação de andaimes, formas de concreto, móveis, embalagens, caixas, paletes, brinquedos, assoalhos e revestimentos de barcos.

O resíduo da madeira de *Couratari stellata* oriunda colheita florestal e do processamento em serraria, podem ser utilizados para produção de carvão para uso doméstico.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials.** Philadelphia: 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8112 - Carvão vegetal: análise imediata.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8633:** Carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro: 1984. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11941:** Madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

BELTRAME, R.; SOUZA, J. T.; MACHADO, W. G.; VIVIAN, M. A.; BULIGON, E. A.; PAULESKI, D. T.; GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R. Propriedades físico-

mecânicas da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) em três estratos fitossociológicos. **Ciência da Madeira**, v. 1, n. 2, p. 54-69, 2010.

BOTOSSO, P. C. Identificação macroscópicas de madeira: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento. Colombo: Embrapa Florestas, **Documentos** 194. 65p. 2009.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Interciência: Rio de Janeiro, 2010, 131p.

BRITO, J. O. **Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico**. Piracicaba: IPEF, 1993. 6p. (Circular Técnica, nº181).

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L.E.G. **Considerações sobre a produção de carvão vegetal com madeiras da Amazônia**. Série técnica IPEF, Piracicaba, v.2, n.5, p.1-25, 1981.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. Nobel: Barueri,1991, 154p.

CAMPOS, A. D. **Técnicas para produção de extrato pirolenhoso para uso agrícola**. Pelotas: Embrapa, 2007. 8p. (Circular Técnica, nº 65).

CARDOSO, M. T. **Desempenho de um sistema de forno-fornalha para combustão de gases na carbonização da madeira**. 2010. 77p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, R. C.; FERREIRA, L. P.; DAMÁSIO, R. A. P.; VITAL, B. R. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, Viçosa, v.38, n.2, p.375-381, 2014.

CARNEIRO, A. C. O.; SANTOS, R. C.; CASTRO, R. V. O.; CASTRO, A. F. M.; PIMENTA, A. S.; PINTO, E. M.; ALVES, I. C. N. Estudo da decomposição térmica da

madeira de oito espécies da região do Seridó, Rio Grande do Norte. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1153-1163, 2013a.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; OLIVEIRA, A.C.; PEREIRA, B. L. C. **Pirólise lenta da madeira para produção de carvão vegetal**. In: Bioenergia & Biorrefinaria – Cana-de-Açúcar & Espécies Florestais. SANTOS, F.; COLLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. (Ed.). Viçosa: Os editores, p. 429-458, 2013b.

CHAVES, A. M. B.; VALE, A. T.; MELIDO, R. C. N.; ZOCH, V. P. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 533-542, 2013.

CORADIN, V. T. R.; BOLZON DE MUÑIZ, G. I. **Normas de procedimentos em estudos de anatomia de madeira: I. Angiospermae; II. Gimnospermae**. Brasília: IBAMA. DIRPED, Laboratório de Produtos Florestais, 1991. 19p. (IBAMA. DIRPED. LPF. Serie Técnica, 15)

CORADIN, V. T. R.; CAMARGOS, J. A. A.; PASTORE, T. C. M.; CHRISTO, A. G. **Madeiras comerciais do Brasil: chave interativa de identificação baseada em caracteres gerais e macroscópicos. Brazilian commercial timbers: interactive identification key based on general and macroscopic features**. Serviço Florestal Brasileiro, Laboratório de Produtos Florestais: Brasília, 2010. CD-ROM.

COSTA, T. G.; BIANCHI, M. L.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F. PEREIRA, A. J. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 37-46, 2014.

**CTFT – Centre Technique Forestier Tropical**. 1972. Resultados de 20 estudos dos produtos da destilação das madeiras amazônicas. CTFT. 32p.

CURY, Z.; TOMAZELLO FILHO, M. Descrição Anatômica de Espécies de Madeira Utilizadas na Construção Civil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.18, n.3, p.227-236, 2011.

DADSWELL, H. E. The anatomy of eucalyptus wood. **CSIRO Forest Products Laboratory**, Melbourne, n.66, p.1-28, 1972.

DAMÁSIO, R. A. P.; PEREIRA, B. L. P.; OLIVEIRA, A. C.; CARDOSO, M. T.; VITAL, B. R.; CARVALHO, A. M. L. M. Caracterização anatômica e qualidade do carvão vegetal da madeira de pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*). **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.33, n. 75, p. 261-267, 2013.

FEDALTO, L. C., MENDES, I. C. A., CORADIN, V. T. R. **Madeiras da Amazônia: Descrição do Lenho de 40 Espécies Ocorrentes na Floresta Nacional do Tapajós**. Brasília: MINISTÉRIO DO INTERIOR/IBAMA/DIRPED, 1989, 156p.

GERWING, J.; VIDAL, E.; VERÍSSIMO, A.; UHL, C. **Rendimento no Processamento de Madeira no Estado do Pará**. Série Amazônia, IMAZON, Belém, n. 18, p. 1-38, 2001.

IBDF-INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia: características e utilização**. v.1, CNPq: Brasília, 1981. 113p.

IBAMA-INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS RENOVÁVEIS. **Madeiras da Amazônia: características e utilização**. v.3, IBAMA: Brasília, 1997. 141p.

IBDF-INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia: características e utilização-Estação Experimental de Curuá-Una**. v.2, DPq-LPF: Brasília, 1988. 236p.

INTERNACIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS (IAWA) COMMITTEE, 1989. List of microscopic features for hardwood identification. **Internacional Association of Wood Anatomists Bulletin** 10(3): 219-332.

IPT-INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil**. Coordenação Augusto Rabelo Nahuz. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado São Paulo, 2013.

LOPES, G. A.; GARCIA, J. N. **Densidade Básica e Umidade Natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associadas aos padrões de casca apresentados pela população**. IPEF, n, 62, p. 13-23, 2002.

LOPES, C. A. C.; PEDROSO, L. M.; DOURADO, P. S. S.; DOURADO, R. S. A. **Propriedades físico-mecânicas e usos comuns de 30 espécies de madeiras da Amazônia**. Belém: SUDAM, 1983. 97p.

LPF-LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS. **Madeiras Brasileiras**, 2016. Disponível em: [http:// sistemas. florestal.gov.br/ madeirasdobrasil/ caracteristicas.php?ID=80&caracteristica=271](http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/caracteristicas.php?ID=80&caracteristica=271) >. Acesso em: 10/10/2016.

MEDEIROS NETO, P. N.; OLIVEIRA, E. PAES, J. B. Relações entre as Características da Madeira e do carvão vegetal de duas espécies da Caatinga. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 4, p. 484-493, 2014.

MORAES NETO, S. P.; TELES, R. F.; RODRIGUES, T. O; VALE, A. T.; SOUZA, M. R. Propriedades mecânicas da madeira de cinco procedências de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* implantadas no cerrado do Distrito Federal, DF. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, **Boletim de pesquisa e desenvolvimento** 251. 20p. 2009.

MORI, S. A. Biologia da polinização em Lecythydaceae. **Acta Botanica Brasilica**, v. 1, n. 2, p. 121-124, 1988.

MORI, S. A.; SMITH, N. P., CORNEJO, X.; PRANCE, G. T. **The Lecythydaceae- the Brazil nut family**. Disponível em: <http://sweetgum.nybg.org/science/projects/lp/> >. Acessado em: 09/11/2016.

PAES, J. B.; LIMA, C. R.; OLIVEIRA, E.; SANTOS, H. C. M. Rendimento e caracterização do carvão vegetal de três espécies de ocorrência no semiárido brasileiro. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 3, n. 1, p. 1-10, 2012.

PAULA, J. E. Caracterização anatômica da madeira de sete espécies da Amazônia com vistas à produção de energia e papel. **Acta Amazonica**, v. 33, n. 2, p.243-262, 2003.

PAULA, J. E.; COSTA, K. P. **Densidade da madeira de 932 espécies nativas do Brasil**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2011. 324p.

PEREIRA, A. F. **Madeiras Brasileiras: Guia de combinação e substituição**. FAPEMIG. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2013. 130p.

PINHEIRO, K. A. O.; CARVALHO, J. O. P.; QUANZ, B.; FRANCEZ, L. M. B.; SCHWARTZ, G. Fitossociologia de uma área de preservação permanente no leste na Amazônia: indicação de espécies para recuperação de áreas alteradas. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 37, p.175-187, 2007.

PRANCE, G. T. A Revision of *Barringtonia* (Lecythydaceae). **Allertonia** 12, p.1-161, 2012.

PROCÓPIO, L. C.; SECCO, R. S. A importância da identificação botânica nos inventários florestais: o exemplo do “tauari” (*Couratari* spp. e *Cariniana* spp. - Lecythydaceae) em duas áreas manejadas no estado do Pará. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 38, n. 1, p. 31-44, 2008.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, n.89, p.100-106, 2005.

REIS, L. P.; RUSCHEL, A. R.; COELHO, A. A.; LUZ, A. S.; MARTINS-DA-SILVA, R. C. V. Avaliação do potencial madeireiro na Floresta Nacional do Tapajós após 28

anos da exploração florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 265-281, 2010.

REIS, P. C. M. DOS; REIS, L. P. ; RUSCHEL, A. R. ; SILVA, J. N. M. ; CARVALHO, J. O. P. DE; QUEIROZ, W. T. Effect of timber harvesting on density and basal area of Lecythydaceae species in the eastern Amazon. **Floresta**, v. 44, n. 2, p. 229-238, 2014a.

REIS, P. C. M.; REIS, A. R. S.; LISBOA, P. L. B.; REIS, L. P. Anatomia do lenho de seis espécies do gênero *Cecropia* Loefl. (Urticaceae). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, Belém, v. 9, n. 1, p. 169-181, 2014b.

REIS, P. C. M.; REIS, L. P. Caracterização anatômica macroscópica da madeira de quatro espécies de Lecythydaceae. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia. v. 13, n. 24, 2016.

REIS, P. C. M.; RUSCHEL, A. R.; REIS, L. P.; SOARES, M. H. M.; CRUZ, E. D. Lecythydaceae encontradas na floresta de Moju, Pará. Belém: Embrapa – CPATU, **Documentos** 416. 33 p. 2016.

RIBEIRO, R. B. S.; GAMA, J. R. V.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. L.; SOARES, C. P. B.; SILVA, G. F. Métodos para estimar o volume de fustes e galhos na Floresta Nacional do tapajós. **Árvore**, Viçosa, v. 40, n. 1, 81-88, 2016.

RODRIGUES, B. P.; SILVA, A. G.; MAURI, R. OLIVEIRA, J. T. S. *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze (Lecythydaceae): descrição dendrológica e anatômica. **Enciclopédia biosfera**, Goiânia, v.8, n.15, p.419-427, 2012.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010. 173f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2010.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. M.; CASTRO, R. V. O.; BIANCHES, J. J.; SOUZA, M. M. S.; CARDOSO, M. T. Correlações entre os

parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, 2011.

SANTOS, W. L. F.; SILVA, A. J. P.; CABRAL JÚNIOR, A. A.; MERCURY, J. M. R. Fabricação de painéis de partículas de madeira tauari (*Couratari oblongifolia*) utilizando resina poliuretana de mamona **Scientia Agraria**, Curitiba, v.14, n.3, p.95-101, 2013.

STASOFT INC, 2016. StatSoft [WWW Document]. Stat. Data Anal. Softw. Syst. 13. URL <http://www.statsoft.com/>

SILVA, M. G.; NUMAZAWA, S.; ARAUJO, M. M.; NAGAISHI, T. Y. R.; GALVÃO, G. R. Carvão de resíduos de indústria madeireira de três espécies florestais exploradas no município de Paragominas, PA. **Acta amazônica**, Manaus, v. 37, n. 1, p. 61-70, 2007.

SMITH, N. P.; MORI, S. A.; LAW, W.; RIBEIRO, M. Conservation assessment of Lecythidaceae from eastern Brazil. **Kew Bulletin**, 71, p. 1-19, 2016.

SMITH, N.P.; MORI, S.A.; PRANCE, G.T. **Lecythidaceae: Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB145>>. Acesso em: 30/12/2015.

SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; HÖFLER, J.; JUNIOR PEREIRA, A. Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 2, p. 191-197, 2015.

TER STEEGE, H.; PITMAN, N. C. A.; PHILLIPS, O. L.; CHAVE, J.; SABATIER, D.; DUQUE, A., MOLINO, J. F.; PREVOST, M. F.; SPICHIGER, R.; CASTELLANOS, C.; VON HILDEBRAND, P.; VASQUEZ, R. Continental-scale patterns of canopy tree composition and function across Amazonia. **Nature**, 443, p.444-447, 2006.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; MENDES, L. F. B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 178-186, 2005.

## CONCLUSÕES FINAIS

Com o desenvolvimento deste estudo foi possível determinar quais espécies possuem condições ecológicas adequadas à colheita e quais possuem madeiras com características tecnológicas favoráveis à sua utilização.

As espécies *Bixa arborea*, *Helicostylis pedunculata*, *Couratari stellata* e *Tachigali chrysophylla*, são potenciais para comercialização, pois além da elevada densidade, possui distribuição diamétrica que favorece a recomposição florestal.

As RNA podem ser utilizadas para estimar com precisão as propriedades físicas e mecânicas das madeiras, a partir da densidade básica.

As espécies madeireiras estudadas foram separadas em três grupos distintos. Destacaram-se as espécies *Helicostylis pedunculata*, *Couratari stellata*, e *Tachigali chrysophylla*. Estas espécies apresentaram características tecnológicas semelhantes às das principais espécies comerciais da Amazônia, e possuem condições favoráveis a colheita, podendo ser substitutas das espécies comerciais consolidadas. A densidade básica, o cisalhamento e a compressão paralela às fibras foram as características físico-mecânicas mais importantes para discriminar os grupos.

A madeira de *Couratari stellata* apresenta características favoráveis a utilização, podendo ser uma substituta de outras espécies com características semelhantes. O resíduo da madeira de *Couratari stellata* oriunda colheita florestal e do processamento em serraria, podem ser utilizados para produção de carvão para uso doméstico.

**APÊNDICE I.** Lista das espécies utilizadas para a estimativa e os valores das características físicas e mecânicas.

Nome vulgar	Nome científico	Db	CV	CR	CV	FMR	FME	CParF*	CPerF**	DJP	DJT	Tr	Fe*	Ci*	Referência
		g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	Kg/cm <sup>2</sup>	1000Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	
Melancieira	<i>Alexa grandiflora</i> Ducke	0,60	9,9	4,7	14,5	1114	133	594	96	768	646	48	-	122	LPF, 2016
Melancieira	<i>Alexa grandiflora</i> Ducke	0,61	9,9	4,7	14,5	1114	133	594	96	768	646	48	-	122	IBDF, 1981
Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F.Macbr.	0,75	10,1	6,5	15,9	1272	129	644	158	745	845	56	68	131	LPF, 2016
Muiracatiara	<i>Astronium lecointei</i> Ducke	0,79	7,6	4,6	11,9	1391	153	840	141	891	978	55	63	171	LPF, 2016
Muiracatiara	<i>Astronium lecointei</i> Ducke	0,75	7,2	4,1	11	1485	132	858	149	784	883	-	-	120	LPF, 2016
Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	0,70	5,8	4,1	9,5	1269	118	801	139	1007	753	53	-	128	LPF, 2016
Urucu da mata	<i>Bixa arborea</i> Huber	0,32	6	2,6	9,1	555	77	365	40	396	198	24	-	64	IBDF, 1981
Mururé	<i>Brosimum acutifolium</i> (Huber) Ducke.	0,67	9,1	5	14,1	1402	145	785	150	1463	1377	42	55	163	IBAMA, 1997
Mururé	<i>Brosimum acutifolium</i> (Huber) Ducke.	0,55	7,8	4,8	12,6	1020	119	557	79	694	508	40	-	99	IBDF, 1981
Andiroba	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	0,59	8,1	4,4	12,6	1093	120	609	90	841	640	41	-	111	IBDF, 1981
Andiroba	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	0,56	7	4,6	11,8	967	105	545	97	824	642	-	-	98	LPF, 2016
Pequiá	<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers.	0,63	8,5	4,3	12,6	1018	114	474	95	496	514	56	58	124	LPF, 2016
Freijó branco	<i>Cordia bicolor</i> A. DC.	0,49	11,7	6,3	18	829	121	509	38	573	437	34	-	78	IBDF, 1981
Tuari	<i>Couratari guianensis</i> Aubl.	0,52	6,1	3,6	10,4	905	108	477	62	542	380	37	-	87	IBDF, 1981
Tuari	<i>Couratari guianensis</i> Aubl.	0,52	6,1	3,6	10,4	1061	117	550	79	665	516	42	-	104	LPF, 2016
Tuari-br	<i>Couratari stellata</i> A.C.Sm.	0,65	7,8	5,8	13,4	1367	146	705	118	895	710	46	-	131	IBDF, 1981
Jutaí poporoça	<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandw.	0,88	8,9	5,1	14,5	1923	175	922	223	1720	1644	45	73	228	LPF, 2016
Jutaí poporoça	<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandw.	0,85	9,24	4,99	13,67	1538	155	833	227	1722	1667	-	74	186	LPF, 2016
Agelim-pedra	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	0,83	9,5	5,7	14,5	1600	173	873	151	1460	1381	39	67	180	IBDF, 1988
Cumarú	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	0,91	8,4	5,4	13,5	1764	183	987	210	1339	1601	49	87	224	LPF, 2016
Cumarú	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	0,87	8,4	5,94	13,85	1663	158	1086	246	1535	1497	57	88	189	LPF, 2016
Cumarú	<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd.	0,91	8,4	5,4	13,5	1764	183	987	210	1339	1601	49	87	224	IBDF, 1988
Uchi	<i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrec.	0,78	9,6	6,4	15,6	1567	156	763	133	1337	1059	63	48	191	LPF, 2016
Fava rosca	<i>Enterolobium schomburgkii</i> Benth.	0,84	9,3	4,2	12,7	1648	171	802	151	946	1064	56	81	177	LPF, 2016
Fava rosca	<i>Enterolobium schomburgkii</i> Benth.	0,92	9,3	4,2	12,7	1648	171	802	151	946	1064	56	81	177	IBDF, 1988

APÊNDICE I. Continuação.

Nome vulgar	Nome científico	Db	CV	CR	CV	FMR	FME	CParF*	CPerF**	DJP	DJT	Tr	Fe*	Ci*	Referência
		g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	Kg/cm <sup>2</sup>	1000Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	
Quarubarana	<i>Erisma uncinatum</i> Warm.	0,48	8,7	3,6	12,9	878	106	525	61	573	399	29	-	89	LPF, 2016
Quarubarana	<i>Erisma uncinatum</i> Warm.	0,46	10	4,3	13,4	892	110	507	57	590	394	31	38	80	LPF, 2016
Mirindiba doce	<i>Glycydendron amazonicum</i> Ducke	0,66	7,6	4,9	12	1284	152	663	104	873	758	34	46	137	LPF, 2016
Mirindiba doce	<i>Glycydendron amazonicum</i> Ducke	0,66	7,6	4,9	12	1284	152	663	104	873	758	34	46	137	IBDF, 1988
Mirindiba doce	<i>Glycydendron amazonicum</i> Ducke	0,66				1190	151	723	142	835	983	67	-	134	Lopes et al., 1983
Cupiúba	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	0,71	8,4	4,5	13,2	1340	149	689	148	1019	830	42	56	148	LPF, 2016
Cupiúba	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	0,71	8,86	4,98	13,12	1184	130	662	129	1151	974	-	70	155	LPF, 2016
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	0,76	7,7	3,4	11,4	1399	159	773	141	1253	1116	68	76	194	Lopes et al., 1983
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	0,76	7,7	3,4	11,4	1399	159	773	141	1253	1116	68	76	194	IBDF, 1988
Jutaí mirim	<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber.	0,90	9,7	3,7	13,4	1732	173	966	192	1671	1720	66	73	236	Lopes et al., 1983
Jutaí mirim	<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber.	0,90	9,7	3,7	13,4	1732	173	966	192	1671	1720	66	73	236	LPF, 2016
Parapará	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	0,31	8,2	5,4	13,9	562	89	313	31	336	192	29	-	-	LPF, 2016
Parapará	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	0,31	8,2	5,4	13,9	562	89	313	31	336	192	29	-	61	IBDF, 1981
Maçaranduba	<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) A. Chev.	0,85	9,31	7,1	16,38	1797	174	1109	173	1515	1382	51	88	171	LPF, 2016
Itaúba	<i>Mezilaurus itauba</i> (Meissn.) Taub.	0,70	7,9	2,6	10,5	1144	123	583	110	550	591	47	-	103	IBDF, 1981
Itaúba	<i>Mezilaurus itauba</i> (Meissn.) Taub.	0,70	7,9	2,6	10,5	1144	123	583	110	550	591	47	-	103	LPF, 2016
Itaúba	<i>Mezilaurus itauba</i> (Meissn.) Taub.	0,68	6,8	3	10,1	1113	108	565	97	532	554	56	-	86	LPF, 2016
Fava tucupi	<i>Parkia multijuga</i> Benth.	0,38	7	2,9	9,8	618	88	377	57	409	303	39	-	82	IBDF, 1981
Fava tucupi	<i>Parkia multijuga</i> Benth.	0,38	7	2,9	9,8	618	88	377	57	409	303	39	-	82	LPF, 2016
Timborana	<i>Pseudopiptadenia suaveolens</i> (Miq.) J. W. Grimes	0,72	7,1	4,9	11,3	1285	134	697	115	733	785	51	-	126	IBDF, 1981
Timborana	<i>Pseudopiptadenia suaveolens</i> (Miq.) J. W. Grimes	0,72	8,3	5,1	13,1	1498	157	798	142	898	979	54	68	162	LPF, 2016
Timborana	<i>Pseudopiptadenia suaveolens</i> (Miq.) J. W. Grimes	0,72	7,1	4,9	11,3	1285	134	697	115	733	785	51	-	126	LPF, 2016
Morototó	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire	0,41	9,1	6,7	15,7	725	113	405	46	489	358	39	62	106	LPF, 2016
Marupá	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	0,37	6,8	4,8	8,3	653	74	337	45	276	143	28	39	71	IBAMA, 1997
Marupá	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	0,37	6,8	4,8	8,3	653	74	337	45	276	143	28	39	71	LPF, 2016
Marupá	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	0,38	5,9	2,6	8,8	664	82	352	47	439	267	32	-	71	IBDF, 1981

APÊNDICE I. Continuação.

Nome vulgar	Nome científico	Db	CV	CR	CV	FMR	FME	CParF*	CPerF**	DJP	DJT	Tr	Fe*	Ci*	Referência
		g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	Kg/cm <sup>2</sup>	1000Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	
Ipê	<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) Nichols.	0,87	6,76	6,06	12,42	1877	162	1038	213			45	76	174	LPF, 2016
Tachi vermelho	<i>Tachigali chrysophylla</i> (Poepp.) Zarucchi & Herend.	0,62	7,4	3,7	11	1180	125	603	112	782	607	48	-	137	IBDF, 1981
Tachi vermelho	<i>Tachigali chrysophylla</i> (Poepp.) Zarucchi & Herend.	0,62	7,4	3,7	11	1180	125	603	112	782	607	48	-	137	LPF, 2016
Tachi vermelho	<i>Tachigali chrysophylla</i> (Poepp.) Zarucchi & Herend.	0,61	8	4,2	12,1	1170	138	575	90	851	643	48	52	156	LPF, 2016
Cuiarana	<i>Terminalia amazonica</i> (J.F.Gmel) Exell.	0,80	7,8	5,2	12,8	1489	143	795	143	1166	1014	53	-	142	IBDF, 1981
Virola	<i>Virola michellii</i> Heckel	0,50	9,9	4,7	14,8	972	121	522	50	671	472	49	-	101	IBDF, 1981
Virola	<i>Virola michellii</i> Heckel	0,50	9,9	4,7	14,8	972	121	522	50	671	472	49	-	101	LPF, 2016
Açacu	<i>Hura crepitans</i> L.	0,39	5,2	3,7	7,5	690	86	336	48	392	283	26	34	71	IBAMA, 1997
Amapá-amargoso	<i>Parahancornia amapa</i> (Huber) Ducke	0,46	6,8	3,7	10,7	908	113	468	61	540	358	40	52	98	IBAMA, 1997
Amoreira	<i>Maclura tinctoria</i> <i>Marmaroxylon racemosum</i> (Ducke) Killip. Ex Record	0,73	5,9	3,2	9,4	1565	129	878	228	1164	1082	54	70	159	IBAMA, 1997
Angelim-rajado		0,79	9,3	5,9	15,2	1668	167	809	193	1518	1441	29	-	176	IBAMA, 1997
Angelim-da-mata	<i>Hymenolobium</i> sp. <i>Aspidosperma desmanthum</i> Benth. Ex Muell. Arg.	0,60	7,2	3,7	9,9	1141	121	574	114	830	645	48	56	133	IBAMA, 1997
Araracanga		0,69	9	5,8	14,5	1356	149	692	121	943	797	30	56	129	IBAMA, 1997
Axixá	<i>Sterculia apeibophylla</i> Ducke	0,47	10,6	5,4	15,4	859	107	470	50	416	311	32	47	90	IBAMA, 1997
Barrote	<i>Tetragastris panamensis</i> (Engl.) O. Kuntze	0,75	9,8	5	14,9	1260	143	617	131	1415	1292	51	63	193	IBAMA, 1997
Burra-leiteira	<i>Sapium marmieri</i> Huber	0,39	7,5	5,6	10,8	639	91	332	38	234	147	28	38	67	IBAMA, 1997
Cabreúva-parda	<i>Myrocarpus frondosus</i> Allemão	0,78	7	4,4	11,3	1572	154	876	138	1559	1395	41	58	182	IBAMA, 1997
Cajá	<i>Spondias lutea</i> L.	0,38	7,4	4,2	10,4	477	79	315	38	215	122	29	35	59	IBAMA, 1997
Canafístula	<i>Cassia fastuosa</i> Willd.	0,71	9,1	6,2		1162	134	736	130	1250	1134	33	47	147	IBAMA, 1997
Castanha-de-cutia	<i>Couepia robusta</i> Huber	0,83	11	5,8	15,7	1576	159	804	194	1361	1454	40	59	133	IBAMA, 1997
Caucho	<i>Castilla ulei</i> Warb.	0,39	10,5	6,2	16,1	569	91	375	37	277	142	19	30	60	IBAMA, 1997
Conduru	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	0,71	8,1	5,3	12	1504	167	781	126	1086	953	40	58	128	IBAMA, 1997
Cuia	<i>Terminalia cf. argentea</i> Mart. & Zucc.	0,80	9,8	5,8	15,2	1448	157	863	131	1572	1424	45	60	180	IBAMA, 1997
Espinheiro-preto	<i>Acacia polyphylla</i> A. DC.	0,60	10,1	4,9	14	1066	132	590	87	691	496	35	65	117	IBAMA, 1997

APÊNDICE I. Continuação.

Nome vulgar	Nome científico	Db	CV	CR	CV	FMR	FME	CParF*	CPerF**	DJP	DJT	Tr	Fe*	Ci*	Referência
		g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	Kg/cm <sup>2</sup>	1000Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	
Fava-branca	<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i> (willd.) Hochr.	0,48	7,5	5,1	11,1	978	121	458	49	745	594	31	37	125	IBAMA, 1997
Faveira	<i>Parkia oppositifolia</i> Spruce ex Benth.	0,42	5,4	2,7	7,9	836	97	355	56	413	291	32	39	96	IBAMA, 1997
Figueira	<i>Ficus insipida</i> Willd.	0,36	9,7	5	14,1	628	81	384	40	212	122	20	31	66	IBAMA, 1997
Goiabão	<i>Pouteria pachycarpa</i> Spruce ex Benth.	0,73	11,2	6,2	16,5	1586	167	755	118	1552	1307	59	64	185	IBAMA, 1997
Ingá-de-porco	<i>Macrosamanea pedicellaris</i> (DC.) Kleinh.	0,49	7,6	4,3	11	992	119	510	80	484	433	42	50	122	IBAMA, 1997
Jará	<i>Pouteria</i> sp.	0,72	9,7	5,9	15,2	1583	172	804	131	1225	1097	49	70	134	IBAMA, 1997
Leiteiro	<i>Sapium aereum</i> Klotzsch	0,40	7,8	4,2	12,1	714	101	443	52	278	172	28	37	70	IBAMA, 1997
Louro-cunuaru	<i>Ocotea</i> sp.	0,59	6,9	4,3	9,9	1292	140	632	123	567	511	-	-	-	IBAMA, 1997
Maminha-de-porca	<i>Zanthoxylon regnelianum</i> Engl.	0,50	8,6	5,8	11,4	1087	110	525	77	523	359	34	56	98	IBAMA, 1997
Mandioqueira	<i>Qualea dinisii</i> Ducke	0,54	9,1	4,6	13,5	1044	116	524	83		271	39	54	100	IBAMA, 1997
Mangabarana	<i>Pouteria anomala</i> (Pires) Penning.	0,73	9,1	5,7	14,4	1649	163	854	157	1280	1076	43	69	145	IBAMA, 1997
Maragonçalo	<i>Pouteria obscura</i> (Huber) Baehni	0,64	7,4	4,4	11,8	1269	133	631	143	1024	792	34	52	129	IBAMA, 1997
Maria -preta	<i>Zizyphus itacaiumensis</i> Fróes	0,80	9,9	6,9	15,7	1597	165	892	148	1668	1511	59	73	198	IBAMA, 1997
Miraúba	<i>Mouriri callocarpa</i> Ducke	0,88	11,1	7,1	17,4	1920	175	963	224	1795	1829	59	65	190	IBAMA, 1997
Parinari	<i>Parinari excelsa</i> Sabine	0,75	10,2	5,3	14,8	1488	165	831	157	1334	1144	57	54	150	IBAMA, 1997
Pau-amarelo	<i>Euxylophora paraensis</i> Huber	0,69	7,8	6,5	13,1	1294	140	708	122	1268	1121	42	58	181	IBAMA, 1997
Pau-jacaré	<i>Laetia procera</i> (Poepp.) Eichl.	0,68	12	5,1	17,1	1227	157	682	99	1145	990	64	75	165	IBAMA, 1997
Pau-santo	<i>Zollernia paraensis</i> Huber	0,97	9,6	5	16,8	1915	182	974	275	1490	1479	47	51	188	IBAMA, 1997
Quaruba	<i>Vochysia ferruginea</i> Mart.	0,41	10,7	5	14,1	674	81	385	46	322		24	36	73	IBAMA, 1997
Rouxinho	<i>Peltogyne paniculata</i> Benth.	0,81	8,1	5,1	12,7	1908	181	923	203	1650	1536	29	49	185	IBAMA, 1997
Seru	<i>Allantoma lineata</i> (Mart. Ex Berg.) Miers	0,60	7,5	5,5	11,6	1171	130	591	115	504	523	31	51	-	IBAMA, 1997
Tamaquaré	<i>Caraipa densiflora</i> Mart.	0,63	9,9	6,5	15,6	1318	151	661	93	887	690	37	59	130	IBAMA, 1997
Taninbuca	<i>Buchenavia capitata</i> Eichl.	0,70	11,6	5,9	16,7	1098	127	605	132	1133	744	35	54	116	IBAMA, 1997
Tuturubá	<i>Pouteria oblanceolata</i> Pires	0,79	8,9	5,2	13,8	1562	157	794	140	1346	1326	41	51	163	IBAMA, 1997
Ucubarana	<i>Osteophloeum platyspermum</i> (A. Dc.) Ward.	0,50	7,4	3,6	10,8	898	126	469	51	444	350	36	43	92	IBAMA, 1997
Caju-açu	<i>Anacardium spruceanum</i> Benth. Ex Engl.	0,42	6	2,9	9,4	654	100	327	45	390	254	29	-	69	IBDF, 1981

APÊNDICE I. Continuação.

Nome vulgar	Nome científico	Db	CV	CR	CV	FMR	FME	CParF*	CPerF**	DJP	DJT	Tr	Fe*	Ci*	Referência
		g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	Kg/cm <sup>2</sup>	1000Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	
Açoita-cavalo	<i>Lueheopsis dukeana</i> Burret	0,64	9,3	4,7	13,7	1271	138	610	109	973	817	47	-	120	IBDF, 1981
Amapá-amargoso	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	0,73	7,8	5,3	13,2	1394	149	727	125	1070	918	42	-	137	IBDF, 1981
Amapá-doce	<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke	0,57	7,7	4,5	12,6	1043	115	581	82	734	567	30	-	102	IBDF, 1981
Amapá-doce	<i>Brosimum potabile</i> Ducke	0,53	6,8	4,1	11,9	991	110	591	84	739	537	32	-	104	IBDF, 1981
Breu	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) March	0,55	8,4	4,1	12,6	868	100	490	69	454	398	55	-	100	IBDF, 1981
Breu sucuruba	<i>Trattinnickia burserifolia</i> (Mart.) Willd.	0,44	7,2	5,1	11,8	778	98	450	55	470	316	36	-	84	IBDF, 1981
Castanha-de-arara	<i>Joanesia heveoides</i> Ducke	0,39	6,1	2,8	9,8	649	84	351	49	392	264	33	-	60	IBDF, 1981
Castanheira	<i>Bertholletia excelsa</i> Humb. & Bonpl.	0,63	9,4	4,7	13,2	1183	128	595	101	823	667	43	-	117	IBDF, 1981
Copaíba	<i>Copaifera duckei</i> Ducke	0,62	8,2	4,1	12,5	1179	123	600	99	867	664	44	-	122	IBDF, 1981
Cuiarana	<i>Buchenavia huberi</i> Ducke	0,79	9,1	6	14,7	1580	156	853		1358	1186	46	-	167	IBDF, 1981
Envira-preta	<i>Diclinanona calycina</i> (Diels) R. E. Fries	0,47	10,1	3,2	13,6	954	113	498		516	403	31	-	76	IBDF, 1981
Envira-preta	<i>Onychopetalum amazonicum</i> (Diels) R. E. Fries	0,64	8,7	3,9	12,7	1265	140	710	64	822	695	29	-	104	IBDF, 1981
Fava-bolota	<i>Parkia pendula</i> Benth. Ex Walp.	0,51	7,2	2,5	10	939	110	489	78	534	435	38	-	99	IBDF, 1981
Fava-folha-fina	<i>Piptadenia communis</i> Benth.	0,68	7,4	4,5	13,3	1183	137	700	117	736	757	38	-	134	IBDF, 1981
Faveira tamboril	<i>Enterolobium maximum</i> Ducke	0,42	4,6	2,3	6,8	836	94	434	60	504	339	31	-	78	IBDF, 1981
Freijó	<i>Cordia goeldiana</i> D. C.	0,48	6,6	4,1	10,6	932	104	517	62	608	452	31	-	85	IBDF, 1981
Freijó	<i>Cordia sagotti</i> Huber	0,50	7,7	3,8	11,3	881	100	488		525	400	35	-	77	IBDF, 1981
Itaúba	<i>Mezilaurus lindaviana</i> Schw. & Mez	0,68	8,3	3,3	11,6	1170	128	573	97	452	450	41	-	86	IBDF, 1981
Louro-vermelho	<i>Nectandra rubra</i> (Mez) C. K. Allen	0,55	7,9	3,2	11,3	794	109	509	49	342	343	30	-	75	IBDF, 1981
Mandioqueira	<i>Qualea cf. lancifolia</i> Ducke	0,58	8,1	3,1	11,5	1097	128	600	70	586	486	42	-	105	IBDF, 1981
Muiratinga	<i>Maquira sclerophylla</i> (Ducke) C. C. Berg.	0,57	9,4	4,2	13,7	1129	115	618	86	842	630	40	-	122	IBDF, 1981
Munguba grande da terra firme	<i>Eriotheca longipedicella</i> (Ducke) A. Robyns	0,45	9,8	4,5	14,9	895	106	486	60	630	469	36	-	83	IBDF, 1981
Pau-jacaré	<i>Laetia procera</i> (Poepp.) Eichl.	0,68	11,3	5,4	17,2	1296	156	660	100	1092	872	50	-	134	IBDF, 1981
Pente-de-macaco	<i>Apeiba echinata</i> Gaertn.	0,36	6,5	2,3	9,3	539	68	324	45	390	253	30	-	63	IBDF, 1981
Quaruba-verdadeira	<i>Vochysia maxima</i> Ducke	0,46	9,1	3,3	13	833	96	456	54	549	404	34	-	80	IBDF, 1981
Sumaúma	<i>Ceiba pentandra</i> Gaertn.	0,29	5,5	2,7	9,3	399	45	242	19	236	154	19	-	38	IBDF, 1981

APÊNDICE I. Continuação.

Nome vulgar	Nome científico	Db	CV	CR	CV	FMR	FME	CParF*	CPerF**	DJP	DJT	Tr	Fe*	Ci*	Referência
		g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	Kg/cm <sup>2</sup>	1000Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kgf	Kgf	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	Kgf/cm <sup>2</sup>	
Tacacazeiro	<i>Sterculia pilosa</i> Ducke	0,53	11	4,8	15,9	990	120	512	51	633	517	41	-	94	IBDF, 1981
Tachi preto folha grande	<i>Tachigali mymercophila</i> Ducke	0,56	7,3	4,1	11,1	1070	112	578	93	762	562	40	-	122	IBDF, 1981
Taperebá	<i>Spondias lutea</i> Linn.	0,38	6	2,5	9,5	469	76	302	30	337	204	29	-	62	IBDF, 1981
Tatapiririca	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	0,50	8,3	3,6	11,5	847	111	462	69	545	404	55	-	109	IBDF, 1981
Tauari	<i>Couratari oblongifolia</i> Aubl.	0,49	6,1	3,6	10,4	905	108	477	62	542	380	37	-	87	IBDF, 1981
Ucuubarana	<i>Iryanthera grandis</i> Ducke	0,63	8,7	5,4	13,5	1085	127	609	83	528	542	47	-	98	IBDF, 1981

Db: Densidade básica (g/cm<sup>3</sup>); CT: Contração tangencial (%); CR: Contração radial (%); CV: Contração volumétrica (%); FMR: Flexão Estática - Módulo de Ruptura (kg/cm<sup>2</sup>); FME: Flexão Estática - Módulo de Elasticidade (1000 kgf/cm<sup>2</sup>); CParF: Compressão paralelo às fibras (kgf/cm<sup>2</sup>); CPerF: Compressão perpendicular às fibras (kgf/cm<sup>2</sup>); DJP: Dureza de Janka paralela (kgf); DJT: Dureza de Janka transversal (kgf); Tr: Tração (kgf/cm<sup>2</sup>); Fe: Fendilhamento (kgf/cm<sup>2</sup>); Ci: Cisalhamento (kgf/cm<sup>2</sup>).

\* Máxima resistência

\*\* Esforço proporcional