



LETÍCIA DA SILVA MOREIRA

**QUALIDADE DA MADEIRA DE GALHOS RESIDUAIS PÓS-
COLHEITA DE *Hymenaea courbaril* L.**

**LAVRAS – MG
2021**

LETÍCIA DA SILVA MOREIRA

QUALIDADE DA MADEIRA DE GALHOS RESIDUAIS PÓS-COLHEITA DE

Hymenaea courbaril L.

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. José Tarcísio Lima
Orientador

Prof. Dr. José Reinaldo Moreira da Silva
Prof. Dr. Victor Hugo Pereira Moutinho
Coorientadores

LAVRAS – MG
2021

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Moreira, Letícia da Silva.

Qualidade da madeira de galhos residuais pós-colheita de
Hymenaea courbaril L. / Letícia da Silva Moreira. - 2021.

73 p.

Orientador(a): José Tarcísio Lima.

Coorientador(a): José Reinaldo Moreira da Silva, Victor Hugo
Pereira Moutinho.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Resíduos florestais. 2. Lenho de reação. 3. Propriedades
físicas. I. Lima, José Tarcísio. II. da Silva, José Reinaldo Moreira,
III. Moutinho, Victor Hugo Pereira. IV. Título.

LETÍCIA DA SILVA MOREIRA

QUALIDADE DA MADEIRA DE GALHOS RESIDUAIS PÓS-COLHEITA DE
Hymenaea courbaril L.

BRANCH WOOD QUALITY OF *Hymenaea courbaril L.* LOGGING RESIDUES

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 30 de março de 2021.

Prof. Dr. Thiago Campos Monteiro UFPR

Prof. Dr. Victor Hugo Pereira Moutinho UFOPA

Dr. Bruno Charles Dias Soares UFLA

Prof. Dr. José Tarcísio Lima
Orientador

LAVRAS – MG
2021

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre me guiar e me fortalecer em todos os momentos.

Aos meus pais Marli e José Ilson por todo amor, apoio e incentivo aos estudos e à toda a minha família pelo carinho e compreensão pela minha ausência e estresse em diversos momentos.

Ao professor e orientador José Tarcísio Lima pelos valiosos conselhos, pelo incentivo e paciência ao longo de todo o desenvolvimento da pesquisa.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira pela oportunidade concedida. A todos os professores pelos conhecimentos compartilhados, além de toda a equipe e amigos da CTM pela colaboração fundamental para execução das análises e realização do trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Victor Moutinho, Laboratório de Tecnologia da Madeira/UFOPA e à empresa Rondobel Florestal pela parceria e suporte que possibilitaram a coleta do material.

Agradeço aos amigos que estiveram comigo ao longo desta jornada, compartilhando as lutas e anseios, mas também muitas risadas e momentos alegres. Especialmente à Daiane, Yony e Albanita, minha imensa gratidão e carinho pela ajuda no trabalho, amizade, risadas e cafés.

Aos amigos moradores do Mahatma, meus vizinhos de laboratório e condomínio. Minha gratidão e carinho a todos vocês por tornarem a jornada muito mais leve e memorável.

Por fim, agradeço a todos que torceram por mim e que de alguma forma cruzaram por esta caminhada com sorrisos e palavras amigas.

Muito obrigada!

RESUMO

Galhos permanecem no ambiente florestal como resíduos da atividade de extração madeireira. Considerando o grande porte das árvores amazônicas, seus galhos possuem considerável diâmetro aptos ao processamento industrial, os quais podem ser fonte alternativa sustentável de madeira para diferentes aplicações. Devido a formação de lenho de reação nos galhos, relevantes alterações macro e ultraestruturais podem ocorrer em suas características em relação à madeira do tronco. Diante disto, este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da madeira de galhos de *Hymenaea courbaril* L., comparando-a com a madeira dos troncos. Em cada uma das duas árvores amostradas foi retirado um disco do galho (diâmetro > 30cm) posicionado a 1 m de distância da sua base e em cada respectivo tronco foi cortado um disco à altura de 1,3 m de distância do solo. Para análise da biometria das fibras, ângulo das microfibrilas, propriedades físicas e mecânica, foram retiradas amostras em oito posições radiais, quatro em cada lenho, de tração e oposto. Para análise química foram obtidas três amostras radiais em cada lenho. Os parâmetros biométricos das fibras, assim como os testes físicos e mecânico foram realizados de acordo com procedimentos normatizados. A medição do ângulo das microfibrilas foi realizada por meio da técnica de microscopia de luz polarizada. Os resultados foram analisados em estatística descritiva, além da correlação de Pearson entre as características estudadas e ajuste de modelos de regressão múltipla para estimativa da resistência à compressão paralela, coeficiente de anisotropia e densidade básica. A maioria das propriedades da madeira foram diferentes entre galho e tronco. No entanto, a maioria delas foi semelhante entre os lenhos de tração e oposto, tanto dos galhos como dos troncos, o que permite o processamento e uso sem segregação desses dois tipos de lenhos. Por meio da análise de regressão stepwise foi estimada a resistência à compressão paralela às fibras, densidade básica e coeficiente de anisotropia em função da biometria das fibras, propriedades físicas e características químicas da madeira. Os coeficientes de determinação ajustados indicaram que as variações da resistência, densidade e coeficiente de anisotropia são explicadas 97%, 78% e 70%, respectivamente, pelas variações das características da madeira que foram significativas para cada modelo ajustado. É recomendável a utilização da madeira de galhos para movelaria, produção de artefatos diversos, itens decorativos e utensílios em geral. O aproveitamento direcionado à matéria-prima para pisos pode ser viável, desde que sejam realizados testes adicionais que avaliem esta possibilidade.

Palavras-chave: Resíduos florestais. Lenho de reação. Propriedades físicas. Ângulo microfibrilar. Densidade. Propriedades químicas. Resistência à compressão.

ABSTRACT

Branches remain at the forest as residue after logging activity. Since the large Amazonian trees have branches with considerable diameter suitable for industrial processing, it may be an alternative sustainable wood source that could be proper for several uses. Due to the reaction wood formation in branches, macro and ultrastructural important variations may occur in its characteristics in relation to the trunk. For appropriate knowledge and suitable use with added value, it is important to study the variability of such characteristics and their effects on the wood properties. This study aimed to investigate the branch wood quality of *Hymenaea courbaril* L., comparing to trunk wood. In each of the two sampled trees, one disc was removed from the branch (diameter > 30 cm) located at 1 m from its base and from its respective trunk one disc was cut at 1.3 m height above the ground. For fibers biometry, microfibril angle, physical and mechanical properties studies, in each disc samples were cut in eight radial positions, four in the tension and opposite wood each. For chemical analyses it was obtained six radial samples, three from each wood type. The analyses were accomplished according to standard procedures, and microfibril angle was realized by polarized light microscopy. The results were analyzed with descriptive statistic, as well as Pearson correlation and multiple regression models adjusted to estimate compressive strength, anisotropy coefficient and basic density. In general wood properties were different comparing branch and trunk wood. However, almost all tension and opposite wood properties were similar, which indicates appropriate processing and use with no need to separate both wood types. By using stepwise regression analysis, it was possible to estimate the compressive strength parallel to the fibers, density and anisotropy coefficient as a function of fiber biometry, physical and chemical wood properties. The adjusted coefficients of determination indicated that variations in strength, density and anisotropy coefficient are explained by 97%, 78% and 70%, respectively, by the variations in the wood characteristics that were significant for each adjusted model. It is recommended the branch wood utilization for furniture, production of artefacts, decorative items and tools in general. Other uses as flooring may be viable, since additional tests that evaluate this possibility be carried out.

Keywords: Wood residues. Reaction wood. Physical properties. Microfibril angle. Density. Chemical properties. Compressive strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Prancha de <i>Hymenaea courbaril</i>	17
Figura 2 – Mapa de localização da área de coleta.....	26
Figura 3 – Coleta dos indivíduos na unidade de manejo florestal.....	27
Figura 4 – Representação da retirada dos discos e faixas centrais.....	27
Figura 5 – Esquema de amostragem realizado nas faixas dos discos.....	28
Figura 6 – Representação da retirada das amostras para testes físicos, AMF e biometria das fibras.....	28
Figura 7 – Obtenção das amostras para análise química.....	29
Figura 8 – Dispersão dos valores de resistência à compressão paralela às fibras, densidade básica e coeficiente de anisotropia da madeira de <i>Hymenaea courbaril</i> observados em função dos valores estimados pelos modelos de regressão múltipla.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Excentricidade da medula em galhos e troncos de <i>Hymenaea courbaril</i>	31
Tabela 2 – Dimensões das fibras das madeiras de galho e tronco de <i>Hymenaea courbaril</i>	32
Tabela 3 – Dimensões das fibras nas posições radiais dos lenhos de tração e oposto de galho e tronco de <i>Hymenaea courbaril</i>	34
Tabela 4 – Teores de lignina e extrativos das madeiras de galho e tronco de <i>Hymenaea courbaril</i>	36
Tabela 5 – Teores de lignina e extrativos das madeiras de galho e tronco de <i>Hymenaea courbaril</i>	37
Tabela 6 – Características físicas das madeiras de galho e tronco de <i>Hymenaea courbaril</i>	40
Tabela 7 – Variação no sentido medula-casca de densidade básica, contrações lineares, volumétrica e coeficiente anisotrópico do lenho de tração e oposto do galho e tronco de <i>Hymenaea courbaril</i>	43
Tabela 8 – Ângulo das microfibrilas (AMF) da madeira de galho e tronco de <i>Hymenaea courbaril</i>	45
Tabela 9 – Ângulo das microfibrilas nas posições radiais de lenho de tração e oposto de galho e tronco de <i>Hymenaea courbaril</i>	47
Tabela 10 – Resistência à compressão paralela às fibras da madeira de galho e tronco de <i>Hymenaea courbaril</i>	49
Tabela 11 – Valores médios de resistência à compressão paralela às fibras de lenho de tração e oposto de galho e tronco de <i>Hymenaea courbaril</i>	49
Tabela 12 – Correlações entre características da madeira de troncos de <i>Hymenaea courbaril</i>	52
Tabela 13 – Correlações entre características da madeira de galhos de <i>Hymenaea courbaril</i>	54
Tabela 14 – Modelos ajustados para estimar a resistência à compressão paralela às fibras, densidade básica e coeficiente de anisotropia em função da biometria das fibras, propriedades físicas e propriedades químicas da madeira de <i>Hymenaea courbaril</i>	56
Tabela 15 – Análise de variância das regressões múltiplas ajustadas para resistência à compressão paralela às fibras, densidade básica e coeficiente de anisotropia da madeira de <i>Hymenaea courbaril</i>	57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVO	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1. Amazônia.....	13
3.2. Produção e mercado de madeira amazônica.....	14
3.3. Resíduos da colheita florestal	15
3.4. Gênero <i>Hymenaea</i>	16
3.5 Lenho de reação	17
3.5.1 Lenho de tração.....	18
3.5.1.1 Características anatômicas	18
3.5.1.2 Características químicas	19
3.5.1.3 Características físicas.....	21
3.5.1.4 Características mecânicas.....	21
3.6 Ultraestrutura da parede celular	22
3.6.1 Relações entre ângulo das microfibrilas e propriedades da madeira.....	23
3.6.2 Variação do ângulo das microfibrilas	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1. Origem do material	25
4.2. Procedimentos de coleta e amostragem.....	26
4.3. Excentricidade da medula.....	29
4.4. Biometria das fibras	29
4.5. Ângulo das microfibrilas	29
4.6. Testes físicos.....	30
4.7. Ensaio de compressão paralela às fibras.....	30
4.8. Determinação do teor de lignina e extrativos.....	30
4.9. Análise estatística	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1. Excentricidade da medula.....	31
5.2. Biometria das fibras	32
5.3. Características químicas	36
5.4. Propriedades físicas	39
5.5. Ângulo das microfibrilas	45
5.6. Compressão paralela às fibras	48

5.7. Relações entre as propriedades da madeira de galho e tronco de <i>Hymenaea courbaril</i>	50
5.8. Modelagem stepwise para estimativa de propriedades da madeira.....	55
6. CONCLUSÃO.....	59
REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

A floresta amazônica detém grande riqueza de recursos naturais e exerce papel essencial à vida incluindo a regulação climática global e conservação da biodiversidade, além de outras diversas funções ambientais e sociais. Recursos madeireiros e não-madeireiros também são importantes para a economia da região. O setor madeireiro é um dos principais na economia da região e, nesse cenário, é importante buscar alternativas que transformem as práticas tradicionais e otimizem o aproveitamento da floresta. A eficiência no aproveitamento máximo da árvore é fator diretamente relacionado à sustentabilidade da atividade florestal, como estratégia para conciliar o uso dos recursos e conservação da floresta.

A demanda por madeira e seus produtos permanece crescente e faz-se necessário novas fontes desse recurso (SHMULSKY; JONES, 2011). Nesse sentido, tem crescido o foco no uso de madeira de galhos dos resíduos da colheita florestal (LIMA et al., 2020; SUANSA; AL-MEFARREJ, 2020), pelo seu potencial de aumentar a disponibilidade de matéria-prima e atenuar a pressão sobre a floresta remanescente (DADZIE; AMOAH, 2015).

A região amazônica tem relevante impacto no fornecimento de madeira nativa no país e, por conta do grande porte das árvores, é significativa a quantidade de madeira na forma de galhos residuais da extração madeireira. É estimado que para cada 1 m³ de madeira em tora extraída nas atividades de colheita florestal na Amazônia, permanecem na floresta como resíduo da colheita aproximadamente 0,3 m³ de madeira na forma de galhos (SILVA-RIBEIRO, 2013).

Conhecer esse material pode subsidiar o uso da madeira dos galhos como fonte alternativa de recurso, aumentando a eficiência da atividade madeireira, através da obtenção e valorização de subprodutos (ARAÚJO et al., 2020; BRAZ et al., 2014). Todavia, ainda são poucos os estudos sobre galhos de espécies amazônicas com potencial madeireiro e comercial.

Ao se considerar a madeira dos galhos como recurso potencial, é necessário determinar a estratégia adequada para contornar algumas limitações que sua madeira pode ter, tornando-a apta a diversos usos com maior valor agregado (SUANSA; AL-MEFARREJ, 2020). A madeira de galhos apresenta modificações em suas características em relação à madeira do fuste principal, devido à formação de lenho de reação (DONALDSON, 2019). Clair et al. (2006), Ruelle et al. (2010), Dadzie et al. (2018) e Aiso-Sanada et al. (2018) apontam diferenças entre características anatômicas e químicas da madeira do galho e do fuste, além daquelas observadas nas propriedades físicas e mecânicas (AMOAH et al., 2012; DADZIE; AMOAH, 2015; DADZIE et al., 2016a; DADZIE et al., 2016b).

A madeira popularmente conhecida como jatobá (*Hymenaea* sp.) é uma das mais importantes entre as madeiras nativas do Brasil. Juntamente com ipê, cumaru e maçaranduba são as mais comercializadas no estado do Pará, o maior fornecedor de madeira nativa do país. Segundo relatórios fornecidos por SISFLORA (2016), entre mais de 1000 espécies, somente o jatobá representa 5% do volume total comercializado no estado, no período de 2009 a 2015, correspondente a 1.152.297 metros cúbicos. A madeira de jatobá está entre as de maiores valores no mercado interno e externo, seguindo a espécie ipê (ITTO, 2020). Seus principais usos incluem assoalhos, construção civil leve e pesada, móveis, peças torneadas e pequenos artefatos (IPT, 2013).

É possível que o melhor conhecimento sobre a madeira dos galhos de jatobá indique potenciais usos que valorizem este material, e também revele que esta madeira seja apta ao emprego similar à madeira do tronco. Adicionalmente, conhecer as propriedades desse material pode mostrar se seria interessante segregar ou classificar a madeira de diferentes tipos formadas no galho para adequado processamento industrial e uso final.

Ampliar o conhecimento da madeira de fonte alternativa como os galhos, certamente traria benefícios com o incentivo aos empreendimentos florestais, especialmente os de manejo comunitário. Itens de alto padrão e apreciação no mercado poderiam ser produzidos a partir dessa matéria-prima proveniente de manejo sustentável. Tal iniciativa pode ser fonte promissora de renda, aliando o uso eficiente dos recursos da floresta e sua conservação, ao mesmo passo que pode contribuir para o progresso social, desenvolvimento e a melhoria da qualidade de vida das comunidades na Amazônia.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi analisar a qualidade da madeira de galhos de *Hymenaea courbaril*, comparando-a com a madeira do tronco, de forma a contribuir para o melhor conhecimento e aproveitamento do resíduo florestal amazônico.

Para o alcance desse objetivo, foram estabelecidas as seguintes estratégias experimentais para os lenhos de reação dos galhos e dos troncos:

- a) determinação da excentricidade da medula nos galhos e troncos;
- b) medição do ângulo das microfibrilas;
- c) determinação da densidade básica, contração linear e volumétrica total e resistência à compressão paralela às fibras;
- d) análise das características biométricas das fibras;
- e) quantificação do teor de lignina e de extrativos;

f) análise da correlação entre as características estudadas e ajuste de modelos para estimativa de propriedades principais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Amazônia

A Amazônia é a maior floresta tropical contínua do mundo com 7,8 milhões km² abrangendo nove países da América do Sul aonde 64% da sua área total encontra-se no Brasil, onde detém 5,3 milhões de km² (PEREIRA et al., 2010). Por sua vez, o bioma amazônico, correspondente à cobertura florestal original, abrange 40% do território brasileiro e ocupa 4,1 milhões de quilômetros quadrados, onde abriga um terço das florestas tropicais do planeta e constitui-se como a maior reserva remanescente contínua de floresta tropical do planeta. (VERÍSSIMO; PEREIRA, 2014).

A floresta amazônica detém riquíssima biodiversidade nos diversos habitat terrestres e de água doce. A floresta e seus ecossistemas complexos desempenham papel crucial seja na conservação da biodiversidade ou na regulação do clima global. Além das enormes riquezas de recursos naturais, hidrográficos, minerais, abriga enorme diversidade entre comunidades tradicionais, povos indígenas e conhecimentos étnico-culturais (VERÍSSIMO et al., 2011). O grande estoque de milhares de espécies florestais, com enorme quantidade de recursos madeireiros e não-madeireiros, é de grande importância econômica para comunidades locais (SFB, 2016). A abundância de recursos torna a atividade madeireira uma das que mais contribui para a geração de emprego e renda na região (HUMMEL et al., 2010).

A atividade madeireira na região amazônica iniciou há três séculos, mas até a década de 50 a extração era limitada a poucas espécies e se restringia a floresta de várzea (VERÍSSIMO et al., 1992). Segundo estes autores, a partir da década de 70 a extração de madeira aumentou consideravelmente, com o incentivo do governo para avanço da ocupação na região, foram construídas estradas estratégicas que possibilitaram o acesso a floresta de terra firme ricas em madeira de espécies de valor comercial como ipê (*Tabebuia* sp.), mogno (*Swietenia macrophylla*), cedro (*Cedrela odorata*), cerejeira (*Torresia* sp.), cumaru (*Dipteryx* sp.), maçaranduba (*Manilkara* sp.) e jatobá (*Hymenaea* sp.).

Associado ao maior acesso ao interior da Amazônia, o esgotamento dos estoques na região sul do Brasil aumentou a demanda por madeira e provocaram a grande expansão da atividade madeireira na região a partir desse período (VERÍSSIMO et al., 1992). A partir de então, o setor madeireiro na floresta amazônica tem sido foco de discussões políticas e, a partir

da década de 90, começou a passar por mudanças significativas (VERÍSSIMO; PEREIRA, 2014). Com isso, houve avanços como políticas de fiscalização e desenvolvimento do setor florestal através do manejo florestal sustentável como forma de conciliação do uso e conservação dos recursos florestais (VERÍSSIMO et al., 2006).

3.2 Produção e mercado de madeira amazônica

O Brasil é um dos principais países produtores de madeira tropical do mundo, ocupando a segunda posição após a Indonésia (ITTO, 2020). Em termos de produção de madeira tropical serrada, o país foi o terceiro maior produtor mundial, com total de 2,4 milhões de metros cúbicos (FAO, 2020). Segundo Lentini et al. (2019), em território nacional a região amazônica é a principal fornecedora de madeira tropical nativa, com produção legal estimada em torno de 8,8 milhões de metros cúbicos de madeira em tora em 2018, com destaque para os estados do Mato Grosso, Pará e Rondônia.

O perfil da atividade madeireira na Amazônia tem passado por transformações ao longo das últimas décadas, com retração significativa em termos de produção. Segundo dados disponíveis nos sistemas SISFLORA e DOF-IBAMA, em 1998 a Amazônia brasileira produziu 10,8 milhões de metros cúbicos de produtos de madeira nativa, enquanto em 2018, somente 57% desse volume foi produzido, equivalente a 6,2 milhões de m³. Desse total, 88% foram transformados em madeira serrada, 9% em produtos aparelhados e 3% em chapas e lâminas. A maior mudança no mercado de madeira oriunda da Amazônia foi em relação ao destino desses produtos, com o maior consumo dentro da própria Amazônia, correspondendo a 35% do total, enquanto 9% foi destinado para exportação e 20% para o estado de São Paulo (LENTINI et al., 2020).

Ainda no ano de 2018 a exportação brasileira de produtos de madeira foi de aproximadamente 3 bilhões de dólares, sendo os estados da Amazônia legal com 15,7% de participação nesse total correspondendo a 459,5 milhões de dólares. O estado do Pará foi o terceiro principal estado brasileiro exportador de produtos de madeira, com montante equivalente a US\$ 247,6 milhões de dólares (COMEX-STAT, 2020).

Embora se tenha observado declínio no setor de base florestal da Amazônia nas últimas décadas, essa atividade econômica continua a desempenhar papel social estratégico importante na região. Em 2016, segundo dados do Serviço Florestal Brasileiro (SFB, 2016), a indústria de madeira da Amazônia gerou renda total de R\$ 4,4 bilhões, com criação de mais de 8 mil empregos formais no setor da extração e potencialmente outros 60 mil em atividades de desdobro e processamento. Tais fatos indicam que o setor madeireiro representa a terceira

atividade rural de maior relevância econômica para a região, atrás somente da mineração em escala industrial e da agropecuária (LENTINI et al., 2019).

A produção de madeira em tora na região amazônica ainda apresenta rendimento em madeira processada consideravelmente baixo. Foi estimado em aproximadamente 14 milhões de m³ de madeira em tora em 2009, com rendimento em produtos serrados por volta de 41% em média para todos os estados produtores da Amazônia Legal (SFB, 2018). Além deste fato, apesar da floresta tropical amazônica caracterizar-se fundamentalmente pela grande diversidade de espécies (HOSOKAWA et al., 1998), a extração está centralizada em reduzido número de espécies tradicionalmente apreciadas no mercado de madeiras, o que resulta na pressão exploratória excessiva sobre somente em um grupo de dezenas de espécies de madeiras tropicais (ÁVILA et al., 2017; CASTRO et al., 2021).

3.3 Resíduos da colheita florestal

Nas extrações de madeira aproximadamente 35 a 50% da biomassa das árvores permanecem na floresta como resíduos da atividade na forma de galhos e copa (OKAI; BOATENG, 2007). Especialmente os galhos, representam volume significativo de madeira e sua utilização pode maximizar a produtividade florestal, com aumento em torno de 60% (SHMULSKY; JONES, 2011). A tendência de utilização de madeira de galhos tem se destacado por ser um método de conservação de florestas nativas tropicais (LIMA et al., 2020), diante da diminuição da disponibilidade de recursos madeireiros de florestas nativas (LIPSCOMB; PRABAKARAN, 2020).

O volume de resíduos gerados pelas atividades de extração de madeira na Amazônia é significativo. Esse quantitativo varia em função da intensidade de corte praticada, em que é predominante a intensidade corte de 30 m³.ha⁻¹ em regimes de exploração de impacto reduzido (EIR) previstas na legislação. Keller et al. (2004) quantificaram resíduos gerados em uma área de manejo florestal em regime EIR em Paragominas, estado do Pará, com o total de 69,5 m³.ha⁻¹ de resíduos lenhosos de diâmetro acima de 10 cm.

Silva-Ribeiro (2013) ao quantificar o volume de resíduos da colheita de 11 espécies amazônicas na Floresta Nacional do Tapajós, no município de Belterra-PA, estimou que para cada metro cúbico de madeira em tora extraído, eram produzidos 0,4 m³ de madeira de galhos com diâmetro acima de 30 centímetros, ou seja, apto ao desdobro e produção de móveis. Considerando o grande porte das árvores tropicais, os galhos detêm diâmetro hábil ao processamento, adicionalmente à alta produção de madeira na região amazônica, a quantidade

de madeira na forma de galhos representa um potencial para obtenção de novos produtos com viabilidade econômica (SILVA-RIBEIRO et al., 2019).

Os fatores que contribuem para o alto desperdício de madeira na cadeia de produção de madeira nativa são aqueles relacionados a infraestrutura das serrarias e falta de conhecimento das potencialidades para diversas utilizações que os resíduos podem oferecer, especialmente as árvores amazônicas de grande porte (BRAZ et al., 2014). Ainda segundo os autores, a utilização de resíduos florestais na indústria de processamento, além de reduzir a pressão de exploração em novas áreas, pode proporcionar novas oportunidades de empreendedorismo dentro do manejo florestal e das práticas silviculturais, contribuindo com o crescimento de renda, criando nova cadeia produtiva com valor agregado e colaboração para a conservação florestal.

3.4 Gênero *Hymenaea*

Pertencente à família Fabaceae, o gênero *Hymenaea* abrange treze espécies com ampla distribuição na América do Sul e América Central, com distribuição por todo o território nacional. Suas espécies estão presentes na maior parte das florestas nativas brasileiras e *Hymenaea courbaril* L. é a mais comum na floresta amazônica (LORENZI, 2008). A maioria das espécies do gênero possuem madeira com importância comercial (MAINIERI; CHIMELO, 1989).

A madeira de *Hymenaea*, de nome comum jatobá, possui cerne com coloração castanho-avermelhado bastante distinta do alburno (Figura 1), é pesada, dura ao corte, com grã regular a irregular e possui alta durabilidade. Tem alto valor comercial, sendo apreciada em diferentes aplicações. Seus principais usos são na construção civil leve e pesada, movelaria, assoalhos, além de artefatos decorativos e artigos diversos incluindo cabos de ferramentas (ELEOTÉRIO; SILVA, 2012; IPT, 2013).

Figura 1 – Prancha de *Hymenaea courbaril*



Fonte: Da autora (2019).

A madeira de jatobá tem relevância no setor de extração de madeira nativa do Brasil. No comércio de madeira em tora no estado do Pará, maior fornecedor de madeira nativa do país, jatobá (*Hymenaea* spp.) encontra-se entre as quatro espécies mais expressivas do comércio de madeira em tora, juntamente com ipê, maçaranduba e cumaru, no período de 2009 a 2015, segundo levantamento de dados disponibilizados pelo portal SISFLORA – Sistema de Comercialização e Transporte de Produtos Florestais (SISFLORA, 2016).

3.5 Lenho de reação

O lenho de reação é um xilema secundário específico formado em troncos ou galhos de plantas lenhosas (TIMELL, 1983). Em gimnospermas é denominado lenho de compressão por se formar na parte submetida a esforço de compressão. Em angiospermas é formado lenho de tração, geralmente localizado na região superior da inclinação do tronco ou galhos (PANSHIN; DE ZEEW, 1980).

A formação do lenho de reação está associada a fatores genotípicos ou ambientais como ação de ventos, topografia, assimetria da copa e massa dos galhos (GROOVER, 2016), sendo sua formação comumente associada à inclinação ou tortuosidade do tronco. Tal formação acontece como reação natural da árvore para retornar à posição ereta durante ou após a ação de forças externas (SIMPSON; TENWOLDE, 1999). Tais forças alteram o processo fisiológico da árvore com desbalanceamento de hormônios de crescimento. A principal alteração nesse aspecto é em relação aos níveis de auxina na zona cambial e a direção da força gravitacional.

Este é o principal mecanismo responsável por essas alterações (FISHER; STEVENSON, 1981). Esses autores relatam sobre a reorientação dos galhos ao longo do seu desenvolvimento, com mudança do ângulo observado entre o eixo axial do galho em relação ao eixo da força gravitacional. No início da sua formação no galho pode ser gerado lenho de reação na sua região inferior e, após esta reorientação, este lenho pode ser movimentado para a região superior deste galho. Especificamente para *Hymenaea courbaril* os autores descrevem reorientação do eixo axial dos galhos com ângulo decrescente em relação ao eixo da gravidade. Além disso, também definem o lenho de reação e presença das camadas gelatinosas distribuídas na parte superior dos galhos para esta espécie.

As alterações na atividade cambial estimulam crescimento radial acentuado com anéis de crescimento mais largos na região contendo lenho de reação (KUO; TIMELL, 1969). Isto por sua vez origina a excentricidade da medula, ou seja, o deslocamento da medula do centro geométrico da circunferência. Essa é a principal característica macroscópica da presença de lenho de reação. Ocorrem modificações nas características do lenho de reação e, conseqüentemente, alteram suas propriedades em relação ao lenho normal.

3.5.1 Lenho de tração

O lenho de tração formado em angiospermas apresenta características modificadas em relação à madeira normal ou lenho oposto, ou seja, a madeira oposta ao lenho de reação. De forma geral, as características principais do lenho de tração são: presença de camada gelatinosa na parte interna da parede celular, aumento da densidade básica, maior contração longitudinal e redução no teor de lignina na parede celular das fibras (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980).

3.5.1.1 Características anatômicas

De forma geral, as fibras de lenho de tração possuem comprimento maior, conforme descrito por Dadswell and Wardrop (1949), Yoshizawa et al. (2000) e Jourez et al. (2001a), em comparação à madeira normal e oposta. Em relação à espessura da parede e largura das fibras, as informações descritas na literatura não apontam para tendência geral de variação dessas características (RUELLE et al., 2006). Yoshizawa et al. (2000) e Jourez et al. (2001a) observaram menor lume e parede celular mais espessa em lenhos de diferentes espécies.

Yoshizawa et al. (2000), Jourez et al. (2001a) e Ruelle et al. (2006) descreveram menor frequência e número de vasos em comparação ao lenho oposto e normal em diversas espécies tropicais. Estas variações também foram verificadas por Kucera e Philipson (1977) e Scurfield e Wardrop (1962) em lenho de tração de diferentes espécies de angiospermas. Tsai et al. (2006)

verificaram no lenho de tração de *Swietenia macrophylla* menor proporção de parênquima axial. Kucera e Philipson (1977) encontraram raios maiores e Jourez et al. (2001a) relataram maior proporção desses elementos em madeira de *Poplar* em comparação ao lenho oposto.

O lenho de tração é comumente caracterizado pela presença de fibras gelatinosas, as quais possuem camada gelatinosa ou camada G, que consiste em uma camada compacta e contínua de celulose formada no interior da célula (CÔTÉ JR et al., 1969). Essa camada é caracterizada pela redução ou ausência de lignificação (CLAIR et al., 2006), e também pelo ângulo das microfibrilas extremamente baixo (RUELLE et al., 2006; WASHUSEN et al., 2005). A camada G é depositada em diferentes maneiras nas camadas celulares: adicionada às três camadas da parede celular secundária; substituindo a camada S3, com as camadas S1 e S2 da parede secundária inalteradas e, por fim, todas as camadas de parede celular podem ser reduzidas a somente uma espessa camada gelatinosa juntamente com camada S1 (WARDROP; DADSWELL, 1955).

A formação de lenho de tração é amplamente associada à presença de camada gelatinosa, embora não necessariamente todo lenho de tração possua esta camada (FISHER; STEVENSON, 1981; QIU et al., 2008; RUELLE et al., 2010; WASHUSEN et al., 2003). Clair et al. (2006), ao estudarem 21 espécies de folhosas, observaram ausência da camada gelatinosa em 13 delas. Isto também foi verificado por Ghislain et al. (2019), ao constatarem a inexistência da camada G em 34 espécies, correspondente em 14% do total de espécies estudadas.

Uma das explicações encontradas na literatura relacionadas a isto, é que durante a diferenciação celular, a lignificação da parede secundária ainda está ocorrendo quando a camada G começa a ser formada (YOSHINAGA et al., 2012). Roussel e Clair (2015) mostraram que a camada G pode ser lignificada posteriormente ao espessamento da parede celular, o que pode ser uma das explicações da ausência de camada gelatinosa em diversas espécies. Isso é relatado pelos autores porque a maioria dos estudos que investigam a presença da camada gelatinosa, são baseados no acompanhamento dos estágios de formação da madeira de reação. Diante disto, é fato que as funções do processo de lignificação e presença de fibras gelatinosas na madeira de reação ainda permanece não completamente elucidado e conhecido para diferentes espécies e tipos de lenhos.

3.5.1.2 Características químicas

O lenho de tração possui constituição química caracterizada por alto conteúdo de celulose e baixo conteúdo de lignina em relação ao lenho normal (BAILLÉRES et al., 1997). Existe variação da distribuição de lignina no lenho de tração, seja entre a parede celular, cantos

celulares e lamela média, com concentrações alteradas devido à forma e arranjo das células e área da lamela média que, segundo Bowling e Vaughn (2008), são modificadas no lenho de tração. Segundo os autores, neste tipo de lenho as fibras são geralmente mais achatadas lateralmente, o que reduz a área da lamela média. A diminuição do teor de lignina no lenho de tração pode estar associada a essa redução, considerando que a lamela média é onde encontra-se a maior a concentração de lignina (RITTER, 1925).

Entretanto, ressalta-se que enquanto a maior concentração de lignina encontra-se nos cantos celulares e lamelas médias, a maior quantidade encontra-se na parede secundária, principalmente na camada S2 (HIGUCHI, 1997). Com base nisto, o teor de lignina pode variar em função da espessura da parede celular ou da presença de camada gelatinosa no lenho de tração, a qual é composta basicamente por celulose. Portanto, é notável que a tendência de ser encontrado menor teor de lignina em lenho de tração pode ser altamente variável entre os tipos de lenhos e entre espécies.

Além da variabilidade entre as espécies madeireiras, a concentração de lignina é variável também entre a madeira juvenil e adulta, madeira normal e de reação, assim como na madeira de galhos e raízes, além da variação entre as camadas da parede secundária, nos espaços intercelulares, como lamela média e cantos das células (BÖRCSÖK; PÁSZTORY, 2020).

Souza et al. (2019), ao analisarem a distribuição espacial da lignina no lenho de *E. grandis*, observaram altas concentrações de lignina na lamela média e na transição entre a camada S1 e S2 do lenho normal, enquanto no lenho de tração as células eram achatadas com laterais canteadas e, por conta disso, a lamela média é reduzida, o que torna baixa a concentração de lignina em relação ao lenho normal e oposto. Isto é provável que esteja associado à diminuição da área da lamela média, como também à presença da camada G no interior das células (QIU et al., 2008) a qual é constituída basicamente de celulose.

Segundo Pilate et al. (2004) provavelmente as diferenças em quantidade e estrutura da lignina entre as camadas da parede celular das fibras do lenho de tração exerce função importante na capacidade desse lenho de reorientar troncos ou galhos para seu equilíbrio e sustentação da árvore. Segundo os autores, certamente são necessárias maiores investigações para melhor compreensão da função do processo de lignificação e da lignina sobre as propriedades mecânicas do lenho de tração.

3.5.1.3 Características físicas

De forma geral, o lenho de tração apresenta modificações nas propriedades físicas menos acentuadas que aquelas normalmente verificadas em lenho de compressão em comparação à madeira normal (CLAIR; THIBAUT, 2014).

Dadswell e Wardrop (1949) discorrem que geralmente a densidade básica é maior em lenho de tração do que em lenho normal. Arganbright et al. (1970) relatam que além de ser maior que no lenho normal, a densidade do lenho de tração também tende a ser maior em relação ao lenho oposto. A diferença entre densidade do lenho de tração e lenho normal depende do tipo de organização da parede celular do lenho de tração (PANSHIN; DE ZEEW, 1980). Tsoumis (1991) discorre que a maior densidade em lenho de tração pode estar relacionada principalmente ao maior espessamento da parede das fibras com presença de camadas gelatinosas.

Em relação ao comportamento dimensional, o lenho de tração é caracterizado pela maior contração axial em comparação à madeira normal, conforme relatam Panshin e De Zeeuw (1980), Simpson e Tenwolde (1999) e Clair e Thibaut (2014). Por outro lado, as contrações tangencial e radial tendem a serem menores neste tipo de lenho de tração em relação à madeira normal (DONALDSON, 2019).

3.5.1.4 Características mecânicas

O lenho de tração é caracterizado normalmente como mais resistente à tração que a madeira normal, quando em condição seca. Panshin e De Zeeuw (1980) discorrem que quando em condição seca, a camada gelatinosa liga-se fortemente à parede secundária, aumentando a resistência a tração. Isso explica porque o lenho de tração é mais resistente que o lenho normal, quando ambos estão em estado seco. Segundo estes autores, em condição úmida a resistência à tração em lenho de tração é menor que na madeira normal, pois a camada gelatinosa presente no lenho de tração tem junção mais fraca ao restante da parede secundária, assim contribuindo para menor resistência a tração neste lenho.

Além da maior resistência a tração, o lenho de tração é geralmente caracterizado pela menor resistência a compressão paralela às fibras em relação ao lenho normal, como relatado por Ruelle et al. (2011) e Ishiguri et al. (2012). Soares et al. (2019), ao estudarem lenho de tração de espécies de *Eucalyptus*, também verificaram menor resistência à compressão no lenho de tração em comparação ao lenho oposto.

A menor resistência à compressão paralela às fibras pode estar associada ao menor teor de lignina contido no lenho de tração em relação ao lenho normal. Kollmann e Côté Jr (1968)

relatam sobre a relação entre os teores de celulose e lignina e a menor resistência à compressão do lenho de tração em relação ao lenho normal. Estes autores afirmam que a diminuição no conteúdo de lignina indica decréscimo no apoio lateral entre as microfibrilas de celulose na parede celular. Em consequência disso, as microfibrilas e as lamelas agem como longas colunas sem apoio e, sob compressão paralela às fibras, apresentam menor resistência que o lenho normal, que possui maior conteúdo de lignina.

Panshin e De Zeew (1980) relatam que compressão paralela às fibras é menor no lenho de tração do que no lenho normal em todos os níveis de umidade. Também afirmam que, de forma geral, o mesmo ocorre para as propriedades mecânicas como compressão perpendicular às fibras, módulo de ruptura e de elasticidade na flexão estática e cisalhamento. Esta redução na resistência mecânica do lenho de tração em relação ao lenho normal pode estar associada ao maior ângulo microfibrilar das camadas S1 e S2 camadas nas paredes secundárias das fibras de lenho de tração, além de, certamente, a menor resistência estar relacionada à descontinuidade de ligação entre a camada G e a camada S2, mostrando a influência da falta da alta resistência que a celulose confere a resistência deste tipo de lenho.

3.6 Ultraestrutura da parede celular

As microfibrilas constituem as unidades fundamentais da parede celular primária e secundária das plantas. Estas encontram-se imersas em uma matriz de lignina e polissacarídeos como pectinas e hemiceluloses (SJÖSTRÖM, 1993).

Na parede primária das fibras as microfibrilas estão arrançadas de maneira dispersa enquanto que na parede secundária encontra-se disposta em camadas (WARDROP, 1958). Já a parede secundária das células possui três camadas, alternadas com diferentes orientações, com organização helicoidal (WARDROP; PRESTON, 1947). Nas suas camadas S1 e S3 as microfibrilas apresentam arranjo transversal em relação ao eixo axial da fibra, enquanto que na camada S2 as microfibrilas orientam-se paralelamente a este eixo axial (WARDROP; PRESTON, 1947). A estrutura cruzada das microfibrilas confere à madeira alta rigidez axial, assim como alta resistência ao colapso e à ruptura, o que permite que a planta adote hábito de crescimento ereto e realize a condução eficiente de água da raiz ao topo (DONALDSON, 2008).

Nas camadas da parede secundária as microfibrilas formam ângulos com o eixo longitudinal da célula, denominado ângulo microfibrilar (CAVE, 1968). O ângulo das microfibrilas desempenha importante papel na determinação das propriedades da madeira e influencia, dentre outras propriedades, na sua instabilidade dimensional, a rigidez e a resistência mecânica (ZOBEL; VAN BUIJTENEN, 1989).

O ângulo das microfibrilas da camada S2 exerce maior contribuição nas propriedades químicas, físicas e mecânicas da madeira por ser normalmente mais espessa que as demais (DONALDSON, 2008; WALKER; BUTTERFIELD, 1995), principalmente em relação à sua rigidez (CAVE, 1968).

3.6.1 Relações entre ângulo das microfibrilas e propriedades da madeira

O AMF é um dos principais parâmetros que influenciam a contração e a anisotropia da madeira. Baixo AMF geralmente resulta em elevada contração tangencial, enquanto que madeiras com altos AMF apresentam maior contração longitudinal (HARRIS; MEYLAN, 1965).

O ângulo das microfibrilas apresenta relação variável com a densidade da madeira (SCHIMLECK; EVANS, 2002). A correlação entre AMF e densidade é existente em alguns anéis de crescimento consecutivos, porém este comportamento não se mantém entre árvores da mesma espécie (EVANS et al., 2000). Visto que há variação do AMF entre o lenho inicial e tardio e a quantidade dos mesmos influencia na densidade da madeira, a relação entre densidade e AMF pode ser espúria (DONALDSON, 2008), ou seja, o coeficiente de correlação apresenta valor que indica dependência entre as variáveis mesmo estas sendo, na realidade, independentes.

A característica ultraestrutural da parede celular, especialmente o ângulo das microfibrilas, e a quantidade de parede celular (densidade) afetam as propriedades mecânicas da madeira (EVANS; ILIC, 2001). A rigidez da parede celular é determinada pelo ângulo microfibrilar, que por sua vez está relacionado com a rigidez da madeira pela quantidade de parede celular por unidade de volume, ou seja, sua densidade (DONALDSON, 2008).

Esta relação entre densidade, AMF e rigidez da madeira é amplamente abordada em diversos trabalhos como os de Cave e Walker (1994), Bergander e Salmén (2002) e Xu et al. (2004). Evans e Ilic (2001) abordam a possibilidade de predição da rigidez da madeira por meio da densidade e AMF, no entanto, diversas abordagens apontaram o AMF como fator chave para essa predição (BARNETT; BONHAM, 2004; EVANS et al., 1996).

3.6.2 Variação do ângulo das microfibrilas

A variação no ângulo das microfibrilas (AMF) desempenha papel funcional no crescimento da árvore e, entre outros fatores, é influenciado principalmente pela idade (DONALDSON, 2008). Conforme o autor, durante seus primeiros anos de idade a árvore necessita de alta flexibilidade para evitar o rompimento pela ação de ventos e, conforme avança

seu desenvolvimento com incremento em altura e diâmetro, esta requer maior resistência para sustentação da copa. Nesse sentido, conforme aumenta a idade cambial, o AMF geralmente tende a diminuir.

Boyd (1980) relata que o AMF varia de 5 a 20° em folhosas e em coníferas de 10 a 30°. Em relação à variabilidade dentro da árvore, de forma geral, a variação radial do AMF é decrescente no sentido medula-casca, conforme tendências verificadas em diversos estudos. Evans et al. (2000), ao estudarem *Eucalyptus nitens*, observaram AMF decrescente de 20 para 14° no sentido medula-casca. Lima et al. (2014) investigaram a variação do AMF em *E. grandis* em relação à idade cambial e relataram que o AMF diminuiu 31,5% no sentido medula à casca. Firmino et al. (2019) também verificaram comportamento decrescente no sentido medula-casca no AMF ao estudarem a madeira amazônica de *Carapa guianensis*.

A variação axial do AMF apresenta tendência decrescente no sentido base-topo, porém, a intensidade desta variação é diferente ao longo do tronco da árvore no sentido base-topo. Evans et al. (2000), ao estudarem a variação do AMF ao longo do tronco de *E. nitens*, verificaram decréscimo do AMF no sentido da base ao topo, atingindo valor mínimo entre 30-50% da altura da árvore, voltando a aumentar conforme se avança até o topo. Knapic et al. (2018) observaram que a madeira juvenil de *E. botryoides* e *E. maculata* tinha maior variação radial do AMF nos níveis de altura mais baixos do tronco.

Existem variações do AMF entre as camadas da parede celular, as quais ocorrem de maneira distinta também dentro da parede celular. Donaldson e Xu (2005), mediram a variação contínua da orientação das microfibrilas do lume até parede primária de *Pinus radiata* por meio de microscopia eletrônica de transmissão, onde observaram zona de transição relativamente abrupta entre as camadas S2 e S3, mas uma variação gradual entre S1 e S2. Souza (2017) também demonstrou esta variação gradativa do AMF de uma camada para outra na parede secundária, ao analisar a distribuição espacial do ângulo microfibrilar de *E. grandis*.

O ângulo das microfibrilas (AMF) está relacionado com o direcionamento das tensões de crescimento, particularmente em lenho de reação (BOYD, 1980). Segundo o autor, o lenho de tração em folhosas tem baixo AMF, podendo resistir a elevadas tensões de tração. A região submetida a maior tensão de crescimento torna-se aquela superior à inclinação em casos de árvores inclinadas ou em galhos, a qual encontra-se sob elevada tensão de tração, sendo estas mais elevadas ainda que em árvores eretas.

O lenho de tração é geralmente descrito na literatura com baixo AMF. Clair et al. (2011) analisaram as modificações ultraestruturais do lenho de tração e madeira normal de álamo (*P. deltoides* x *P. trichocarpa*) e, ao investigarem as microfibrilas ao longo de sequências de

diferenciação celular, observaram reduzido AMF próximo de 0° no lenho de tração e maior ângulo na madeira normal. Washusen et al. (2005) ao estudarem madeira de galhos de *E. grandis* e *E. globulus*, encontraram baixos AMF no lenho de tração e ângulos significativamente maiores no lenho oposto, superiores a 40° . Os autores discorrem que este elevado ângulo pode ocorrer como resposta ao alto esforço de compressão que o lenho oposto está submetido na região inferior do galho, complementando, assim, o reforço estrutural juntamente ao lenho de tração.

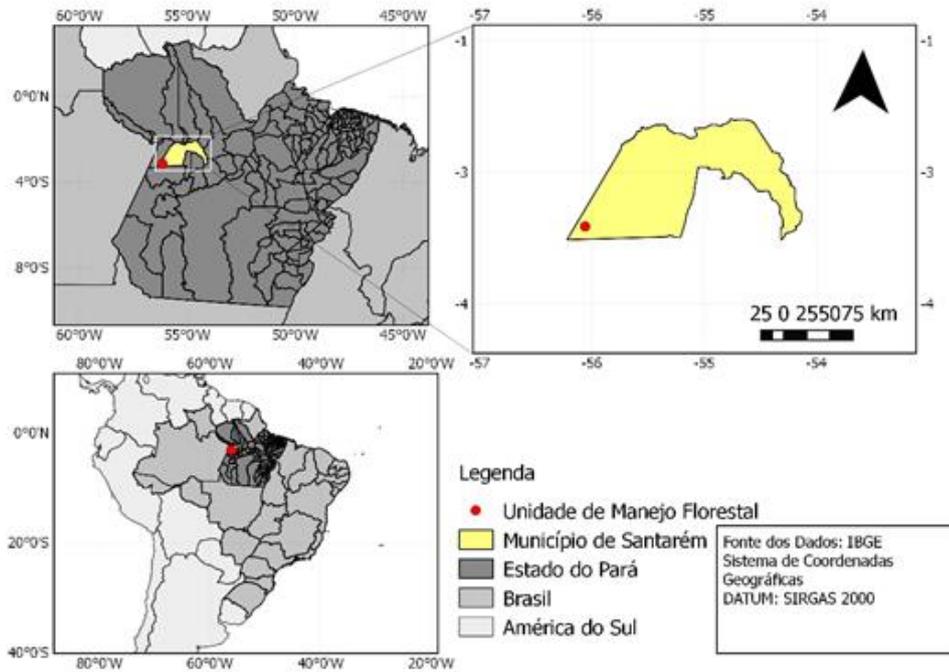
O baixo AMF geralmente verificado em lenho de tração pode estar relacionado a presença de fibras gelatinosas neste tipo de lenho. Diversos autores verificaram ângulos das microfibrilas baixos na camada G de fibras gelatinosas em lenho de tração (WARDROP; DADSWELL, 1948; DONALDSON, 2007; RUELLE et al., 2007a; WASHUSEN et al., 2001). Yoshida et al. (2000) verificaram AMF nulo, com microfibrilas paralelas ao eixo das fibras gelatinosas de *Prunus spachiana*, independentemente do grau de inclinação do tronco. Enquanto que no lenho de tração de *L. tulipifera*, sem presença de fibras gelatinosas, os autores verificaram AMF de 20° e em madeira normal de 30° .

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Origem do material

O material utilizado foi coletado em uma Unidade de Manejo Florestal, em área de floresta pública estadual operada pela empresa Rondobel Florestal, situada na Gleba Nova Olinda I, integrante do conjunto de Glebas Estaduais Mamuru-Arapiuns. A área está localizada no município de Santarém, estado do Pará, Brasil ($3^\circ 00' 20''$ S $56^\circ 01' 19.67''$ W) (Figura 2).

Figura 2 – Mapa de localização da área de coleta



Fonte: Da autora (2019).

A Gleba Nova Olinda I possui área total de aproximadamente 86000 hectares. O clima é classificado como Amw conforme Köppen, caracterizado como quente e úmido, com temperatura média anual entre 25 e 28 °C. O regime de chuvas é intenso com grande variação durante o ano, com a maior concentração de chuva no período de janeiro a julho e a estação seca ocorre de agosto a dezembro, com precipitação média anual de 1900 mm. O relevo é plano, caracterizado por topografia plana a suavemente ondulada, com predominância do solo classificado como Latossolo Amarelo nas áreas de terra-firme e Gleissolo Háplico em terras alagáveis (IDEFLOR, 2010).

4.2 Procedimentos de coleta e amostragem

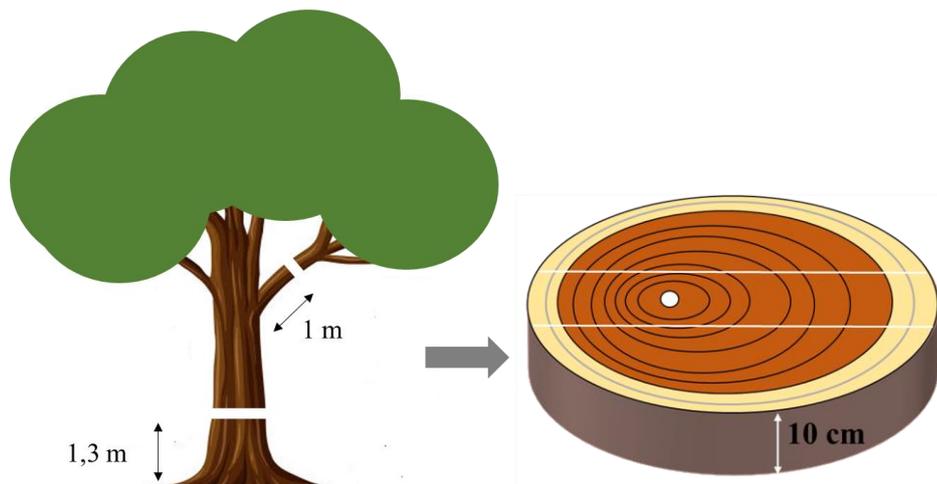
Foram selecionadas três árvores com galhos de diâmetro mínimo de 30 cm (Figura 3). O material coletado foi transportado para o Laboratório de Tecnologia da Madeira na Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA, Santarém-PA), onde foi realizada a identificação anatômica ao nível de espécie. Entre as três árvores coletadas, uma delas foi identificada como *Hymenaea parvifolia* Huber, sendo desconsiderada para esta dissertação.

Figura 3 – Coleta dos indivíduos na unidade de manejo florestal



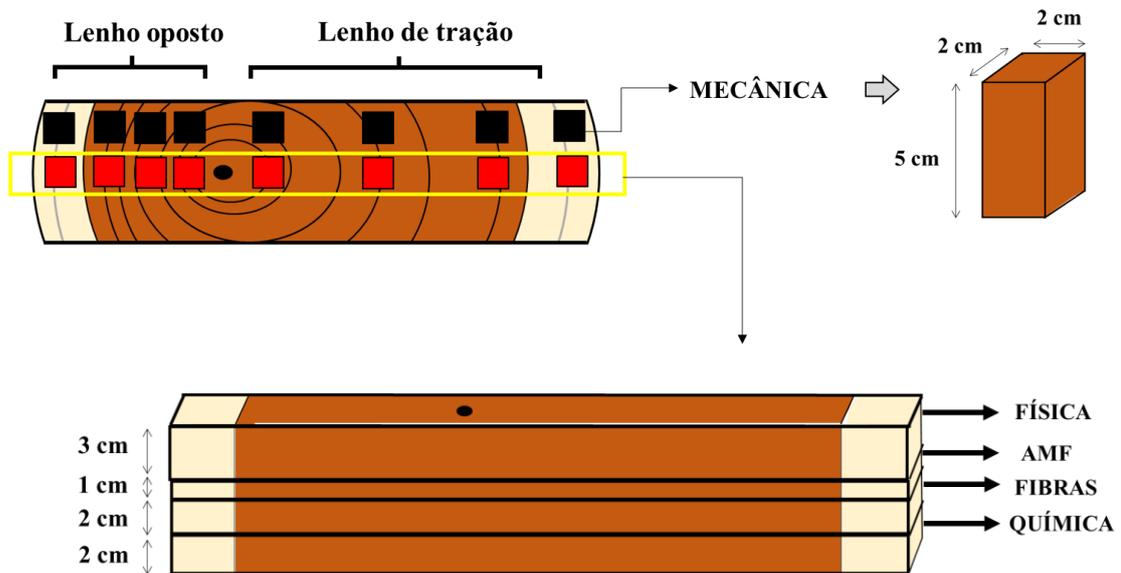
Para análises anatômica, física, mecânica, química e de ângulo das microfibrilas, de cada árvore foram cortados dois discos, sendo o primeiro retirado no tronco e o segundo obtido no galho da primeira bifurcação da árvore (diâmetro > 30 cm) (Figura 4). A posição de retiradas dos discos foi determinada tendo como ponto de referência a base do tronco e ponto de inserção galho no tronco. De maneira que evitasse o espessamento ocorrente no ponto de inserção dos galhos e nas bases dos troncos, foram retirados os discos com distâncias pré-estabelecidas de 1 metro para os galhos e 1,3 metro nos troncos. De cada disco foi retirada uma faixa central contendo a medula, conforme representado na Figura 4.

Figura 4 – Representação da retirada dos discos e faixas centrais



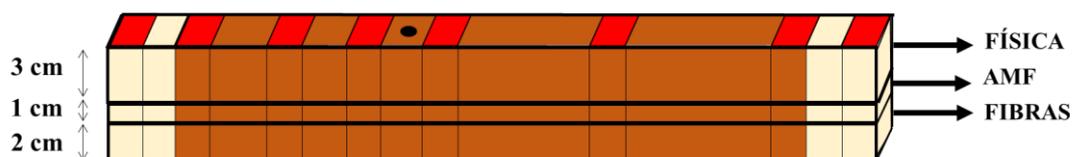
As faixas centrais dos discos foram transportadas para o Laboratório de Usinagem da Madeira na Universidade Federal de Lavras (UFLA), onde foram confeccionados os corpos de prova para todas as análises. Conforme a Figura 5, primeiramente foi retirado um filete para obter as amostras para ensaio mecânico. A seguir, a faixa central contendo a medula foi dividida em quatro filetes destinados para medição da biometria das fibras e do ângulo das microfibrilas (AMF), testes físicos e análise química (Figura 5).

Figura 5 – Esquema de amostragem realizado nas faixas dos discos



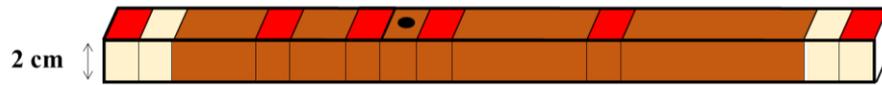
Conforme representado na Figura 6, de cada faixa central, foram retiradas amostras em oito posições radiais. Foram amostradas três posições no cerne: interna (próxima a medula), intermediária e externa. Estas foram posicionadas proporcionalmente em relação à medula, em 25, 50 e 100% de distância da medula. Além disso, foi retirada uma amostra do alburno, posicionada na região mais externa do tronco. Essa amostragem foi realizada em cada um dos lenhos de tração e oposto, em cada disco dos galhos e troncos.

Figura 6 – Representação da retirada das amostras para testes físicos, AMF e biometria das fibras



Para análise química foram retiradas amostras em seis posições radiais, três em cada lenho de tração e oposto. As amostras foram correspondentes a região interna, intermediária do cerne, além da retirada de uma amostra na região do albúrnio, conforme representado na Figura 7.

Figura 7 – Obtenção das amostras para análise química



4.3 Excentricidade da medula

Em cada disco de galho e tronco foi demarcado o centro geométrico e mensurada a distância da medula até este ponto central. Em seguida foi calculada a excentricidade da medula através da equação empregada por Monteiro et al. (2010).

4.4 Biometria das fibras

As amostras para mensuração da biometria das fibras foram retiradas em formato de palito em todas as posições radiais predefinidas nos lenhos de tração e oposto de galho e tronco. Foi preparado um macerado segundo a metodologia utilizada por Franklin (1945). Para isso, as amostras foram alocadas em frascos de vidro com solução de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio em proporção de 1:1 (v/v). Os frascos foram fechados e conduzidos à estufa a 60°C durante 24 horas. Após esta etapa, o material foi lavado com água destilada para remoção dos reagentes químicos e em seguida colorido com safranina 1% para posterior montagem das lâminas e medições em microscópio de luz.

Foram analisadas 20 fibras por amostra, com medições de comprimento, largura e diâmetro do lume. A espessura da parede celular foi obtida pela diferença entre diâmetro da fibra e do lume dividida por dois. Para obtenção das imagens foi utilizado microscópio de luz Olympus BX 51 e, pelo programa de análise de imagem *Image-Pro Plus*, foram realizadas as medições das fibras.

4.5 Ângulo das microfibrilas

Para a medição do ângulo das microfibrilas (AMF) foram produzidas amostras com dimensão de 1 cm³ que, inicialmente, foram saturadas em água. A seguir foram feitos cortes na face tangencial longitudinal das amostras com 10 micrômetros de espessura em micrótomo de

deslize. O material foi transformado em macerado, conforme o método descrito por Franklin (1945). Em seguida o material foi lavado e armazenado em água destilada.

Após este processo, foram confeccionadas lâminas provisórias com solução de água destilada e glicerina 1% para análise em microscópio. Para determinação do AMF, foi utilizada a técnica de microscopia de luz polarizada empregada por Lima et al. (2004), com o auxílio de microscópio de luz Olympus BX-51, equipado com filtro polarizador e uma mesa giratória com goniômetro graduado de 0 a 360°. Foram realizadas 20 medições por amostra.

4.6 Testes físicos

A densidade básica foi determinada segundo a NBR 11941-02 (ABNT, 2003). Foram calculadas as contrações máximas nos eixos tangencial, radial, axial, além da determinação da contração volumétrica, todas segundo procedimentos recomendados pela NBR 7190 (ABNT, 1997). Através da razão entre contração tangencial e radial, foi determinado o coeficiente de anisotropia.

4.7 Ensaio de compressão paralela às fibras

Em máquina universal de ensaios foi realizado teste mecânico de compressão paralela às fibras, com ensaio conduzido segundo metodologia descrita pela BS 373 (BSI, 1957). Após o ensaio, foram obtidos os valores de resistência à compressão paralela às fibras.

Foram testados 32 corpos de prova medindo 20 mm x 20 mm x 50 mm, com a maior medida no eixo axial. Cada um deles foi retirado nas mesmas posições radiais amostradas para as demais análises nos lenhos de tração e oposto no galho e do tronco.

4.8 Determinação do teor de lignina e extrativos

O material seco ao ar foi moído e classificado em granulometrias de 40 e 60 mesh. Foi determinada a umidade do material, seguido pela remoção dos extrativos conforme procedimentos da norma T 204 cm-97 (TAPPI T., 2007), com substituição do etanol/benzeno por etanol/tolueno.

A determinação do teor de lignina solúvel foi realizada segundo o procedimento descrito por Goldschmidt (1971), a partir do filtrado resultante do processo de determinação do teor de lignina insolúvel, que foi determinado segundo a metodologia empregada por Gomide e Demuner (1986). O teor de lignina total foi obtido por meio da soma dos teores de lignina solúvel e insolúvel. Todas as amostras foram analisadas em duplicata.

4.9 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) considerando o delineamento inteiramente casualizado, com comparações entre a madeira de tronco e de galho, além de análises entre os resultados encontrados para cada um dos lenhos de tração e oposto tanto do galho quanto de tronco. Também foi realizada a estatística descritiva, além da análise de correlação de Pearson para verificar as relações existentes entre todas as características estudadas.

Modelos de regressão múltipla foram ajustados com o auxílio do método “backward stepwise” para estimar a resistência à compressão paralela às fibras, densidade básica e coeficiente de anisotropia em função da biometria das fibras, propriedades físicas e químicas da madeira. As variáveis não significativas a 5% de probabilidade de erro ($\alpha = 0,05$) foram removidas dos modelos a cada etapa até que os modelos mais completos e estatisticamente significativos fossem ajustados.

Vale ressaltar que propriedades correlatas como coeficiente de anisotropia e contrações lineares totais, assim como espessura da parede, diâmetro de lume e largura das fibras, não foram testadas simultaneamente nos modelos para que efeitos de colinearidade não ocorressem.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores encontrados para excentricidade da medula, biometria das fibras, ângulo das microfibrilas, características químicas, físicas e mecânica da madeira de galho e tronco de *Hymenaea courbaril* L. estão apresentados nas Tabelas 1 a 11.

5.1 Excentricidade da medula

A excentricidade média da medula encontrada para os discos dos galhos e troncos encontram-se na Tabela 1. As excentricidades foram aproximadas entre galho e tronco em cada árvore amostrada. Diante disto, apesar de não ser possível verificar se havia inclinação do tronco ou do terreno antes do abate das árvores, foi possível classificar e comparar lenhos de tração e oposto nos discos dos troncos.

Tabela 1 – Excentricidade da medula em galhos e troncos de *Hymenaea courbaril*

Árvore	Galho	Tronco
1	5,22%	5,43%
2	8,2%	8,24%

Nos discos dos troncos verificou-se excentricidade da medula com percentual ligeiramente maior. Este fato pode estar relacionado a fatores como desbalanceamento da copa, inclinação do terreno, onde a massa da copa pode ter gerado o maior deslocamento da medula do centro do tronco, além de ocorrência de ventos dominantes. Porém isto seria melhor elucidado se tivesse sido possível analisar esses fatores antes do abate das árvores.

5.2 Biometria das fibras

As dimensões médias das características biométricas das fibras de galho e tronco, além do coeficiente de variação e resultados do teste de médias encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Dimensões das fibras das madeiras de galho e tronco de *Hymenaea courbaril*

Característica	Parâmetros	Tipo de material		Valor F
		Galho	Tronco	
Comprimento	Média (mm)	1,275	1,362	24,48*
	Mínimo (mm)	0,791	0,832	
	Máximo (mm)	1,965	1,941	
	CV (%)	17,31	16,27	
Largura	Média (mm)	17,10	19,27	130,99*
	Mínimo (mm)	10,75	12,02	
	Máximo (mm)	23,62	27,41	
	CV (%)	12,98	13,30	
Diâmetro do lume	Média (mm)	6,37	7,38	37,53*
	Mínimo (mm)	1,85	2,99	
	Máximo (mm)	11,80	14,15	
	CV (%)	31,07	29,14	
Espessura da parede	Média (mm)	5,36	5,95	63,04*
	Mínimo (mm)	2,82	3,44	
	Máximo (mm)	7,58	8,77	
	CV (%)	17,09	15,88	

*: significativo a 5% de probabilidade; CV = Coeficiente de variação.

Valores biométricos relacionados a fibras de galhos não foram encontrados na literatura, o que não permitiu a comparação de resultados. O comprimento das fibras variou de 0,791 a 1,965 mm nos galhos e entre 0,832 e 1,941 mm nos troncos (Tabela 2), com médias equivalentes a 1,275 mm no galho e 1,362 mm no tronco. Os valores para a madeira do tronco, corroboram

com Richter e Dallwitz (2000) que descrevem comprimento de fibras de *H. courbaril* variando de 0,730 a 1,860 mm e com média geral de 1,370 mm. Estes valores também estão de acordo com Ribeiro et al. (2018) (1,29 mm) ao estudarem a mesma espécie. Para o gênero *Hymenaea* spp., Klitzke et al. (2008) encontraram média de 1,46 mm e Mattos et al. (2003) também verificaram valores aproximados, com variação entre 0,73 e 1,62 mm. A largura média das fibras foi de 17,10 e 19,27 μm para galho e tronco, respectivamente (Tabela 2). Paula (1999) e Klitzke et al. (2008) que, ao estudarem madeiras de *Hymenaea* spp., encontraram para essa característica valores de 19 μm e 21,97 μm , respectivamente. Especificamente para *H. courbaril*, Paula (1977) descreve fibras com largura média de 16 μm , variando de 13,5 a 17 μm , enquanto Ribeiro et al. (2018) apresenta fibras com 20,8 μm de largura. O diâmetro médio do lume foi igual a 6,37 μm em galho e 7,38 μm em madeira de tronco (Tabela 2). Estas dimensões são próximas ao valor encontrado por Ribeiro et al. (2018) (6,87 μm), por Klitzke et al. (2008) (7,76 μm) e por Paula (1977) que encontrou valor equivalente a 7,54 μm . A espessura da parede das fibras média foi igual a 5,36 μm em galho e 5,95 μm em madeira de tronco (Tabela 2), valores superiores aos 4,95 μm apresentados por Paula (1977), mas menores do que 6,97 μm , apresentado por Ribeiro et al. (2018) e por Klitzke et al. (2008) (7,10 μm).

De forma geral, conforme Tabela 2, para todas as dimensões medidas, as fibras da madeira dos galhos de *H. courbaril* foram menores em relação às dos troncos, o que demonstra diferença estatística de acordo com o teste F, além de apresentarem coeficientes de variação semelhantes.

Na madeira de galho houve tendência de aumento do comprimento, largura e espessura da parede das fibras no sentido medula-casca no cerne do lenho de tração (Tabela 3). Já no lenho oposto de galho e em ambos os lenhos de tronco não foi constatado padrão predominante, embora os valores médios sejam próximos. Em relação ao diâmetro do lume, não se observou variação radial predominante entre os tipos de lenhos estudados.

Tabela 3 – Dimensões das fibras nas posições radiais dos lenhos de tração e oposto de galho e tronco de *Hymenaea courbaril*

		Comprimento (mm)					CV (%)	Valor F	
Tipo de material		Posição radial							
		Interna	Intermediária	Externa	Alburno	Média			
Galho	Tração	1,174	1,235	1,497	1,426	1,333	17,24	23,40*	
	Oposto	1,169	1,319	1,285	1,098	1,218	16,06		
Tronco	Tração	1,558	1,36	1,298	1,214	1,358	16,83	0,11 ns	
	Oposto	1,376	1,439	1,287	1,361	1,366	15,75		
		Largura (μm)					Média	CV (%)	Valor F
Tipo de material		Posição radial							
		Interna	Intermediária	Externa	Alburno				
Galho	Tração	16,32	18,07	17,86	17,88	17,53	12,54	12,32*	
	Oposto	16,1	17,13	16,67	16,79	16,68	12,99		
Tronco	Tração	19,51	18,55	19,08	19,17	19,08	13,41	1,90 ns	
	Oposto	19,01	20,22	19,77	18,88	19,47	13,15		
		Diâmetro do lume (μm)					Média	CV (%)	Valor F
Tipo de material		Posição radial							
		Interna	Intermediária	Externa	Alburno				
Galho	Tração	6,93	7,42	6,09	6,84	6,821	27,74	17,08*	
	Oposto	6,09	5,72	5,94	5,96	5,928	33,28		
Tronco	Tração	7,12	6,67	7,18	7,59	7,136	29,99	3,97*	
	Oposto	7,21	8,4	7,53	7,32	7,614	28,07		
		Espessura da parede (μm)					Média	CV (%)	Valor F
Tipo de material		Posição radial							
		Interna	Intermediária	Externa	Alburno				
Galho	Tração	4,69	5,32	5,88	5,52	5,36	17,94	0,03 ns	
	Oposto	5,01	5,71	5,36	5,42	5,37	16,25		
Tronco	Tração	6,2	5,94	5,95	5,79	5,97	16,43	0,15 ns	
	Oposto	5,9	5,91	6,12	5,78	5,93	15,36		

ns = diferença não significativa a 5% de probabilidade; * = significativo a 5% de probabilidade; CV = Coeficiente de variação.

De acordo com a Tabela 3, o comprimento das fibras aumentou no sentido medula-casca, com pequeno decréscimo no alburno em todos os lenhos tanto de galho quanto de tronco, exceto no lenho oposto do tronco. Tal comportamento corrobora com Klitzke et al. (2008) que

encontraram 1,52 e 1,37 mm de comprimento médio das fibras de cerne e albúrnio, respectivamente, para a madeira de *Hymenaea* sp.

Em relação à espessura da parede das fibras, estas foram semelhantes entre os lenhos de tração e oposto do galho e também entre aqueles do tronco (Tabela 3). Esta similaridade entre lenhos também foi verificada por Ruelle et al. (2006) ao investigarem troncos inclinados de espécies tropicais com densidades similares às de *Hymenaea* spp. Considerando que ainda são incipientes os estudos sobre madeira de galhos de espécies amazônicas, não foram encontrados na literatura resultados para comparação dessas características biométricas.

Conforme Tabela 3, todas as características biométricas das fibras foram semelhantes entre os lenhos de tração e oposto do tronco, com exceção do diâmetro do lume. Isto reflete o comportamento biomecânico de sustentação da árvore e da copa em condições de desbalanceamento da copa ou inclinação, e conseqüentemente, refletindo nas demais características da madeira e seu desempenho como matéria-prima.

Em relação à madeira dos galhos, conforme mostrado na Tabela 3, todas as características biométricas das fibras diferiram entre os lenhos de tração e oposto, exceto a espessura da parede. Ressalta-se que esta característica é diretamente relacionada à densidade da madeira (TSOUMIS, 1991), à resistência mecânica, além de apresentar importante relação com o comportamento dimensional da madeira. A semelhança entre espessura da parede verificada entre estes tipos de lenho (Tabela 3), é uma importante observação. No entanto é fundamental complementar a análise da configuração anatômica destes tipos de madeira tropical, como por exemplo a quantificação da frequência e tamanho dos vasos, além de outras características anatômicas que possibilitem apontar seu adequado processamento, prever o comportamento como matéria-prima e potenciais usos finais para a madeira procedente dos tipos de lenhos encontrados em madeira de galhos.

De maneira geral, a menor variação das características biométricas das fibras pode ser devida à predominância da madeira adulta no tronco, onde há maior estabilidade na formação e diferenciação das células. Ao mesmo passo que a maior instabilidade dessas características das fibras nos lenhos provenientes dos galhos em relação ao tronco pode estar relacionada a maior teor de madeira juvenil neste lenho e, conseqüentemente, com dimensões biométricas das fibras menos uniformes que aquelas encontradas em madeira adulta.

Além disso, o lenho de reação no tronco pode ter sido provocado pelo peso desbalanceado dos galhos, motivo este que pode ter maior efeito do que a inclinação do terreno. Este desbalanceamento da copa pode resultar em maior quantidade de lenho de reação e

excentricidade da medula nos troncos do que nos galhos, que por sua vez estariam sob menor esforço que o tronco.

5.3 Características químicas

Conforme apresentado na Tabela 4, os resultados de teores de lignina encontrados para os teores de lignina para a madeira do tronco apresentaram variação entre 22,82 e 33,3%, enquanto os de extrativos variaram de 2,54 e 14,27%. Na madeira de galhos, o conteúdo de lignina variou de 24,1 a 34,31%, enquanto que o teor de extrativos atingiu valores entre 1,35 e 23,27%. Observa-se valores máximos e mínimos de teor de extrativos bastante divergentes tanto na madeira de galhos quanto de troncos. Isto está relacionado ao fato de que estes valores englobam a madeira de cerne e de alburno, as quais são bastante distintas entre si em termos de teor de extrativos, como verificado por Suzuki et al. (2008) em madeiras tropicais amazônicas.

Em relação aos teores médios de lignina e extrativos, estes foram de 27,79% e 8,80%, respectivamente, na madeira de troncos de acordo com a Tabela 4. Estes resultados corroboram com os encontrados por Klitzke et al. (2008) de 29,66% de lignina e 8,77% de extrativos para *Hymenaea* sp. Castro et al. (2015) verificaram maiores teores médios que foram 31,88% para lignina e 12,78% para extrativos em madeira de troncos de *H. courbaril*. Ao estudarem madeira da mesma espécie, Carneiro et al. (2009) determinaram teor de extrativos de 8,5%.

Tabela 4 – Teores de lignina e extrativos das madeiras de galho e tronco de *Hymenaea courbaril*

Variável	Parâmetro	Tipo de material		Valor F
		Galho	Tronco	
Lignina total (%)	Média	31,47	27,79	14,26*
	Mínimo	24,10	22,82	
	Máximo	34,31	33,30	
	CV (%)	8,99	11,85	
Extrativos (%)	Média	12,83	8,80	4,55*
	Mínimo	1,35	2,54	
	Máximo	23,27	14,27	
	CV (%)	57,20	49,95	

* = significativo a 5% de probabilidade; CV = Coeficiente de variação.

Na madeira de galho foram verificados maiores teores médios de lignina e de extrativos em relação ao tronco, o que foi estatisticamente diferente (Tabela 4). Maior teor de extrativos confere à madeira maior durabilidade natural (AMUSANT et al., 2004), assim como a lignina

confere rigidez à parede celular e conexão entre as células (LEE et al., 2007), o que, consequentemente, influencia fortemente as propriedades mecânicas da madeira (NAKAJIMA et al., 2009). Esses fatos permitem inferir sobre maior ou equivalente resistência mecânica e durabilidade natural da madeira de galhos em relação à madeira de tronco de *H. courbaril*. No entanto, são necessários estudos adicionais para testarem essas proposições.

Os fatores que podem estar relacionados ao maior teor de lignina na madeira de galhos pode ser a quantidade de lenho de reação ou de madeira juvenil nos galhos, as quais podem ser maiores que nos troncos, uma vez que o lenho de tração tende a ter maior conteúdo de celulose e menor teor de lignina. Portanto, a presença do lenho de reação no tronco pode ser mais significativa e favorecer a formação de celulose, e assim, reduzindo o teor de outros componentes, principalmente a lignina.

Na Tabela 5 estão relacionados os teores médios de lignina e extrativos nos lenhos de tração e oposto para as posições radiais do galho e tronco. Além disso estão apresentados os valores F encontrados na análise de variância entre os lenhos de tração e oposto tanto de galho quanto de tronco (Tabela 5). Observa-se menor conteúdo de lignina na região interna, próxima à medula, em relação à posição radial intermediária no galho, enquanto no tronco foi observado o contrário.

Tabela 5 – Variação do conteúdo de lignina e extrativos no sentido medula-casca nos lenhos de tração e oposto de galho e tronco de *Hymenaea courbaril*

Tipo de material	Componente	Lenho	Posição Radial			Média	Valor F
			Interna	Intermediária	Alburno		
Galho	Lignina total (%)	Tração	31,46	32,33	27,08	30,08	3,86 ns
		Oposto	32,45	34,05	30,95	32,48	
	Extrativos (%)	Tração	16,26	16,32	1,50	12,59	0,01 ns
		Oposto	19,79	17,72	3,19	13,00	
Tronco	Lignina total (%)	Tração	31,30	29,19	25,00	28,44	0,88 ns
		Oposto	29,71	28,82	24,02	27,08	
	Extrativos (%)	Tração	11,22	11,33	2,93	8,24	0,36 ns
		Oposto	13,40	12,56	4,26	9,41	

ns = diferença não significativa a 5% de probabilidade.

Nos lenhos de tração e oposto de galho e tronco foram encontrados altos teores de extrativos no cerne (Tabela 5), sendo estes estatisticamente semelhantes. Segundo Browning (1981) madeiras tropicais possuem teor de extrativos maiores em relação às espécies nativas de

regiões temperadas. Santana e Okino (2007) encontraram valores de conteúdo de extrativos atingindo até 17%, ao estudarem 36 espécies tropicais amazônicas.

Madeiras com alta quantidade de extrativos tendem a possuir maior estabilidade dimensional, além de menor umidade de equilíbrio em comparação à espécies de menor quantidade desses compostos (JANKOWSKY; GALVÃO, 1979; BODIG; JAYNE, 1982). Segundo esses autores, esse comportamento está associado ao preenchimento dos espaços na parede celular com os extrativos, espaços que geralmente são preenchidos pela água. Além disso, estes altos teores de extrativos observados em galho e tronco podem indicar boa durabilidade natural dessas madeiras, devido a toxicidade desses componentes para organismos xilófagos (HILLIS, 1987; SCHULTZ; NICHOLAS, 2000). Estudos como os de Costa et al. (2019) e Haag et al. (2020) verificaram esta influência da concentração de extrativos na durabilidade natural de madeiras amazônicas.

Além da influência na durabilidade natural, a presença de extrativos proporciona alta influência na coloração da madeira e conseqüentemente no desenho das peças. A acentuada diferença de cores entre cerne e alburno é uma das características mais marcantes na madeira de jatobá (*Hymenaea* sp.) (Figura 1). Considerando a importância estética desta característica organoléptica e a presença desta diferença de cores na madeira de galhos, seu valor estético é um fator importante na sua valorização e aproveitamento para obtenção de diversos produtos, principalmente decorativos.

No lenho de tração dos troncos foram observados teores de lignina estatisticamente semelhantes entre os lenhos de tração e oposto (Tabela 5). Diferente do que geralmente é relatado na literatura para de lenho de tração, caracterizado quimicamente com menor teor de lignina e maior conteúdo de celulose em relação ao lenho oposto ou madeira normal (TIMELL, 1969; PILATE et al., 2004). Este comportamento não foi observado neste estudo para madeira de galho e tronco (Tabela 5). Timell (1969), ao estudar a composição química do lenho de tração, afirmou que o menor teor de lignina encontrado em neste lenho resulta da adição de celulose nas fibras com presença de camada gelatinosa. Este fato indica a possibilidade de que nos lenhos de tração estudados de *H. courbaril* as fibras não possuam esta camada gelatinosa e, por conta disso, não apresentem menor teor de lignina. No entanto são necessárias análises que permitam observar as camadas da parede das fibras destes lenhos.

Observou-se teor de lignina estatisticamente semelhantes entre os lenhos de tração e oposto na madeira proveniente de galhos (Tabela 5). Isto pode influenciar em propriedades similares entres estes lenhos, como densidade e desempenho mecânico. Diante disto, teores de

lignina semelhantes podem resultar em comportamento tecnológico semelhante das madeiras provenientes destes tipos de lenhos para diversos usos.

5.4 Propriedades físicas

Os valores médios e demais parâmetros estatísticos encontrados para as propriedades físicas da madeira de *H. courbaril* de galho e tronco encontram-se apresentados na Tabela 6.

Para a densidade básica de galho e tronco (Tabela 6) foram encontrados valores alinhados com Mamonová e Reinprecht (2020) que determinaram $0,907 \text{ g.cm}^{-3}$ e Richter e Dallwitz (2000), que verificaram densidade média de $0,82 \text{ g.cm}^{-3}$, variando de $0,71$, a $0,9 \text{ g.cm}^{-3}$ em madeira de *H. courbaril*. Os resultados médios encontrados (Tabela 6) também corroboram com Sousa et al. (2019) ($0,848 \text{ g.cm}^{-3}$) e são superiores aos de Souza et al. (1997) ($0,76 \text{ g.cm}^{-3}$) e Kretschmann (1999) ($0,71 \text{ g.cm}^{-3}$) para a mesma espécie. Além de estar aproximado ao que descreve Evangelista e Costa (2017) para *Hymenaea* sp., com densidade de $0,82 \text{ g.cm}^{-3}$.

Tabela 6 – Características físicas das madeiras de galho e tronco de *Hymenaea courbaril*

Parâmetros	DB (g.cm ⁻³)		CT (%)		CR (%)		CL (%)		CVol (%)		CA	
	Galho	Tronco	Galho	Tronco	Galho	Tronco	Galho	Tronco	Galho	Tronco	Galho	Tronco
Média	0,85	0,85	5,01	6,87	2,84	3,38	0,46	0,21	8,12	10,21	1,78	2,06
Mínimo	0,68	0,68	3,31	5,01	1,82	2,05	-0,06	0,00	5,32	7,12	1,34	1,71
Máximo	0,93	0,93	8,74	8,05	4,79	4,67	1,55	0,53	13,73	12,46	2,51	2,47
CV (%)	10,23	10,67	30,50	14,65	27,62	20,39	83,29	72,12	29,04	15,51	15,90	11,37
Valor F	0,00 ns		16,51*		4,34*		5,86*		8,62*		9,74*	

ns = diferença não significativa a 5% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; DB = densidade básica; CT = contração tangencial; CR = contração radial; CL = contração axial; CVol = contração volumétrica; CA = coeficiente de anisotropia; CV = coeficiente de variação.

Considerando a importante relação da densidade da madeira com as demais propriedades da madeira como a instabilidade dimensional (ENGELUND et al., 2013; ALMEIDA et al., 2017) e resistência mecânica (BENDTSEN, 1978; RUIZ-AQUINO et al., 2018), a semelhança entre a densidade média das madeiras de galho e tronco (Tabela 6) indica possíveis processamentos e utilizações similares para estes materiais. Apesar de ser uma das mais importantes características anatômicas relacionadas a densidade da madeira, a espessura da parede celular diferente entre os dois tipos de madeiras comparadas (Tabela 2) não implicou em diferença entre densidade básica (Tabela 6). Possivelmente outras características anatômicas como a frequência de poros exerçam importante influência na densidade e, conseqüentemente, nas demais propriedades da madeira. Outra possibilidade é a influência de diferente proporção de lenho juvenil e adulto contida entre a madeira de galho e tronco. Visto que no tronco, especialmente na região basal, provavelmente contenha maior quantidade de madeira adulta, a qual possui maior homogeneidade da densidade e das dimensões dos elementos celulares e, conseqüentemente, maior uniformidade das propriedades em comparação à madeira juvenil (FERREIRA et al., 2011; GATTO et al., 2013).

As contrações da madeira de tronco (Tabela 6) corroboram com Lahr et al. (2016) que relatam contração tangencial 6,72% e radial 3,55% para *Hymenaea* sp., mas foram menores que as descritas por Kretschmann et al. (1999) para *Hymenaea courbaril*, com contração tangencial de 8,5%, radial 4,5% e volumétrica 12,7%. As contrações encontradas para tronco (Tabela 6) são maiores que os valores descritos para *Hymenaea* sp. no estudo de Cavalheiro et al. (2016) que encontraram valores de 4,64%, 3,25%, 0,24% e 8,3% para contração tangencial, radial, axial e volumétrica, respectivamente. Também são maiores que aqueles de Klitzke et al. (2008) que verificaram contração tangencial igual a 5,8%, radial igual a 3,1% e volumétrica igual a 8,9%. Por outro lado, são menores que os relatados por IPT (2013) para contração tangencial de 7,2%, radial de 3,1% e volumétrica de 10,7%, assim como Lahr et al. (2016) para contração tangencial de 6,72% e radial de 3,55%, Evangelista e Costa (2017) encontraram altas contrações de 11,46 e 6,11% para tangencial e radial, respectivamente, e volumétrica igual a 16,94%. Para coeficiente anisotrópico de madeiras de *Hymenaea* sp., Cavalheiro et al. (2016) verificaram valor médio de 1,44, menor que o encontrado pra galho e tronco (Tabela 6), que por sua vez corroboram com Klitzke et al. (2008) e Evangelista e Costa (2017) que determinaram para este coeficiente valores de 1,9 e 1,89, respectivamente.

Conforme a Tabela 6, entre as propriedades físicas estudadas houve semelhança estatística somente entre a densidade básica das madeiras do galho e do tronco. Porém, vale ressaltar o fato de que todas as contrações, exceto a axial, e coeficiente anisotrópico foram

menores na madeira do galho em relação à do tronco. Este fato indica satisfatório comportamento dimensional da madeira de galhos, uma vez que estes parâmetros são fundamentais para conhecimento das variações dimensionais e instabilidade dimensional da madeira. Quanto menor a razão entre a contração tangencial e radial, representada pelo coeficiente anisotrópico, menos propensa a defeitos durante a secagem da madeira como rachaduras e empenamentos (BERGMAN, 2021). Considerando que os defeitos de secagem é um dos fatores fundamentais em relação ao processamento industrial, custos de produção e uso final da madeira (PERRÉ; KEEY, 2006).

As variações radiais do comportamento das propriedades físicas no sentido medula-casca estão detalhadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Variação no sentido medula-casca de densidade básica, contrações lineares, volumétrica e coeficiente anisotrópico do lenho de tração e oposto do galho e tronco de *Hymenaea courbaril*

Tipo de material		Posição Radial				Média	Valor F
		Interna	Intermediária	Externa	Alburno		
Densidade básica (g.cm ⁻³)							
Galho	LT	0,915	0,862	0,904	0,737	0,855	0,753 ns
	LO	0,89	0,845	0,916	0,709	0,84	
Tronco	LT	0,915	0,897	0,852	0,7	0,841	0,752 ns
	LO	0,919	0,893	0,905	0,706	0,856	
Contração Tangencial (%)							
Galho	LT	3,876	4,681	5,048	7,755	5,34	0,409 ns
	LO	3,7731	4,293	3,839	6,83	4,684	
Tronco	LT	7,566	7,021	5,632	7,956	7,044	0,513 ns
	LO	7,468	6,851	5,131	7,347	6,699	
Contração Radial (%)							
Galho	LT	2,726	2,577	2,416	4,065	2,946	0,603 ns
	LO	2,498	2,574	2,214	3,643	2,732	
Tronco	LT	4,195	3,383	2,624	4,025	3,557	0,331 ns
	LO	3,558	3,306	2,325	3,649	3,209	
Contração Axial (%)							
Galho	LT	0,508	0,401	0,268	0,832	0,502	0,697 ns
	LO	0,33	0,11	0,27	0,983	0,423	
Tronco	LT	0,184	0,32	0,082	0,153	0,185	0,496 ns
	LO	0,36	0,188	0,162	0,246	0,239	
Contração Volumétrica (%)							
Galho	LT	6,972	7,507	7,59	12,24	8,575	0,461 ns
	LO	6,485	6,859	6,22	11,107	7,668	
Tronco	LT	11,607	10,453	8,184	11,796	10,51	0,466 ns
	LO	11,081	10,101	7,487	10,947	9,904	
Coeficiente anisotrópico							
Galho	LT	1,434	1,831	2,174	1,926	1,841	0,383 ns
	LO	1,54	1,702	1,7336	1,877	1,713	
Tronco	LT	1,806	2,084	2,172	2,028	2,022	0,499 ns
	LO	2,098	2,073	2,232	2,017	2,105	

ns = diferença não significativa a 5% de probabilidade; LT = lenho de tração; LO = lenho oposto.

Ressalta-se tendência predominante de decréscimo da densidade básica no sentido da medula até a região intermediária do cerne, seguido de aumento na porção externa do cerne do galho e do tronco (Tabela 7). Também se observa redução mais acentuada da densidade básica

no alburno de todos os lenhos de tração e oposto tanto de galho quanto de tronco. Isto pode estar ligado à significativa diferença de quantidade de extrativos presentes no cerne e alburno, característica marcante em madeiras de *Hymenaea*. Apesar do seu baixo peso molecular, é interessante investigar a influência desses componentes extrativos na densidade da madeira, uma vez que a diferença do teor encontrado entre cerne e alburno é expressiva.

Esta característica entre os lenhos de tração e oposto foram bastante próximas, sendo estatisticamente semelhantes entre os lenhos do galho e os do tronco (Tabela 7). Este fato não está alinhado com o relatado na literatura (ARGANBRIGHT et al., 1970; COUTAND et al., 2004; DADSWELL; WARDROP, 1949; JOUREZ et al., 2001b), que de forma geral descreve o lenho de tração com maior densidade que o lenho oposto, uma vez que este tipo de lenho comumente tem maior teor de celulose em relação ao lenho oposto e madeira normal (TIMELL, 1969), sendo que a celulose é mais densa que a lignina, conseqüentemente, resultando na maior densidade do lenho de tração.

Semelhante ao observado neste estudo, densidades básicas similares entre lenho de tração e oposto também foram verificadas por Monteiro et al. (2010) ao analisarem madeira de *Eucalyptus* com 34 anos. Ruelle et al. (2007b) ao estudarem lenho de tração em dez espécies tropicais, em cinco delas encontraram densidades semelhantes entre os dois tipos de lenho. Diante disto, os autores relataram que é notável que propriedades físicas como a densidade e instabilidade dimensional em lenho de tração é altamente diversificada entre as espécies, ao contrário do lenho de compressão que apresenta comportamento mais predominante entre as espécies.

De forma geral, as densidades básicas nos lenhos de galho e tronco (Tabela 7) são classificadas como altas (entre 0,750 e 1,000 g.cm⁻³), exceto alburno que pode ser categorizado como de média densidade (0,500 - 0,750 g.cm⁻³), de acordo com classificação de Csanády et al. (2015).

As contrações nos eixos tangencial, radial e, conseqüentemente, na contração volumétrica nas madeiras do galho e do tronco foram estatisticamente semelhantes entre o lenho de tração e o oposto (Tabela 7). Ruelle et al. (2007b) avaliaram comportamento semelhante em lenho de tração e oposto de troncos de nove espécies tropicais. Segundo os autores isto acontece no lenho de tração devido ao comportamento característico da camada gelatinosa ou modificações em sua composição química.

Entre os lenhos de tração e oposto não houve diferença estatística, tanto entre os lenhos de galho quanto de tronco. Clair e Thibaut (2014) afirmam para lenho de tração que a densidade e contração transversal podem ser altamente variáveis entre as espécies, mas, de forma geral,

não sofrem grandes modificações no lenho de tração em relação à madeira normal. No entanto, estes autores ressaltam que este comportamento axial depende da presença da camada gelatinosa.

De maneira geral, conforme apresentado nas Tabela 6 e 7, o fato de que os a madeira de galho apresentou contrações tangenciais, radiais e volumétricas menores que no tronco pode representar melhor ou similar comportamento dimensional em relação à madeira comumente utilizada procedente de troncos, visto que menores as variações dimensionais representam menor instabilidade desta madeira. Também se observou menor coeficiente de anisotropia na madeira de galho em comparação ao tronco (Tabela 6), o que indica menor propensão a defeitos como rachadura ou empenamentos na madeira durante a secagem (OLIVEIRA et al., 2010). Em função do seu coeficiente anisotrópico, a madeira de galho é classificada como normal, segundo Durlo e Marchiori (1992), que definiram critérios de classificação da madeira em relação ao parâmetro anisotrópico sendo estes: 1,2 a 1,5 considerado excelente, 1,5 a 2,0 normal, e acima de 2,0 classificadas como ruim.

5.5 Ângulo das microfibrilas

Os ângulos das microfibrilas (AMF) médio, mínimo e máximo determinados para a madeira de galho e tronco estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Ângulo das microfibrilas (AMF) da madeira de galho e tronco de *Hymenaea courbaril*

Parâmetro estatístico	Tipo de material	
	Galho	Tronco
Mínimo	2	1
Médio	6,75	4,42
Máximo	16	10
CV (%)	42	30
Valor F	171,65*	

* = diferença significativa a 5% de probabilidade; CV = coeficiente de variação.

Na madeira de galho e tronco foram encontrados AMF baixos, o que pode estar relacionado à presença de lenho de tração que geralmente na literatura é caracterizado pelo baixo ou nulo AMF (CLAIR et al., 2011; WASHUSEN et al., 2005; RUELLE et al., 2007a). Apesar de aproximados e com coeficiente de variação também relativamente próximos, os ângulos médios das microfibrilas das madeiras de galho e de tronco foram estatisticamente diferentes (Tabela 8).

O menor AMF da madeira de tronco conforme apresentado na Tabela 8 pode estar ligado à maior excentricidade da medula, que tende a conter maior quantidade de lenho de tração. Além disso, a maior estabilidade da madeira adulta, de maior concentração nos troncos, também pode estar relacionada ao seu menor AMF, considerando que este ângulo tende ser mais estável na madeira adulta e diminuir à medida que a idade cambial aumenta, conforme relatado por Donaldson (2008), Ramos et al. (2011) e Lima et al. (2014).

Em relação à variação radial (direção medula-casca), os AMF encontrados nos lenhos de galho e tronco estão apresentados na Tabela 9. Nos lenhos de tração e oposto para o galho, os ângulos médios foram iguais a $5,15^\circ$ e $7,30^\circ$, respectivamente, enquanto no tronco foram encontrados menores valores, equivalentes a $4,6^\circ$ e $4,85^\circ$.

Tabela 9 – Ângulo das microfibrilas nas posições radiais de lenho de tração e oposto de galho e tronco de *Hymenaea courbaril*

		Galho							
		Lenho de tração				Lenho oposto			
		Interna	Intermediária	Externa	Alburno	Interna	Intermediária	Externa	Alburno
	Médio	9,17	5,88	5,45	4,88	10,18	7,22	6,6	5,2
AMF (°)	Mínimo	4	4	2	3	5	4	3	2
	Máximo	16	10	9	8	16	12	14	8
	CV (%)	43,74	25,33	26,26	23,31	28,58	34,55	36,92	23,93
Média do lenho		6,15				7,3			
Valor F		12,88*							
		Tronco							
		Lenho de tração				Lenho oposto			
		Interna	Intermediária	Externa	Alburno	Interna	Intermediária	Externa	Alburno
	Médio	4,7	5,6	3,73	4,38	4,65	5,23	3,55	3,58
AMF (°)	Mínimo	3	3	1	1	3	4	1	2
	Máximo	7	10	6	9	8	8	6	5
	CV (%)	18,78	25,51	27,85	35,74	24,62	18,64	31,22	17,79
Média do lenho		4,6				4,25			
Valor F		5,62*							

AMF = ângulo das microfibrilas; CV = coeficiente de variação; * = diferença significativa a 5% de probabilidade.

Os resultados de AMF determinados ao longo do raio do tronco (Tabela 9) são menores que aqueles encontrados por Firmino et al. (2019) ao investigarem a variação do AMF em troncos de *C. guianensis*. Os autores encontraram para o lenho juvenil, de transição e adulto valores médios de AMF de 13,32°, 10,45° e 8,51° em árvores procedentes de floresta de terra firme, enquanto 15,87°, 12,46° e 10,72° respectivamente, foram os resultados verificados para aqueles procedentes de florestas de várzea. São incipientes os estudos sobre AMF de madeiras nativas amazônicas e não foi possível encontrar até então informações para AMF de *Hymenaea*.

Conforme a Tabela 9, nos lenhos de tração e oposto do galho o AMF foi decrescente no sentido medula-casca. Exceto pelo suave aumento no alburno, ocorre tendência similar no cerne de ambos os lenhos do tronco, porém com menor intensidade de variação. Isto reflete maior estabilidade na madeira adulta de tronco em comparação à de galho.

Esta tendência decrescente do AMF no sentido medula-casca está de acordo com o relatado por Stuart e Evans (1995), Evans et al. (2000), Ramos et al. (2011) e Lima et al. (2014) para *Eucalyptus*. No entanto, esta tendência não foi observada por Lima et al. (2004), que verificaram AMF praticamente estável, exceto por algumas pequenas diminuições de AMF no sentido da medula à casca em clones de *Eucalyptus*, porém com oito anos de idade. Essa tendência decrescente diversas vezes não é linear, ou não existe, dependendo de fatores como condições ambientais e tipo de lenho formado, por exemplo.

Em relação aos menores AMF encontrados na região externa (Tabela 9), menor AMF nas regiões mais externas pode estar associado à tensão de crescimento, onde o esforço de tração é máximo na parte mais externa. No caso de angiospermas, o lenho de reação forma-se na parte superior do tronco ou galho, onde está submetido a esforço de tração, formando lenho de tração. Boyd (1980) relata sobre a relação do ângulo das microfibrilas (AMF) com o direcionamento das tensões de crescimento. A região periférica superior à inclinação está submetida à maior tensão de crescimento, isto é, sob elevado esforço de tração, sendo estas tensões mais elevadas ainda que em árvores eretas.

Além desta variação radial decrescente no sentido medula-casca, foram encontrados menor AMF médio no lenho de tração do que no oposto do galho (Tabela 9). Washusen et al. (2005) observaram comportamento semelhante em madeira de galho de *Eucalyptus* utilizando difração de raios-X, em que constataram AMF no lenho de tração menor que no lenho oposto.

5.6 Compressão paralela às fibras

Na Tabela 10 está apresentada a resistência determinada no ensaio de compressão paralela às fibras das madeiras de galho e tronco. A resistência encontrada para tronco (Tabela

10) é próxima às encontradas na literatura para espécies de jatobá que tendem a ser agrupadas por semelhantes propriedades. Para *Hymenaea stilbocarpa* Lahr et al. (2016) verificaram valores entre 93 e 94 MPa e Dias e Lahr (2004) determinaram resistência média de 91 MPa para madeira de *Hymenaea* sp.

Tabela 10 – Resistência à compressão paralela às fibras da madeira de galho e tronco de *Hymenaea courbaril*

Parâmetro estatístico	Galho	Tronco
Média (MPa)	77	96
Mínimo (MPa)	44	55
Máximo (MPa)	105	127
CV (%)	25,04	24,56
Valor F	5,51*	

CV = Coeficiente de variação; * = significativo a 5% de probabilidade.

Na madeira de tronco foi verificada maior resistência média em relação à madeira de galho (Tabela 10). Apesar da densidade básica semelhante, este comportamento mecânico diferente entre estes dois tipos de madeira pode estar associado ao menor AMF encontrado na madeira de tronco, considerando que quanto menor o AMF maior a resistência neste esforço mecânico (WALKER; BUTTERFIELD, 1995; BARNETT; BONHAM, 2004). Está relacionada na Tabela 11 a resistência à compressão paralela às fibras dos lenhos de galho e tronco, em cada posição radial. A maior resistência média foi verificada no lenho de tração do tronco e o menor no lenho oposto na madeira procedente de galhos.

Tabela 11 – Valores médios de resistência à compressão paralela às fibras de lenho de tração e oposto de galho e tronco de *Hymenaea courbaril*

Posição Radial	Galho		Tronco	
	Lenho de tração	Lenho oposto	Lenho de tração	Lenho oposto
Interna	85	80	108	119
Intermediária	85	86	107	107
Externa	100	91	112	95
Alburno	53	44	60	58
Média (MPa)	81	74	95	95
CV (%)	23,39	28,14	24,21	26,58
Valor F	0,499 ns		0,893 ns	

ns = diferença não significativa a 5% de probabilidade; CV = coeficiente de variação

No lenho oposto, tanto do galho quanto do tronco, a resistência foi maior que no lenho de tração (Tabela 11). No entanto, no galho as resistências do lenho de tração e oposto são estatisticamente semelhantes. Tal semelhança também foi apresentada para os dois tipos de lenhos do tronco. Ruelle et al. (2007b) relatam que uma entre dez espécies estudadas apresentou diferença significativa da resistência à compressão entre lenho de tração e oposto, ao passo que nas demais espécies não foi observado padrão predominante.

Em relação à comparação da resistência do lenho de tração com o lenho normal, alguns autores como Fang et al. (2008) descreveram menor resistência no lenho de tração em espécie de *Populus*, uma das mais estudadas em termos de lenho de tração. Contudo, em relação aos tipos de madeira testados de *H. courbaril* (Tabela 10, 11), apesar de sua menor resistência média em comparação ao tronco, na madeira de galho foi verificado valor médio de acordo com a literatura. Araújo (2007) e IPT (2013) encontraram resistência equivalente a 76 e 82 MPa, respectivamente, para madeira da mesma espécie.

5.7 Relações entre as propriedades da madeira de galho e tronco de *Hymenaea courbaril*

As correlações de Pearson entre as características da madeira dos troncos estão relacionadas nas Tabelas 12 e para madeira dos galhos encontram-se na Tabela 13.

Para a madeira de troncos (Tabela 12) destacam-se as correlações fortes significativas entre densidade básica e a resistência à compressão (0,99), densidade básica e teor de lignina (0,96) e densidade básica e extrativos (0,98). A madeira se torna mais densa quando os espaços existentes na parede das células são preenchidos pelos extrativos, o que pode resultar na influência indireta nas propriedades mecânicas como a resistência à compressão paralela (BODIG; JAYNE, 1982) a qual, por sua vez, é uma das propriedades mecânicas mais influenciadas pela concentração de lignina. Alinhado a isso, é interessante ressaltar as correlações fortes e positivas entre a resistência à compressão paralela às fibras e o teor de lignina (0,94) e entre a resistência e o teor de extrativos (0,99). Por fim o teor de lignina e teor de extrativos se correlacionaram fortemente (0,90). No entanto, esta correlação significativa pode ser espúria, ou seja, pode não representar a influência do teor de um componente sobre o outro, mas sim que a proporção de ambos muda em função da quantidade dos demais componentes da madeira como a holocelulose.

Em relação à biometria das fibras, foi observada correlação forte e significativa entre largura das fibras e diâmetro do lume (0,87), o que indica relação entre as duas variáveis, como a tendência de aumento do diâmetro, à medida que a largura da fibra cresce, o que implica em espessura da parede constante. Entre a espessura da parede e comprimento das fibras também

houve correlação forte significativa (0,86), o que pode estar ligado à tendência de aumento da espessura da parede e do comprimento das fibras ao longo da idade cambial e entre os lenhos estudados.

Ainda conforme a Tabela 12, ressalta-se a correlação entre a densidade básica e espessura da parede que foi positiva e mediana (0,71), porém não significativa. Isto é diferente do esperado para estas variáveis, pois na literatura é amplamente relatada a relação entre espessura da parede e densidade da madeira, uma vez que maior espessura da parede representa maior massa de parede celular por unidade de volume, ou seja, maior densidade da madeira.

Contração tangencial e radial tiveram correlação mediana (0,84), o que representa variação dimensional estável na madeira, com menor propensão a defeitos de secagem. Além disso, a contração tangencial, assim como a radial, apresentou correlação significativa com a contração volumétrica, o que está dentro da expectativa, pois a contração volumétrica é resultado, principalmente, das contrações tangencial e radial (Tabela 12). Também era esperada correlação negativa entre AMF e contração axial, mas apesar de positiva, as variáveis tiveram correlação fraca e não significativa.

Em relação à correlação entre AMF e resistência à compressão paralela às fibras da madeira de troncos conforme apresentada na Tabela 12, observou-se correlação positiva significativa, alinhado ao que geralmente é relatado na literatura.

Tabela 12 – Correlações entre características da madeira de troncos de *Hymenaea courbaril*

	LF	DL	EP	CF	AMF	DB	CTg	CRd	CAx	CVol	CA	RC	TL
DL	0,87**												
EP	0,26	-0,26											
CF	0,43	-0,01	0,86**										
AMF	0,16	-0,05	0,40	0,22									
DB	0,24	-0,13	0,71	0,69	0,73*								
CTg	-0,23	-0,20	-0,08	-0,39	-0,54	-0,50							
CRd	-0,01	-0,20	0,38	0,10	-0,43	-0,28	0,84**						
CAx	-0,60	-0,56	-0,08	-0,02	0,21	0,43	-0,31	-0,54					
Cvol	-0,21	-0,28	0,14	-0,18	-0,51	-0,38	0,97***	0,93***	-0,34				
CA	-0,22	0,17	-0,74*	-0,62	0,21	-0,07	-0,37	-0,81*	0,52	-0,57			
RC	0,22	-0,11	0,64	0,61	0,73*	0,99***	-0,47	-0,32	0,48	-0,38	0,02		
TL	0,26	-0,19	0,85**	0,73*	0,69	0,96***	-0,30	-0,01	0,26	-0,15	-0,30	0,94***	
TE	0,28	-0,03	0,59	0,64	0,70	0,98***	-0,59	-0,42	0,48	-0,50	0,07	0,99***	0,90***

*** = correlação significativa a 1% de probabilidade; ** = correlação significativa a 5% de probabilidade; * = correlação significativa a 10% de probabilidade; RC = resistência à compressão paralela às fibras; LF = largura das fibras; DL = diâmetro do lume; EP = espessura da parede das fibras; CF = comprimento das fibras; AMF = ângulo das microfibrilas; DB = densidade básica; CTg = contração tangencial; CRd = contração radial; CAx = contração axial; CVol = contração volumétrica; CA = coeficiente anisotrópico; TL = teor de lignina; TE = teor de extrativos.

Na madeira de galhos (Tabela 13) a densidade básica e o AMF foram significativamente correlacionados (0,83). Donaldson (2008) discorre que a correlação entre AMF e densidade pode ser espúria, ou seja, ocorre somente por coincidência, uma vez que é inexistente sua correlação com espessura da parede a qual, por sua vez, é diretamente relacionada com a densidade da madeira (SWENSON; ENQUIST, 2007). No entanto, o ângulo das microfibrilas tende a diminuir (LIMA et al., 2014) e a densidade a aumentar (HIETZ et al., 2013) com o aumento da idade cambial (ou no sentido medula-casca), o que poderia sugerir correlação negativa entre essas duas variáveis.

Conforme apresentado na Tabela 13, todas as contrações apresentaram correlação negativa com a densidade básica. Entretanto, é válido ressaltar que esta não apresentou correlação com a espessura da parede celular. Diante disso, possivelmente a densidade básica reflete os elevados teores de lignina e principalmente extrativos. A deposição de lignina e extrativos também podem reduzir as contrações, fato este que foi observado nas correlações. Por conta disto, provavelmente estes componentes químicos tenham maior influência na limitação das contrações quando comparados com a densidade básica.

Tabela 13 – Correlações entre características da madeira de galhos de *Hymenaea courbaril*

	LF	DL	EP	CF	AMF	DB	CTg	CRd	CAx	CVol	CA	RC	TL
DL	0,51												
EP	0,63	-0,35											
CF	0,65	0,19	0,53										
AMF	-0,80**	-0,18	-0,71	-0,37									
DB	-0,39	0,22	-0,63	-0,18	0,83**								
CTg	0,51	0,04	0,52	0,37	-0,84**	-0,94***							
CRd	0,35	0,02	0,36	0,33	-0,72	-0,89**	0,97***						
CAx	0,13	0,13	0,03	-0,13	-0,59	-0,78*	0,83**	0,88**					
CVol	0,43	0,05	0,43	0,30	-0,80*	-0,93***	0,99***	0,99***	0,88**				
CA	0,79**	0,08	0,79**	0,39	-0,95***	-0,85**	0,83**	0,68	0,53	0,78**			
RC	-0,15	0,17	-0,32	0,01	0,64	0,93***	-0,91**	-0,92***	-0,93***	-0,93***	-0,66		
TL	-0,41	-0,34	-0,14	-0,55	0,51	0,59	-0,82**	-0,87**	-0,69	-0,83**	-0,50	0,66	
TE	-0,38	-0,03	-0,39	-0,23	0,79**	0,93***	-0,98***	-0,99***	-0,91**	-0,99***	-0,74*	0,94***	0,79*

*** = correlação significativa a 1% de probabilidade; ** = correlação significativa a 5% de probabilidade; * = correlação significativa a 10% de probabilidade; RC = resistência à compressão paralela às fibras; LF = largura das fibras; DL = diâmetro do lume; EP = espessura da parede das fibras; CF = comprimento das fibras; AMF = ângulo das microfibrilas; DB = densidade básica; CTg = contração tangencial; CRd = contração radial; CAx = contração axial; CVol = contração volumétrica; CA = coeficiente anisotrópico; TL = teor de lignina; TE = teor de extrativos.

Diferentemente da madeira dos troncos (Tabela 12), foi observada correlação fraca entre densidade e teor de lignina (0,59) para galhos. Por outro lado, observou-se correlação forte significativa (0,93) entre densidade básica e teor de extrativos, além da correlação forte da densidade básica e resistência a compressão (0,93) (Tabela 13), igualmente ocorreu para os troncos.

Já a resistência à compressão teve correlação mediana não significativa (0,66) com o teor de lignina e forte significativa com teor de extrativos (0,94) (Tabela 13), similar ao verificado para troncos. O teor de lignina influencia a resistência compressão paralela às fibras, devido a alterações na concentração de lignina implicar em modificações na microestrutura da madeira e as ligações entre as microfibrilas (GINDL, 2002). Outras explicações estão relacionadas a isto, como a influência significativa do ângulo microfibrilar no desempenho mecânico da madeira (ÖZPARPUCU et al., 2019). Para a madeira de galhos a correlação entre AMF e resistência foi moderada (0,64), diferentemente do tronco que apresentou coeficiente de correlação forte.

Nas correlações entre as características da madeira dos galhos ressaltam-se as correlações negativas significativas entre AMF e coeficiente de anisotropia, contração volumétrica, tangencial e radial. No entanto, o AMF apresentou correlação negativa moderada com a contração axial, porém, estatisticamente não significativa (-0,59). Este comportamento está alinhado ao esperado sobre a relação entre o AMF e as contrações lineares. Com altos AMF a contração ou inchamento tendem a ser direcionadas perpendicularmente às microfibrilas ao longo do eixo da fibra, enquanto que em AMF baixos as mudanças dimensionais são direcionadas aos eixos tangenciais ou radiais (DONALDSON, 2019), ou seja, menores contrações tangenciais e radiais ocorrem em função do maior AMF, ao passo que a contração axial tende a aumentar.

De forma geral, com as correlações verificadas para madeiras de galho e de tronco é possível observar tendência similar de correlações entre propriedades. Para galho, entre as propriedades físicas, principalmente as contrações tangenciais (Tabela 13) verifica-se mais coeficientes significativos na matriz de correlações. Para madeira do tronco isso também ocorre (Tabela 12), porém em menor magnitude. As correlações de AMF também ocorrem com várias características físicas e anatômicas, considerando as correlações medianas.

5.8 Modelagem stepwise para estimativa de propriedades da madeira

A Tabela 14 apresenta os modelos ajustados para a resistência à compressão paralela às fibras, densidade básica e coeficiente de anisotropia em função das demais propriedades da

madeira avaliadas. Essas variáveis dependentes foram escolhidas em vista de suas importâncias, para justificar a utilização da madeira ou outras propriedades, como é o caso específico da densidade.

Com base na análise stepwise foi possível agrupar os vários efeitos avaliados neste trabalho em uma variável de interesse, conforme mostra a Tabela 14. Essas análises foram ajustadas para as madeiras dos troncos e dos galhos conjuntamente, com o intuito de modelar o material madeira de jatobá.

Tabela 14 – Modelos ajustados para estimar a resistência à compressão paralela às fibras, densidade básica e coeficiente de anisotropia em função da biometria das fibras, propriedades físicas e propriedades químicas da madeira de *Hymenaea courbaril*

Modelo	R ²	R ² aj.
RC = -234,615 + 29,6578×EP - 42,1156×CF + 299,465×DB - 1,4457×TL	0,98	0,97
DB = 0,382906 + 0,240597×CF + 0,0123285×TE	0,82	0,78
CA = 0,778378 + 0,334694×EP - 0,0265877×TL	0,76	0,70

RC = resistência à compressão paralela às fibras; EP = espessura da parede das fibras; CF = comprimento das fibras; DB = densidade básica; CA = coeficiente de anisotropia; TE = teor de extrativos; TL = teor de lignina.

As variáveis independentes testadas no modelo ajustado para estimar a resistência à compressão paralela às fibras (RC) foram a espessura da parede das fibras (EP), comprimento das fibras (CF), ângulo das microfibrilas (AMF), densidade básica (DB), coeficiente de anisotropia (CA), teor de lignina (TL) e teor de extrativos (TE), sendo significativas as variáveis EP, CF, DB e TL. No modelo ajustado para estimar a DB, foram testados EP, CF, AMF, CA, TL e TE, sendo CF e TE as variáveis significativas para o modelo. Quanto ao modelo ajustado para o CA, as variáveis independentes EP, CF, AMF, DB, TL e TE foram testadas, sendo EP e TL significativas.

Os coeficientes de determinação ajustados dos modelos (R² aj. – Tabela 14) indicam que as variações das propriedades RC, DB e CA são explicadas em cerca de 97%, 78% e 70%, respectivamente, pelas variações das propriedades da madeira significativas em cada caso para os modelos lineares múltiplos ajustados.

As análises de variância das regressões (Tabela 15) indicam que os modelos ajustados são significativos a 1% de probabilidade de erro, a partir do teste F.

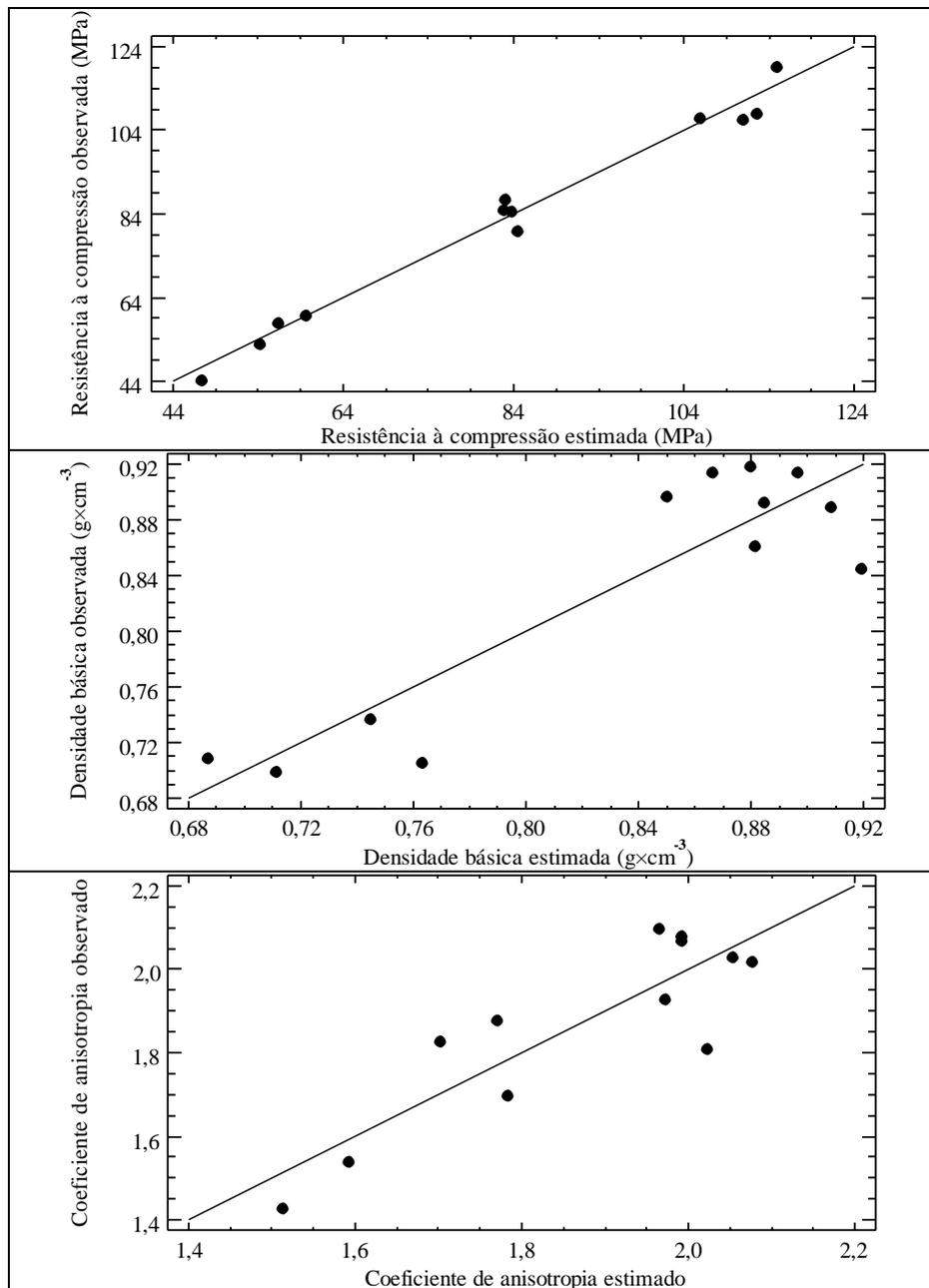
Tabela 15 – Análise de variância das regressões múltiplas ajustadas para resistência à compressão paralela às fibras, densidade básica e coeficiente de anisotropia da madeira de *Hymenaea courbaril*

Variável dependente	Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado
Resistência à compressão	Modelo	4	1634,23	99,15*
	Resíduo	7	16,4823	
	Total	11		
Densidade básica	Modelo	2	0,0372	20,01*
	Resíduo	9	0,0019	
	Total	11		
Coeficiente de anisotropia	Modelo	2	0,1987	13,98*
	Resíduo	9	0,0142	
	Total	11		

* significativo a 1% de probabilidade de erro.

A Figura 8 mostra como os valores de resistência mecânica à compressão paralela às fibras, densidade básica e coeficiente de anisotropia estimados por seus respectivos modelos lineares múltiplos estão dispersos em relação aos valores observados nos ensaios de laboratório.

Figura 8 – Dispersão dos valores de resistência à compressão paralela às fibras, densidade básica e coeficiente de anisotropia da madeira de *Hymenaea courbaril* observados em função dos valores estimados pelos modelos de regressão múltipla



Observa-se que o coeficiente de determinação ajustado se reflete nos comportamentos vistos nos gráficos, ou seja, quanto maior é o R^2 ajustado, mais os pontos nos gráficos se aproximam da linha central de cada gráfico. Quanto mais próximo um ponto se encontra da linha central no gráfico, menor é o erro da estimativa para a propriedade naquele ponto.

Outra constatação é que o modelo com mais variáveis independentes, ajustado para a resistência à compressão paralela às fibras, apresentou melhor ajuste, o que também pode ser observado na Figura 8.

6 CONCLUSÃO

Para as madeiras de tronco e de galhos de *Hymenaea courbaril*, foi possível concluir que:

- 1) Todas as características biométricas das fibras da madeira dos galhos de *Hymenaea courbaril* foram menores em relação às dos troncos.
- 2) Na madeira dos galhos todos os caracteres biométricos das fibras foram diferentes entre os lenhos de tração e oposto, exceto espessura da parede das fibras.
- 3) A madeira dos galhos apresentou maiores teores de lignina e de extrativos em relação ao tronco. Os teores de lignina e extrativos foram semelhantes entre os lenhos de tração e oposto tanto nos lenhos de galho quanto nos de troncos.
- 4) Com exceção da densidade básica, a madeira de galho possui propriedades físicas que diferem do tronco. Entretanto, o coeficiente de anisotropia da madeira dos galhos foi menor.
- 5) Os lenhos de tração e oposto da madeira de galho apresentaram propriedades físicas semelhantes.
- 6) Os galhos e troncos apresentaram para os ângulos das microfibrilas diferenças significativas entre o lenho de tração e o lenho oposto.
- 7) Houve tendência predominante de AMF decrescente no sentido medula-casca no lenho de tração e no oposto do galho. Em ambos os lenhos do tronco também ocorreu tendência similar, exceto pelo pequeno aumento na região do alburno.
- 8) A resistência à compressão paralela às fibras foi maior na madeira de troncos do que dos galhos, porém, na madeira de galhos foi encontrada resistência média aproximada às informações descritas pela literatura para madeiras de *Hymenaea*.
- 9) Foram semelhantes as resistências à compressão paralela às fibras entre os lenhos de tração e oposto dos galhos, o que também ocorreu entre os lenhos dos troncos.
- 10) Considerando-se o desempenho semelhante das propriedades de lenhos de tração e oposto da madeira de galho, pode ser considerado viável o processamento sem segregação da madeira em tipos de lenhos, sendo estes direcionados para o mesmo uso final.
- 11) Com a análise de regressão linear múltipla pelo método stepwise foi possível estimar significativamente a resistência à compressão paralela às fibras, densidade básica e coeficiente de anisotropia em função da biometria das fibras, propriedades físicas e características químicas da madeira de *Hymenaea courbaril*. Os coeficientes de determinação ajustados dos modelos indicam que as variações das propriedades da madeira de resistência, densidade e coeficiente

de anisotropia são explicadas 97%, 78% e 70%, respectivamente, pelas variações das características da madeira que foram significativas para cada modelo linear múltiplo ajustado.

12) O conjunto de resultados anatômicos, químicos, físicos e mecânicos da madeira de *Hymenaea courbaril* permitem inferir que a utilização da madeira de galhos é recomendada para produção de itens decorativos, movelaria, artefatos diversos e utensílios em geral. Outra utilização potencial com valor agregado da madeira dos galhos é a destinação para produção de pisos, principalmente aqueles confeccionados por peças menores, desde que sejam realizados ensaios adicionais que simulem o uso e atestem a viabilidade para esta finalidade.

REFERÊNCIAS

- AISO-SANADA, H.; ISHIGURI, F.; IRAWATI, D.; WAHYUDI, I.; YOKOTA, S. Reaction wood anatomy and lignin distribution in *Gnetum gnemon* branches. **Journal of Wood Science**, n. 64, p. 872-879, 2018.
- ALMEIDA, T.H.; ALMEIDA, D.H.; ARAUJO, V.A.; SILVA, S.A.; CHRISTOFORO, A.L.; LAHR, F.A. Density as estimator of dimensional stability quantities of Brazilian tropical woods. **BioResources**, v. 12, n. 3, p. 6579-6590, 2017.
- AMOAHA, M.; APPIAH-YEBOAHA, J.; OKAI, R. Characterization of physical and mechanical properties of branch, stem and root wood of Iroko and Emire tropical trees. **Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology**, v. 4, n. 12, p. 1754-1760, 2012.
- AMUSANT, N.; BEAUCHÊNE, J.; FOURNIER, M.; JANIN, G.; THEVENON, M. Decay resistance in *Dicorynia guianensis* amsh: analysis of inter-tree and intra-tree variability and relations with wood colour. **Annals of Forest Science**, v. 61, n. 4, p. 373-380, 2004.
- ARAÚJO, H.J.B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, v. 37, n. 3, p. 7, 2007.
- ARAÚJO, A.J.C.; BALBONI, B.M.; MOUTINHO, V.H.P. Physical and mechanical characterization of *Astronium lecointei* and *Manilkara huberi* branch wood. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 2, 2020.
- ARGANBRIGHT, D.G.; BENSEND, D.W.; MANWILLER, F.G. Influence of gelatinous fibers on the shrinkage of silver maple. **Wood Science**, v. 3, n. 2, p. 83-89. 1970.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 11941-02 - **Determinação da densidade básica em madeira**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7190 - **Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro, 1997.
- ÁVILA, A.L.; SCHWARTZ, G.; RUSCHEL, A.R.; LOPES, J.C.; SILVA, J.N.M.; CARVALHO, J.O.P.; DORMANN, C.F.; MAZZEI, L.; SOARES, M.H.M.; BAUHUS, J. Recruitment, growth and recovery of commercial tree species over 30 years following logging and thinning in a tropical rain forest. **Forest Ecology and Management**, v. 385, p. 225-235, 2017.
- BAILLÉRES, H; MARIELLE, C; MONTIES, B.; POLLET, B.; LAPIERRE, C. Lignin structure in *Buxus sempervirens* reaction wood. **Phytochemistry**, v. 44, n. 1, p. 35-39, 1997.
- BARNETT, J.R.; BONHAM, V.A. Cellulose microfibril angle in the cell wall of wood fibres. **Biological Reviews**, v. 79, n. 2, p. 461-472, 2004.
- BENDTSEN, B.A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**, v. 28, p. 61-72, 1978.

BERGANDER, A.; SALMÉN, L. Cell wall properties and their effects on the mechanical properties of fibers. **Journal of Materials Science**, v. 37, p. 151-156, 2002.

BERGMAN, R. Drying and Control of Moisture Content and Dimensional Changes. In: **Wood Handbook – Wood as an Engineering Material**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 543p. 2021.

BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of Wood and Wood Composites**. New York: V.N. Reinhold, 1982.

BÖRCSÖK, Z.; PÁSZTORY, Z. The role of lignin in wood working processes using elevated temperatures: an abbreviated literature survey. **European Journal of Wood and Wood Products**, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01637-3>

BOWLING, A.J.; VAUGHN, K.C. Immunocytochemical characterization of tension wood: gelatinous fibers contain more than just cellulose. **American Journal of Botany**, v. 95, n. 6, p. 655-663, 2008.

BOYD, J.D. Relationships between fibre morphology, growth strain and physical properties of wood. **Australian Forest Research**, v. 10, p. 337-360, 1980.

BRAZ, R.L.; NUTTO, L.; BRUNSMEIER, M.; BECKER, G.; SILVA, D.A. Resíduos da colheita florestal e do processamento da madeira na Amazônia – uma análise da cadeia produtiva. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 5, n. 2, p. 168-181, 2014.

BRITISH STANDARD INSTITUTION - BSI. BS 373 - **Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber**. British Standard Institution, London, UK. 1957.

BROWNING, B.L. **The Chemistry of Wood**. New York: J. Wiley & Sons. 689p. 1981.

CARNEIRO, J.S.; EMMERT, L.; STERNADT, G.H.; MENDES, J.C.; ALMEIDA, G.F. Decay susceptibility of Amazon wood species from Brazil against white rot and brown rot decay fungi. **Holzforschung**, v. 63, p. 767-772, 2009.

CASTRO, J.P.; PERÍGOLO, D.M.; BIANCHI, M.L.; MORI, F.A.; FONSECA, A.S.; ALVES, I.C.N.; VASCONCELLOS, F.J. Uso de espécies amazônicas para envelhecimento de bebidas destiladas: análises física e química da madeira. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 319-327, 2015.

CASTRO, T.C.; CARVALHO, J.O.P.; SCHWARTZ, G.; SILVA, J.N.M.; RUSCHEL, A.R.; FREITAS, L.J.M.; GOMES, J.M.; PINTO, R.R. The continuous timber production over cutting cycles in the Brazilian Amazon depends on volumes of species not harvested in previous cuts. **Forest Ecology and Management**, v. 490, n. 119124, 2021.

CAVALHEIRO, R.S.; ALMEIDA, D.H.; ALMEIDA, T.H.; CHRISTOFORO, A.L.; LAHR, F.A.R. Density as Estimator of Shrinkage for Some Brazilian Wood Species. **International Journal of Materials Engineering**, v. 6, n. 3, p. 107-112, 2016.

CAVE, I.D. The anisotropic elasticity of the plant cell wall. **Wood Science and Technology**, v. 2, n. 4, p. 268-278, 1968.

CAVE, I.D.; WALKER, J.C.F. Stiffness of wood in fast-grown plantation softwoods: the influence of microfibril angle. **Forest Products Journal**, v. 44, n. 5, p. 43-48, 1994.

CLAIR, B.; RUELLE, J.; BEAUCHÊNE, J.; PRÉVOST, M-F.; FOURNIER, M. Tension wood and opposite wood in 21 tropical rain forest species 1. Occurrence and efficiency of the G-layer. **IAWA Journal**, v. 27, n. 3, p. 329-338, 2006.

CLAIR, B.; ALMÉRAS, T.; PILATE, G.; JULLIEN, D.; SUGIYAMA, J.; RIEKEL, C. Maturation stress generation in poplar tension wood studied by synchrotron radiation microdiffraction. **Plant Physiology**, v. 155, n. 1, p. 562-570, 2011.

CLAIR, B.; THIBAUT, B. Physical and Mechanical Properties of Reaction Wood. In: **The Biology of Reaction Wood**. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.

COMEX-STAT. **Estatísticas de Comércio Exterior do Brasil**. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. 2020. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em: 22/01/21.

COSTA, F.N.; CARDOSO, R.P.; MENDES, C.S.; RODRIGUES, P.R.G.; REIS, A.R.S. Natural resistance of seven amazon woods to xylophagous termite *Nasutitermes octopilis* (Banks). **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 3, 2019.

CÔTÉ JR, W.A.; DAY, A.C.; TIMELL, T.E. A Contribution to the ultrastructure of tension wood fibers. **Wood Science and Technology**, v. 3, p. 257-271, 1969.

COUTAND, C.; JERONIMIDIS, G.; CHANSON, B.; LOUP, C. Comparison of mechanical properties of tension and opposite wood in *Populus*. **Wood Science and Technology**, v. 38, p. 11-24, 2004.

CSANÁDY, E.; MAGOSS, E.; TOLVAJ, L. **Quality of Machined Wood Surfaces**. New York City: Springer International Publishing. 257p. 2015.

DADSWELL, H.E.; WARDROP, A.B. What Is Reaction Wood?. **Australian Forestry**, v. 13, 1212 n. 1, p. 22-33, 1949.

DADZIE, K.P.; AMOAH, M. Density, some anatomical properties and natural durability of stem and branch wood of two tropical hardwood species for ground applications. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 73, p. 759-773, 2015.

DADZIE, K.P.; AMOAH, M.; FRIMPONG-MENSAH, K.; OHENEBA-KWARTENG, F. Some physical, mechanical and anatomical characteristics of stemwood and branchwood of two hardwood species used for structural applications. **Materials and Structures**, v. 49, p. 4947-4958, 2016a.

DADZIE, K.P.; AMOAH, M.; FRIMPONG-MENSAH, K.; INKUM, B.P. Variation in bending strength properties in stem and branch woods as influenced by density and moisture levels in *Entandrophragma cylindricum*, **Australian Forestry**, v. 79, n. 4, p. 233-240, 2016b.

- DADZIE, P.K.; AMOAH, M.; EBANYENLE, E.; FRIMPONG-MENSAH, K. Characterization of density and selected anatomical features of stemwood and branchwood of *E. cylindricum*, *E. angolense* and *K. ivorensis* from natural forests in Ghana. **European Journal of Wood and Wood Products**, n. 76, n. 2, p. 655-667, 2018.
- DIAS, F.M.; LAHR, F.A.R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 102-113, 2004.
- DONALDSON, L.A.; XU, P. Microfibril orientation across the secondary cell wall of radiata pine tracheids. **Trees**, v. 19, p. 644-653, 2005.
- DONALDSON, L.A. Cellulose microfibril aggregates and their size variation with cell wall type. **Wood Science and Technology**, v. 41, p. 443-460, 2007.
- DONALDSON, L.A. Microfibril angle: measurement, variation and relationships - A Review. **IAWA Journal**, v. 29, n. 4, p. 345-386, 2008.
- DONALDSON, L.A. Wood cell wall ultrastructure The key to understanding wood properties and behaviour. **IAWA Journal**, v. 40, n. 4, p. 645-672, 2019.
- DURLO, M.A.; MARCHIORI, J.N.C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade**. Santa Maria: UFSM, 1992.
- ELEOTÉRIO, J.R.; SILVA, C.M.K. Comparação de programas de secagem para Cumaru (*Dipteryx odorata*), Jatobá (*Hymenaea* spp) e Muiracatiara (*Astronium lecointei*) obtidos por diferentes métodos. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 96, p. 537-545, 2012.
- ENGELUND, E.T.; TYGESEN, L.G.; SVENSSON, S.; HILL, C.A.S. A critical discussion of the physics of wood-water interactions. **Wood Science and Technology**, v. 47, p. 141-161, 2013.
- EVANGELISTA, W.V.; COSTA, E.D. Avaliação de propriedades físico-anatômicas de duas madeiras usadas na produção de pisos. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 15, n. 2, 2017.
- EVANS, R.; STUART, S-A.; VAN DER TOUW, J. Microfibril angle scanning of increment cores by x-ray diffractometry. **Appita Journal**, v. 49, n. 6, p. 411-414, 1996.
- EVANS, R.; STRINGER, S.; KIBBLEWHITE, R.P. Variation of microfibril angle, density and fibre orientation in twenty-nine *Eucalyptus nitens* trees. **Appita Journal**, v. 53, p. 450-457, 2000.
- EVANS, R.; ILIC, J. Rapid prediction of wood stiffness from microfibril angle and density. **Forest Products Journal**, v. 51, n. 3, p. 53-57, 2001.
- FANG, C-H.; GUIBAL, D.; CLAIR, B.; GRIL, J.; LU, Y-M.; LIU, S-Q. Relationships between growth stress and wood properties in poplar I-69 (*Populus deltoides* Bartr. cv. "Lux" ex I-69/55). **Annals of Forest Science**, v. 65, p. 307-316, 2008.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED STATES. Forestry Statistics Data Base. **Forestry Production and Trade**. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO/visualize>. Acesso em: 04/02/21.

FERREIRA, A.L.; SEVERO, E.T.D.; CALONEGO, F.W. Determination of fiber length and juvenile and mature wood zones from *Hevea brasiliensis* trees grown in Brazil. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 69, p. 659-662, 2011.

FIRMINO, A.V.; VIDAURRE, G.P.; OLIVEIRA, J.T.S.; GUEDES, M.; ALMEIDA, M.N.F.; SILVA, J.G.M.; LATORRACA, J.V.F.; ZANUNCIO, J.C. Wood properties of *Carapa guianensis* from floodplain and upland forests in Eastern Amazonia, Brazil. **Scientific Reports**, v. 9, n. 10641, 2019.

FISHER, J.B.; STEVENSON, J.W. Occurrence of reaction wood in branches of dicotyledons and its role in tree architecture. **Botanical Gazette**, v. 142, p. 82-95, 1981.

FRANKLIN, G.L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, v. 155, n. 3924, p. 51, 1945.

GATTO, D.A.; CADEMARTORI, P.H.G.; STANGERLIN, D.M.; CALEGARI, L.; TREVISAN, R.; DENARDI, L. Proportion of juvenile wood of açoita-cavalo, pecan and London plane wood. **International Wood Products Journal**, v. 4, p. 33-36, 2013.

GHISLAIN, B.; ENGEL, J.; CLAIR, B. Diversity of anatomical structure of tension wood among 242 tropical tree species. **IAWA Journal**, v. 40, n. 4, p. 765-784, 2019.

GINDL, W. Comparing mechanical properties of normal and compression wood in Norway Spruce: the role of lignin in compression parallel to the grain. **Holzforschung**, v. 56, p. 395-401, 2002.

GOLDSCHMIDT, O. Ultraviolet Spectra. In: **Lignin: occurrence, formation, structure and reactions**. SARKANEN, K.V.; LUDWIG, C.H. (Ed.). New York: Wiley Interscience, p. 241-266, 1971.

GOMIDE, J.L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

GROOVER, A. Gravitropisms and reaction woods of forest trees - evolution, functions and mechanisms. **New Phytologist**, v. 211, p. 790-802, 2016.

HAAG, V.; KOCH, G.; MELCHER, E.; WELLING, J. Characterization of the wood properties of *Cedrelinga cateniformis* as substitute for timbers used for window manufacturing and outdoor applications. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 22, n. 1, p. 23-36, 2020.

HARRIS, J.M.; MEYLAN, B.A. The influence of microfibril angle on longitudinal and tangential shrinkage in *Pinus radiata*. **Holzforschung**, v. 19, p. 144-153, 1965.

HIGUCHI, T. **Biochemistry and Molecular Biology of Wood**. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 362p. 1997.

HILLIS, W.E. **Heartwood and Tree Exudates**. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 268p. 1987.

HIETZ, P.; VALENCIA, R.; WRIGHT, S.J. Strong radial variation in wood density follows a uniform pattern in two neotropical rain forests. **Functional Ecology**, v. 27, n. 3, p. 684-692, 2013.

HOSOKAWA, R.T.; MOURA, J.B.; CUNHA, U.S. **Introdução ao Manejo e Economia de Florestas**. Curitiba: Editora da UFPR, 162p, 1998.

HUMMEL, A.C.; ALVES, M.V.S.; PEREIRA, D.; VERÍSSIMO, A.; SANTOS, D. **A atividade madeireira na Amazônia Brasileira: produção, receita e mercados**. Belém/Brasília: AMAZON; Serviço Florestal Brasileiro, 2010.

IDEFLOR - Instituto de Desenvolvimento Florestal do Estado do Pará. **Relatório ambiental preliminar das áreas de concessão florestal do conjunto de glebas Mamurú-Arapiums**. Relatório Final. p. 16. Belém, 2010.

IMAGE-PRO PLUS. Silver Spring: Media Cybernetics, 2004.
<https://www.osbsoftware.com.br/produto/image-pro-plus>.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil**. São Paulo, 2013.

ISHIGURI, F.; TOYOIZUMI, T.; TANABE, J.; MAKINO, K.; SOEKMANA, W.; HIRAIWA, T.; ILZUKA, K.; YOKOTA, S.; YOSHIZAWA, N. Physical and mechanical properties of tension wood in five Japanese hardwood species. **Bulletin of the Utsunomiya University Forests**, v. 48, p. 111-116, 2012.

ITTO - THE INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. **Tropical Timber Market Report**, v. 24, n. 17, set. 2020.

JANKOWSKY, I.P.; GALVÃO, A.P.M. **Influência do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira**. IPEF, n. 18, p. 1-33, 1979.

JOUREZ, B.; RIBOUX, A.; LECLERCQ, A. Anatomical characteristics of tension wood and opposite wood in young inclined stems of poplar (*Populus euramericana* cv “Ghoy”). **IAWA Journal**, v. 22, n. 133-157, 2001a.

JOUREZ, B.; RIBOUX, A.; LECLERCQ, A. Comparison of basic density and longitudinal shrinkage in tension wood and opposite wood in young stems of *Populus euramericana* cv. “Ghoy” when subjected to a gravitational stimulus. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 31, p. 1676-1683, 2001b.

KELLER, M.; PALACE, M.; ASNER, G.P.; PEREIRA Jr, R.; SILVA, J.N.M. Coarse woody debris in undisturbed and logged forests in the eastern Brazilian Amazon, **Global Change Biology**, v. 10, p. 784-795, 2004.

KLITZKE, R.J.; SAVIOLI, D.L.; BOLZON, G.I.M.; BATISTA, D.C. Caracterização dos lenhos de cerne, alburno e transição de jatobá (*Hymenaea* sp.) visando ao agrupamento para fins de secagem convencional. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 80, p. 279-284, 2008.

KNAPIC, S.; GRAHN, T.; LUNDQVIST, S.O.; PEREIRA, H. Juvenile wood characterization of *Eucalyptus botryoides* and *E. maculata* by using SilviScan. **BioResources**, v. 13, n. 2, p. 2342-2355, 2018.

KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ JR, W.A. **Principles of Wood Science and Technology**. New York: Springer-Verlag, v. 1, 592p. 1968.

KRETSCHMANN, D.E. Mechanical Properties of Wood. In: **Wood Handbook - Wood as an Engineering Material**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463p. 1999.

KUCERA, L.J.; PHILIPSON, W.R. Occurrence of reaction wood in some primitive dicotyledonous species. **New Zealand Journal of Botany**, v. 15, p. 649-654, 1977.

KUO, C.; TIMELL, T.E. Isolation and characterization of a galactan from tension wood of American Beech (*Fagus grandifolia* Ehrl.). **Svensk Papperstidning**, v. 72, n. 21, p. 703-716, 1969.

LAHR, F.A.R.; CHRISTOFORO, A.L.; SILVA, C.E.G.; ANDRADE JUNIOR, J.R.; PINHEIRO, R.V. Avaliação de propriedades físicas e mecânicas de madeiras de jatobá (*Hymenaea stilbocarpa* Hayne) com diferentes teores de umidade e extraídas de regiões distintas. **Revista Árvore**, v. 40, n. 1, p. 147-154, 2016.

LEE, B.R.; KIM, K.Y.; JUNG, W.J.; AVICE, J.C.; OURRY, A.; KIM, T.H. Peroxidases and lignification in relation to the intensity of water deficit stress in white clover (*Trifolium repens* L.). **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 6, p. 1271-1279, 2007.

LENTINI, M.; SOBRAL, L.; PLANELLO, M.; VIEIRA, R.; CERIGNONI, F.; NUNES, F.; GUIDOTI, V. **O que mudou no perfil da atividade madeireira na Amazônia nas últimas duas décadas (1998-2018)?**. Boletim Timberflow n. 1, IMAFLORA. 2019.

LENTINI, M.; SOBRAL, L.; VIEIRA, R. **Como o mercado dos produtos madeireiros da Amazônia evoluiu nas últimas duas décadas (1998-2018)?**. Boletim Timberflow n. 2, IMAFLORA. 2020.

LIMA, J.T.; BREESE, M.C.; CAHALAN, C.M. Variation in microfibril angle in *Eucalyptus* clones. **Holzforschung**, v. 58, n. 2, p. 160-166, 2004.

LIMA, J.T.; RIBEIRO, A.O.; NARCISO, R.P.C. Microfibril angle of *Eucalyptus grandis* wood in relation to the cambial age. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 16, n. 4, p. 487-494, 2014.

LIMA, M.D.R.; PATRÍCIO, E.P.S.; BARROS JUNIOR, U.O.; NOGUEIRA XAVIER, C.N.; BUFALINO, L.; PROTÁSIO, T.P. Logging wastes from sustainable forest management as alternative fuels for thermochemical conversion systems in Brazilian Amazon. **Biomass and Bioenergy**, v. 140, 2020.

- LIPSCOMB, M.; PRABAKARAN, N. Property rights and deforestation: Evidence from the Terra Legal land reform in the Brazilian Amazon. **World Development**, v. 129, 104854, 2020.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5.ed. Instituto Plantarum, v. 1, 368p. 2008.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989. 418p.
- MAMONOVÁ, M.; REINPRECHT, L. The impact of natural and artificial weathering on the anatomy of selected tropical hardwoods. **IAWA Journal**, v. 41, p. 333-355, 2020.
- MATTOS, P.P.; TEIXEIRA, L.L.; SEITZ, R.A.; SALIS, S.M.; BOTOSSO, P.C. **Anatomia de madeiras do Pantanal Mato-Grossense: Características microscópicas**. Colombo: EMBRAPA Florestas; Corumbá: EMBRAPA Pantanal. 182p. 2003.
- MONTEIRO, T.C.; SILVA, R.V.; LIMA, J.T.; BARAÚNA, E.E.P.; CARVALHO, D.M.; LIMA, M.T. Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* sp. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 1, n. 1, p. 6-11, 2010.
- NAKAJIMA, M.; FURUTA, Y.; ISHIMARU, Y.; OHKOSHI, M. The effect of lignin on the bending properties and fixation by cooling of wood. **Journal of Wood Science**, v. 55, p. 258-263, 2009.
- OKAI, R.; BOATENG, O. Analysis of sawn lumber production from logging residues of branchwood of *Aningeria robusta* and *Terminalia ivorensis*. **European Journal of Forest Research**, v. 126, n. 3, p. 385-390, 2007.
- OLIVEIRA, J.T.S.; TOMAZELLO-FILHO, M.; FIEDLER, N.C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 34, n. 5, p. 929-936, 2010.
- ÖZPARPUCU, M.; GIERLINGER, N.; CESARINO, I.; BURGERT I.; BOERJAN, W.; RÜGGERBERG, M. Significant influence of lignin on axial elastic modulus of poplar wood at low microfibril angles under wet conditions. **Journal of Experimental Botany**, v. 70, n. 15, p. 4039-4047, 2019.
- PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of Wood Technology: Structure, identification, properties and uses of the commercial woods of the United States and Canada**. Fourth Edition, 722p, 1980.
- PAULA, J.E. Anatomias de madeiras da Amazônia com vistas a polpa e papel. **Acta Amazonica** v. 7, n. 2, p. 273-288, 1977.
- PAULA, J.E. Caracterização anatômica de madeiras nativas do cerrado com vistas à produção de energia. **Cerne**, v. 5, n. 2, p. 26-40, 1999.
- PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. **Fatos Florestais da Amazônia**. Belém: IMAZON, 2010.

PERRÉ, P.; KEEY, R. Drying of wood: principles and practices. In: **Handbook of Industrial Drying**. Mujumdar, A.S. (Ed.), Third Edition, CRC Press, p. 821-827, 2006.

PILATE, G.; CHABBERT, B.; CATHALA, B.; YOSHINAGA, A.; LEPLÉ, J.; LAURANS, F.; LAPIERRE, C.; RUEL, K. Lignification and tension wood. **Comptes Rendus Biologies**, v. 327, p. 889-901, 2004.

QIU, D.; WILSON, I.W.; GAN, S.; WASHUSEN, R.; MORAN, G.F.; SOUTHERTON, S.G. Gene expression in *Eucalyptus* branch wood with marked variation in cellulose microfibril orientation and lacking G-layers. **New Phytologist**, v. 179, n. 1, p. 94-103, 2008.

RAMOS, L.M.A.; LATORRACA, J.V.F.; PASTRO, M.S.; SOUZA, M.T.; GARCIA, R.A.; CARVALHO, A.M. Variação radial dos caracteres anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden e idade de transição entre lenho juvenil e adulto. **Scientia Forestalis**, v. 39, p. 411-41, 2011.

RIBEIRO, E.S.; GONÇALEZ, J.C.; LIMA, C.M. RODRIGUES, E.C.C.; PAULA, M.H. de; MESQUITA, R.R.S.; QUEIROZ, F.L.C.; LESSES, O.M.G. Colorimetry and anatomical characterization of commercial wood species from the Brazilian Amazon. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 12, n. 2, p. 15-23, 2018.

RICHTER, H.G.; DALLWITZ, M.J. **Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification and information retrieval**, v. 25, 2000. <http://delta-intkey.com>.

RITTER, G.J. Distribution of lignin in wood. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 17, n. 11, p. 1194-1197, 1925.

ROUSSEL, J.; CLAIR, B. Evidence of the late lignification of the G-layer in Simarouba tension wood, to assist understanding how non-G-layer species produce tensile stress. **Tree Physiology**, v. 35, n. 12, p. 1366-1377, 2015.

RUELLE, J.; CLAIR, B.; BEAUCHÊNE, J.; PRÉVOST, M-F.; FOURNIER, M. Tension wood and opposite wood in 21 tropical rain forest species. 2. Comparison of some anatomical and ultrastructural criteria. **IAWA Journal**, v. 27, n. 4, p. 341-376, 2006.

RUELLE, J.; YOSHIDA, M.; CLAIR, B.; THIBAUT, B. Peculiar tension wood structure in *Laetia procera* (Poepp.) Eichl. (Flacourtiaceae). **Trees**, v. 21, p. 345-355, 2007a.

RUELLE, J.; BEAUCHÊNE, J.; THIBAUT, A.; THIBAUT, B. Comparison of physical and mechanical properties of tension and opposite wood from ten tropical rainforest trees from different species. **Annals of Forest Science**, v. 64, p. 503-510, 2007b.

RUELLE, J.; BEAUCHÊNE, J.; YAMAMOTO, H.; THIBAUT, B. Variations in physical and mechanical properties between tension and opposite wood from three tropical rainforest species. **Wood Science and Technology**, v. 45, p. 339-537, 2010.

RUELLE, J.; BEAUCHÊNE, J.; YAMAMOTO, H.; THIBAUT, B. Variations in physical and mechanical properties between tension and opposite wood from three tropical rainforest species. **Wood Science and Technology**, v. 45, p. 339-357, 2011.

RUIZ-AQUINO, F.; GONZÁLEZ-PEÑA, M.M.; VALDEZ-HERNÁNDEZ, J.I.; ROMERO-MANZANARES, A.; FUENTES-SALINAS, M. Mechanical properties of wood of two Mexican oaks: relationship to selected physical properties. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 76, p. 69-77, 2018.

SANTANA, M.A.E.; OKINO, M.Y.A. Chemical composition of 36 Brazilian Amazon forest wood species. **Holzforschung**, v. 61, n. 5, p. 469-477, 2007.

SCHIMLECK, L.R.; EVANS, R. Estimation of microfibril angle of increment cores by near infrared spectroscopy. **IAWA Journal**, v. 23, p. 225-234, 2002.

SCHULTZ, T.P.; NICHOLAS, D.D. Natural durable heartwood: evidence for a proposed dual defensive function of the extractives. **Phytochemistry**, v. 54, p. 47-52, 2000.

SCURFIELD, G.; WARDROP, A.B. The nature of reaction wood. VI. The reaction anatomy of seedlings of woody perennials. **Australian Journal of Botany**, v. 10, n. 2, p. 93-105, 1962.

SFB – SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Sistema Nacional de Informações Florestais -SNIF**. Brasília, 2016. Disponível em: <http://snif.florestal.gov.br/pt-br/>. Acesso em: 30/10/2020.

SFB – SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Sistema Nacional de Informações Florestais -SNIF**. Brasília, 2018. Disponível em: <http://snif.florestal.gov.br/pt-br/>. Acesso em: 24/09/2020.

SHMULSKY, R.; JONES, P.D. Juvenile Wood, Reaction Wood and Wood of Branches. In **Forest Product and Wood Science: An Introduction**, Sixth Edition. John Wiley & Sons, Inc., 477p. 2011.

SILVA-RIBEIRO, R.B. **Quantificação e valoração de resíduos da colheita florestal na Floresta Nacional do Tapajós, Pará**. 90f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 2013.

SILVA-RIBEIRO, R.B.; GAMA, J.R.V.; SOUZA, A.L.; ANDRADE, D.F.C. Análise financeira da extração e beneficiamento de resíduos florestais pós-colheita na Floresta Nacional do Tapajós. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 2, 2019.

SIMPSON, W.; TENWOLDE, A. Physical Properties and Moisture Relations of Wood. In: **Wood handbook - Wood as an engineering material**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 463p. 1999.

SISFLORA- Sistema de Comercialização e Transporte de Produtos Florestais. **Extração e movimentação de toras de madeira nativa por município**. Relatório: Anos base 2007 a 2015. <http://monitoramento.sembraspa.gov.br/sisflora/>. Portal SISFLORA, 2016.

SJÖSTRÖM, E. **Wood Chemistry - Fundamentals and Applications**. Second Edition, Academic Press. 293p. 1993.

SOARES, B.C.D.; LIMA, J.T.; GOULART, S.L.; ASSIS, C.O. Strength and stiffness of the reaction wood in five *Eucalyptus* species. **Holzforschung**, v. 73, n. 2, p. 219-222, 2019.

SOUSA, W.C.S.; BARBOSA, L.J.; SOARES, A.A.V.; GOULART, S.L.; PROTÁSIO, T.P. Wood colorimetry for the characterization of Amazonian tree species: a subsidy for a more efficient classification. **Cerne**, v. 25, n. 4, p. 451-462, 2019.

SOUZA, M.H.; MAGLIANO, M.M.; CAMARGOS, J.A.A. **Madeiras tropicais brasileiras**. Brasília: Ministério de Meio Ambiente. 150p. 1997.

SOUZA, M.T. **Distribuição espacial da lignina e do ângulo microfibrilar na parede celular de *Eucalyptus grandis***. 2017. 52f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

SOUZA, M.T.; LIMA, J.T.; ASSIS, C.O.; SOARES, B.C.D.; LIMA, L.C.; MOREIRA, S.I. Distribuição espacial da lignina na parede celular da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 121, p. 125-130, 2019.

STUART, S.A.; EVANS, R. X-ray diffraction estimation of the microfibril angle variation in Eucalyptus wood. **Appita Journal**, v. 48, p. 197-200, 1995.

SUANSA, N.I.; AL-MEFARREJ, H.A. Branch wood properties and potential utilization of this variable resource. **BioResources**, v. 15, n. 1, p. 479-491, 2020.

SUZUKI, R.; MATSUSHITA, Y.; SAKURAI, T.I.M.; JESUS, J.M.H.; OZAKI, S.K.; FINGER, Z.; FUKUSHIMA, K. Characterization and antioxidant activity of Amazonian woods. **Journal of Wood Science**, v. 54, p. 174-178, 2008.

SWENSON, N.G.; ENQUIST, B.J. Ecological and evolutionary determinants of a key plant functional trait: wood density and its community-wide variation across latitude and elevation. **American Journal of Botany**, v. 94, n. 3, p. 451-459, 2007.

TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 204 cm-97 Solvent extractives of wood and pulp**. 12p. 2007.

TIMELL, T.E. Origin and evolution of compression wood. **Holzforschung**, v. 37, p. 1-10, 1983.

TIMELL, T.E. The chemical composition of tension wood. **Svensk Papperstidning**, v. 72, n. 6, p. 173-181, 1969.

TSAI, C-J.; CHIEN, C-T.; LEE, C-M.; CHEN, S-J.; KUO-HUANG, L-L. Anatomical characteristics of artificially induced tension wood in seedlings of Honduras Mahogany. **Taiwan Journal of Forest Science**, v. 21, n. 2, p. 147-154, 2006.

TSOUMIS, G.T. **Science and Technology of Wood: Structure, properties, utilization**. Van Nostrand Reinhold, New York. 400p. 1991.

VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; MATTOS, M.; TARIFA, R.; UHL, C. Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: the case of Paragominas. **Forest Ecology and Management**, v. 55, p. 169-199, 1992.

VERÍSSIMO, A.; SOUZA JÚNIOR., C.; CELENTANO, D.; SALOMÃO, R.; PEREIRA, D.; BALIEIRO, C. **Áreas para Produção Florestal Manejada: Detalhamento do Macrozoneamento Ecológico Econômico do Estado do Pará**. Relatório para o Governo do Estado do Pará, 2006.

VERISSIMO, A.; ROLA, A.; VEDOVETO, M.; FUTADA, S. **Áreas protegidas na Amazônia Brasileira: Avanços e Desafios**. Belém: Imazon; São Paulo: Instituto Socioambiental, 2011. 87p.

VERISSIMO, A.; PEREIRA, D. Produção na Amazônia Florestal: características, desafios e oportunidades. **Parcerias Estratégicas**, v. 19, n. 38, p. 13-44, 2014.

WALKER, J.C.F.; BUTTERFIELD, B.G. The importance of microfibril angle for the processing industries. **New Zealand Journal of Forestry**, v. 40, n. 4, p. 35-40, 1995.

WARDROP, A.B.; PRESTON, R. D. Organization of the cell walls of tracheids and wood fibres. **Nature**, v. 160, p. 911-913, 1947.

WARDROP, A.B. The organization of the primary wall in differentiating conifer tracheids. **Australian Journal of Botany**, v. 6, p. 299-305, 1958.

WARDROP, A.B.; DADSWELL, H.E. The nature of reaction wood. I. The structure and properties of tension wood fibres. **Australian Journal of Scientific Research**, v. 1, p. 4-19, 1948.

WARDROP, A.B.; DADSWELL, H.E. The nature of reaction wood. IV. Variation in cell wall organisation of tension wood fibres. **Australian Journal of Botany**, v. 3, p. 177-189, 1955.

WASHUSEN, R.; ADES, P.; EVANS, R.; ILIC, J.; VINDEN, P. Relationships between density, shrinkage, extractives content and microfibril angle in tension wood from three provenances of 10-year-old *Eucalyptus globulus* Labill. **Holzforschung**, v. 55, p. 176-182, 2001.

WASHUSEN, R.; ILIC, J.; WAUGH, G. The relationship between longitudinal growth strain, tree form and tension wood at the stem periphery of ten- to eleven-year-old *Eucalyptus globulus* labill. **Holzforschung**, v. 57, p. 308-316, 2003.

WASHUSEN, R.; EVANS, R.; SOUTHERTON, S. A study of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus globulus* branch wood microstructure. **IAWA Journal**, v. 26, p. 203-210, 2005.

XU, P.; DONALDSON, L.; WALKER, J.; EVANS, R.; DOWNES, G. Effects of density and microfibril orientation on the vertical variation of low-stiffness wood in radiata pine butt logs. **Holzforschung**, v. 58, p. 673-677, 2004.

YOSHIDA, M.; OKUDA, T.; OKUYAMA, T. Tension wood and growth stress induced by artificial inclination in *Liriodendron tulipifera* Linn. and *Prunus spachiana* Kitamura f. *ascendens* Kitamura. **Annals of Forest Science**, v. 57, n. 8, p. 739-746, 2000.

YOSHINAGA, A., KUSUMOTO, H., LAURANS, F., PILATE, G., TAKABE, K. Lignification in poplar tension wood lignified cell wall layers. **Tree Physiology**, v. 32, n. 9, p. 1129-1136, 2012.

YOSHIZAWA, N.; INAMI, A.; MIYAKE, S.; ISHIGURI, F.; YOKOTA S. Anatomy and lignin distribution of reaction wood in two Magnolia species. **Wood Science and Technology**, v. 34, n. 6, p. 183-196, 2000.

ZOBEL, B.J.; VAN BUIJTENEN, J.P. **Wood Variation: its causes and control**. New York: Springer-Verlag. 363p. 1989.