

Universidade Federal do Amazonas - UFAM
Faculdade de Ciências Agrárias - FCA
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais e Ambientais –
PPGCIFA

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS PARA DETERMINAR A QUALIDADE DE
MADEIRAS DE DUAS ESPÉCIES DA AMAZÔNIA PARA ELABORAÇÃO DE
VIGAS DE MADEIRA LAMELADA COLADA

FERNANDA BARBOSA BARROS

Manaus
2019

FERNANDA BARBOSA BARROS

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS PARA DETERMINAR A QUALIDADE DE
MADEIRAS DE DUAS ESPÉCIES DA AMAZÔNIA PARA ELABORAÇÃO DE
VIGAS DE MADEIRA LAMELADA COLADA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais, área de concentração em Manejo e Tecnologias de Produtos Florestais e Ambientais.

Orientadora: Dra. Claudete Catanhede do Nascimento - INPA
Co orientador: Carlito Calil Júnior - USP

Manaus
2019

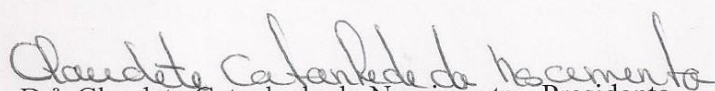
FERNANDA BARBOSA BARROS

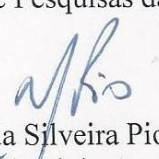
AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS PARA DETERMINAR A
QUALIDADE DE MADEIRAS DE DUAS ESPÉCIES DA
AMAZÔNIA PARA ELABORAÇÃO DE VIGAS DE MADEIRA
LAMELADA COLADA

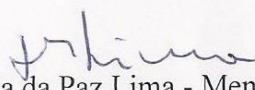
Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciências Florestais e
Ambientais da Universidade Federal do
Amazonas, como requisito para obtenção
do título de Mestre em Ciências Florestais e
Ambientais, área de concentração em
Ciências Florestais e Ambientais.

Aprovada em 05 de Abril de 2019

BANCA EXAMINADORA


Dr^a. Claudete Catanhede do Nascimento - Presidente
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA


Dr. Nabor da Silveira Pio - Membro
Universidade Federal do Amazonas - UFAM


Dr^a. Maria da Paz Lima - Membro
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

B277a Barros, Fernanda Barbosa
Avaliação de parâmetros para determinar a qualidade de
madeiras de duas espécies da Amazônia para elaboração de vigas
de madeira lamelada colada / Fernanda Barbosa Barros. 2019
85 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Claudete Catanhede do Nascimento
Coorientadora: Carlito Calil Júnior
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Características tecnológicas. 2. Madeiras tropicais. 3.
Construção civil. 4. Classe de resistência. 5. Manejo Florestal
Sustentável . I. Nascimento, Claudete Catanhede do II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS, por conduzir meus passos nessa caminhada onde exige uma dedicação por completo em dois anos de nossas vidas, e Ele sempre esteve presente em todos os momentos.

Aos meus familiares e namorado que sempre me apoiaram em todas minhas decisões em especial meus queridos e amáveis pais, que nunca mediram esforços para contribuir com minha educação. Agradeço todos os dias a Deus por terem colocados pessoas iluminadas no meu caminho.

A Dra^o Claudete Catanhede do Nascimento, por ser uma orientadora exemplar que dedicou uma valiosa orientação, confiança, amizade e apoio no decorrer deste trabalho.

Ao Dr^o Carlito Calil Júnior que ofereceu uma oportunidade para expandir meus conhecimentos e me desafiar.

Aos amigos de São Carlos em especial a Fabiana Yukiko Moritani pela paciência de ensaiar as inúmeras metodologias do trabalho, e também ao Felipe Icimoto e ao Tiago Hendrigo de Almeida que me orientaram, aconselharam e ajudaram em partes da minha pesquisa.

Aos amigos meus amigos da pós-graduação que me apoiaram e escutaram todos os problemas, em especial o Valdiek da Silva Menezes que esteve presente nesse momento no início ao fim, me orientando, ajudando nas estatísticas e sendo um grande amigo.

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais (PPG-CIFA), pela oportunidade de realização do mestrado.

À USP de São Carlos, em especial o laboratório do LaMEM, pois me receberam com muita humildade. Um agradecimento para todos os técnicos do laboratório e aos professores, que fizeram dessa experiência ser inesquecível.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), em especial a equipe do de Engenharia de Artefatos de Madeira – LEAM, além da ajuda do Laboratório de Anatomia da Madeira – LAM, pelo auxílio nas análises das madeiras estudadas, em especial ao Jorge Alves Freitas. E ao aluno Cristiano Souza do Nascimento que me orientou em todas as análises da Química da Madeira.

Agradeço a todos vocês que de alguma forma, contribuíram na realização deste trabalho.

Lista de tabelas

Tabela 1: Propriedades mecânicas da espécie Simarouba amara com o volume seco 12% (IPT 2017)	20
Tabela 2: Propriedades físico-mecânico da espécie Schizolobium amazonicum com o volume seco 12% segundo (TEREZO, 2010).....	21
Tabela 3: Classificação da madeira em relação a densidade	26
Tabela 4: Classes de resistência para as espécies coníferas (softwood) (ISO 16598: 2014).....	29
Tabela 5: Classes de resistência para as espécies das espécies folhosas (hardwood) (ISO 16598: 2014).....	29
Tabela 6: parâmetros para classificação visual para peças estruturais de pelo projeto de norma ABNT PN 02:126.10-0001-3: 2018	34
Tabela 7: Tipos de adesivos, gramaturas e pressões de colagem.	50
Tabela 8: Valores médios da densidade básica, das retratibilidades e do coeficiente de anisotropia no sentido longitudinal.....	57
Tabela 9: Caracterização químicas das espécies Simarouba amara e Schizolobium amazonicum.....	59
Tabela 10: Classificação visual das espécies.....	61
Tabela 11: Ensaio das propriedades mecânicas das espécies Simarouba amara e Schizolobium amazonicum.....	63
Tabela 12: Valores característicos pela norma Brasileira e Europeia	65
Tabela 13: Classes de resistência para as espécies folhosas (hardwood) (ISO 16598: 2014).....	66
Tabela 14: classe de resistência pelo novo projeto de norma PN 02:126 10-001-1:2018.	70
Tabela 15: Elaboração para o quadro de classificação da resistência utilizando as espécies desse estudo.....	71
Tabela 16: Resultados de MOE e MOR para as vigas de MLC de S. amazonicum (poliuretano (PU) / fenol resorcinol (Fenol)).	71
Tabela 17: Resultados de cisalhamento na linha de cola com os adesivos (poliuretano (PU) / fenol resorcinol (Fenol)).	73
Tabela 18: Resultados da porcentagem de delaminação das espécies para uso externo com os adesivos (poliuretano (PU) / fenol resorcinol (Fenol)).	74

Lista de Figuras

Figura 1: Emendas das vigas de MLC (MACÊDO; CALIL JUNIOR, 1999).....	31
Figura 2: Lotes das espécies <i>Simarouba amara</i> Aubl, e <i>Schizolobium amazonicum</i> (Huber) Ducke	33
Figura 3: Demarcações feita nas amostras para retirar os corpos de provas orientados.	34
Figura 4: Micrótomo utilizado para cortar os corpos de provas com espessura de 18 micrômetro (µm).....	35
Figura 5: Ensaio da densidade básica	37
Figura 6: Cadinhos de porcelanas alocados na mufla.....	38
Figura 7: Balões de fundo chatos com as soluções de Etanol – Hexano (1:2), alocados no Extrator Soxhle, e os papéis de celulose com as amostras da madeira.....	39
Figura 8: Balões com os extrativos extraídos em de Etanol – Hexano (1:2).....	39
Figura 9: Balões com os extrativos extraídos em Etanol.....	40
Figura 10: Cadinhos de platinas, solução de água destilada e ácido sulfúrico (1:1)	41
Figura 11: Cadinhos na mufla em uma temperatura de 850°C, e cadinhos com resíduos de sílicas no recipiente.....	41
Figura 12: Esquema do ensaio de Flexão estática em quatro pontos	43
Figura 13: Ensaio de Flexão estática em quatro pontos.	43
Figura 14: Relógio comparador.	44
Figura 15: Ensaio de compressão paralela.....	45
Figura 16: Esquema de ensaio para a determinação da resistência à compressão e rigidez normal às fibras.	46
Figura 17: Ensaio para a determinação da resistência à compressão e rigidez normal às fibras.	46
Figura 18: Ensaio de tração paralela às fibras	47
Figura 19: Ensaio de tração perpendicular às fibras	48
Figura 20: Ensaio de cisalhamento paralelo às fibras.....	49
Figura 21: Aplicação dos adesivos poliuretano e fenol resorcinol	49
Figura 22: Prensa utilizada nas vigas de Madeira Lamelada colada	50
Figura 23: Ruptura do corpo de prova no ensaio de flexão em viga de MLC.....	51
Figura 24: Máquina universal para o ensaio de cisalhamento da linha de cola.....	51

Figura 25: Imagens macroscópica das três seções da espécie <i>Simarouba amara</i> Aubl. com lente 10x de aumento.	55
Figura 26: Imagens macroscópica das três seções da espécie <i>Schizolobium amazonicum</i> (Huber) Ducke.com lente 10x de aumento.....	56
Figura 27: Fotomicrografias das seções tangenciais da espécie a) <i>Simarouba amara</i> e b) <i>Brosimum rubescens</i> Taub.	68
Figura 28: Correlação de Pearson da Flexão (MOE/MOR) em relação a Densidade das espécies <i>Schizolobium amazonicum</i> e <i>Simarouba amara</i>	69

Sumário

1. Introdução	13
2. Objetivo geral	16
2.1 <i>Objetivo específicos</i>	16
3. Hipóteses.....	16
4. Revisão bibliográfica	17
4.1 <i>Manejo florestal na Amazônia</i>	17
4.2 <i>Mercado de madeiras tropicais</i>	22
4.3 <i>Características tecnológicas de madeiras</i>	22
4.3.1 Propriedade químicas, anatômicas, físicas e mecânicas.....	23
4.4 <i>Madeira Lamelada Colada</i>	30
4.4.1 Controle de qualidade das Vigas de Madeira Lameladas Coladas (MLC).....	31
5. Material e métodos.....	33
5.1 <i>Características gerais</i>	33
5.2 <i>Classificação visual</i>	33
5.3 <i>Identificação científica das espécies coletadas</i>	34
5.4 <i>Caracterização Física da madeira</i>	35
5.4.1 Determinação do teor de umidade	35
5.4.2 Estabilidade dimensional da madeira.....	36
5.4.3 Coeficiente de anisotropia.....	36
5.4.4 Densidade básica.....	37
5.5 <i>Análise química da madeira</i>	37
5.5.1 Teor de cinzas	38
5.5.2 Teor de extrativos	39
5.5.3 Teor de sílica.....	40
5.5.4 Análise do pH	42
5.6 <i>Propriedades mecânicas</i>	42
5.6.1 Ensaio de flexão estática	42
5.6.2 Ensaio de compressão paralela às fibras	45
5.6.3 Ensaio de compressão perpendicular às fibras	45
5.6.4 Ensaio de tração paralela às fibras	47
5.6.5 Ensaio de tração perpendicular às fibras	47
5.6.6 Ensaio de cisalhamento paralelo às fibras.....	48
5.7 <i>Elaboração de vigas de Madeira Lamelada Colada</i>	49
5.7.1 Ensaio de flexão estática nas vigas de MLC.....	50
5.7.2 Ensaio do cisalhamento paralelo a linha de cola.....	51

5.7.3 Ensaio de delaminação.....	52
5.8 Análises estatísticas	52
5.8 Análises estatísticas	53
5.8.1 Determinação do valor característico.....	53
6. Resultados e Discussão	55
6.1 Caracterização macroscópica	55
6.2 Propriedades físicas	57
6.3 Propriedades químicas	59
6.4 Classificação visual	61
6.5 Propriedades mecânicas.....	62
6.6 Vigas de Madeira Lamelada Colada	71
7. Conclusão.....	75
8. Considerações finais	75
9. Referências Bibliográficas	76

Abstract

The knowledge of the Woods of subsients are use the species of tropical fruits with scarce technological knowledge. Pensing in viabilizar tree species of the Forest Management, made in Portugal in construction of modelos finished the beams of Wood Lamelada Colada (MLC), is necessary using the physical properties, mechanicals, and anatomical of the wooden species in the wooden of confection of beams- MLC. With this, the objective of the work was to propose the use of wood from the Amazon for composition of MLC beams. The study was directed to tropical species. Tests were performed to verify the presence of components that may interfere with the permeability and adhesion of the adhesive, such as anatomical properties, types of gros, linden, density, contraction, radiality and anisotropy properties. (static bending, parallel and perpendicular compression to the fibers, parallel and perpendicular traction to the fibers and parallel shear to the fibers), and the mechanical tests to analyze the strength and rigidity of the species. fibers). Results for the anatomical, physical and physical properties of the species studied for the elaboration of MLC beams, as they did not interfere in the permeability and adherence to the glue line. In this paper, we will examine the variability of the Amazonian species, since, as manufactured, the sources of (0.37 - 0.40g / cm³) and are classified in resistance class of species that have high density. The results of this type of study are that the resistance classes are elaborated considering a variability of the properties of the tropical species.

Keywords: Technological characteristics, Tropical timber, Construction, Resistance class, Sustainable Forest Management.

RESUMO

O conhecimento da tecnologia da madeira da subsídios para utilização de espécies tropicais com escassos conhecimentos tecnológicos. Pensando em viabilizar espécies arbóreas do Manejo Florestal, para inseri-las na construção civil em forma de produtos acabados como vigas de Madeira Lamelada Colada (MLC), é necessário caracterizar propriedades físicas, mecânicas, químicas e anatômicas da madeira de espécies alternativas para a confecção de vigas-MLC. Com isso, o objetivo desse trabalho foi propor o uso de madeiras da Amazônia para composição de vigas de MLC. O estudo foi direcionado para duas espécies tropicais *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke - Paricá e *Simarouba amara* Aubl – Marupá com alta frequência na floresta Amazônica. Foram realizados ensaios para verificar a presença de componentes que podem interferir na permeabilidade e aderência do adesivo, como as características anatômicas (poros, tipos de grã, tilos), as propriedades físicas (densidade, contração tangencial, contração radial e anisotropia) e químicas da madeira (extrativos, pH, cinza e sílica), e os ensaios mecânicos para analisar a resistência e rigidez das espécies, e determinar classes de resistência (flexão estática, compressão paralela e perpendicular às fibras, tração paralela e perpendicular às fibras e cisalhamento paralelo às fibras). Resultados positivos foram encontrados nas propriedades anatômicas, químicas e física das espécies estudadas para elaboração de vigas de MLC, por não interferirem na permeabilidade e aderência da linha de cola. Quanto as propriedades mecânicas as duas espécies possuem resistência e rigidez ideal para elaboração de vigas de MLC, conforme os valores estabelecidos pela norma Brasileira e Europeia, entretanto as classes de resistências estabelecidas pelos valores tabelados da norma ISO 16958-2014 não contemplam a variabilidade das espécies tropicais Amazônia, visto que, as madeiras dessa pesquisa possuem baixa densidade ($0,37 - 0,40\text{g/cm}^3$) e se enquadraram em classe de resistência de espécies que possuem alta densidade. Os resultados desse estudo sugerem, que classes de resistências sejam elaboradas considerando a variabilidade das propriedades das espécies tropicais.

Palavra-chave: Características tecnológicas, Madeiras tropicais, Construção civil, Classe de resistência, Manejo Florestal Sustentável.

1. Introdução

Apesar da floresta amazônica possuir grandeza e exuberância, nos últimos anos ela vem sofrendo um acelerado processo de degradação, pois tem sido alvo de diversos interesses que contribuí para seu desmatamento. Diante da possibilidade de escassez dos seus recursos naturais e com o intuito de garantir um futuro ecologicamente correto para as futuras gerações, o conceito “sustentabilidade” tem sido fortalecido (LACERDA; CÂNDIDO, 2013), e a necessidade de se pensar em novos modelos tecnológicos para se implementar na floresta tem sido alvo de preocupações das instituições (SOARES et al., 2017).

Entre as alternativas tecnológica sustentáveis e racional que se mostram adequadas para florestas tropicais, encontra-se o manejo florestal sustentável, cuja a proposta é extrair produtos da floresta sem acarretar muito impacto, possibilitando sua recuperação natural pelo estoque das plantas remanescente, agregando assim o conceito de sustentabilidade, e dando um maior valor aos produtos madeireiros e não madeireiro, uma estratégia para impulsionar a prática do manejo florestal (HIGUCHI et al., 2007; PIRANI, 2007; RIBEIRO, 2017; YARED et al., 2012).

A floresta amazônica possui cerca de 670 indivíduos distribuídos em 48 famílias, 133 gêneros e 245 espécies por hectare (OLIVEIRA et al., 2008), e segundo Hosokawa; Moura; Cunha, (1998), a floresta tropical possui alta diversidade de espécies, baixa dominância e diversos padrões de dispersão espacial. Mas essa heterogeneidade da floresta não implica em vantagens para o manejo florestal sustentável, pois só algumas dezenas de espécies possuem maior interesse comercial, gerando pressão para exploração desses indivíduos, ameaçando exaurir seus estoques naturais (TAKEDA, 2015).

Para diminuir a pressão sobre esses indivíduos, é necessário estudos sobre a potencialidades de novas espécies que pode ser encontrada na floresta em abundância, estudos esses como a classificação e/ou agrupamento das características físicas, mecânicas e químicas de novas espécies, para viabiliza-las a entrar no mercado (MELO et al., 2013; SILVEIRA et al., 2013; LIRA et al., 2017).

A floresta Amazônica apesar de ser densa, poucos são os estudos realizados em relação às características tecnológicas das espécies madeireiras ocorrentes, e esses estudos são essenciais para introduzir peças para diferentes fins no mercado, visto que é um importante parâmetro que está relacionado com a qualidade da madeira (ARAUJO,

2002). No entanto, as serrarias existentes comercializam sempre as mesmas espécies, como cedro, angelins, mogno, sucupiras, andiroba, louro, etc., podendo existir outras espécies com propriedades tecnológicas equivalentes as tradicionais (NASCIMENTO et al., 1997), e a partir do domínio desse conhecimento tecnológico, as madeiras tropicais podem ser bem vista pelo mercado para diferente finalidade, visto pela necessidade de diminuir a pressão sobre madeiras tradicionais e a boa aceitação da indústria pelo produto madeireiro, pois as madeiras possuem uma ampla diversidade de uso, que são bastante apreciadas pela indústria, principalmente quando as relacionamos a construção civil em peças estruturais, componentes de edificação e mobiliário (ALMEIDA et al., 2017).

Apesar da madeira não ser bem-conceituada em algumas regiões na construção civil por ser empregada de forma errônea, e pela cultura dos antepassados que geraram um preconceito generalizado em relação ao uso mais intensivo da madeira. Em muitos países desenvolvidos a madeira é citada como sendo um ótimo material de construção civil por possuir aspectos de conforto, plasticidade no projeto, rapidez de montagem e durabilidade, além de possuir vantagens comparados com outro tipo de materiais, por possuir baixo consumo de energia para seu processamento, a alta resistência específica, as boas características de isolamento térmico e elétrico, além de ser um material muito fácil de ser trabalhado manualmente ou por máquinas (ZENID, 2009).

Na construção civil a madeira é utilizada de diversas maneiras, desde madeira maciça, até os derivados de madeira, que nesta linha se incluem, as placas, contra placas, aglomerados e material de que podem ser entendidos como madeira reconstituída, tentando manter a essência da madeira maciça, como MLC (madeiras lamelada colada) e o LVL (madeira folheada-colada), que são fabricados como elementos estruturais e permitindo elementos de grandes secções (SILVA, 2014).

Dentre esses elementos a Madeira Lamelada Colada é bem mais conhecido. Esse produto é reconhecido por suas lamelas serem coladas com as fibras paralelas entre si, e possuírem uma emenda no topo, constituindo elementos retos e curvos. São utilizadas colas sintéticas e possui grande resistência mecânica, boa resistência a umidade, elevada durabilidade e bom comportamento ao fogo (BARBOSA, 2008).

A MLC pode ser empregada em elementos estruturais como pontes, torres de transmissão, edifícios, embarcações, banzos de escadas e corrimão, equipamentos decorativos planos ou em relevos, esquadrias e móveis. Essa diversidade de produtos que são derivados da Madeira Lamelada Colada, ocorre pelo domínio do controle de

qualidade do produto, permitindo produzir elementos de madeira nos quais os defeitos são dispersos, garantindo um produto com propriedades mais homogêneas, cujas dimensões são, em teoria, ilimitadas (SILVA, 2014).

Pensando em agregar a Madeira Lamelada Colada (MLC) como opção de uso, para ser empregadas em madeiras nativas certificadas de floresta tropicais, onde a fabricação desses produtos estruturais requer precisão em todos os seus estágios. Pode ser uma alternativa para agregar valor em espécies que não são utilizadas para fins estruturais, possibilitando assim sua entrada no mercado industrial na construção civil, sendo elaborado um projeto mais eficiente por ter um maior conhecimento das propriedades tecnológicas (anatômico químico, físico e mecânico da madeira), além de ser sustentável por viabilizar espécies do Manejo Florestal Sustentável que não são utilizadas para fins estruturais.

2. Objetivo geral

- Propor uso de madeiras da Amazônia para composição de vigas lameladas coladas.

2.1 Objetivo específicos

- Caracterizar as propriedades tecnológicas das madeiras (densidade, estabilidade dimensional, as mecânicas e químicas);
- Avaliar as propriedades tecnológicas de duas espécies Amazônicas para indicação em uso de vigas lameladas;

3. Hipóteses

A presente pesquisa está direcionada a responder as seguintes perguntas:

- Quais das duas espécies arbóreas da Amazônia possuem características tecnológicas para produção de madeira lamelada colada?
- Os elementos estruturais serão eficientes para elaboração de vigas de Madeira Lamelada Colada utilizando duas espécies da Amazônia?

4. Revisão bibliográfica

4.1 Manejo florestal na Amazônia

Desde o primórdio o homem sempre teve necessidade de utilizar os recursos florestais, e a madeira proporcionou acertadamente os primeiros passos de qualquer conquista técnica (CASSINELLO, 1973). Houve um tempo em que a floresta era considerada como um recurso abundante, porém com as revoluções, aumento da população, o homem teve necessidade de utilizar recursos florestais para diferentes fins como sobrevivência, tornando a exploração abusiva, contribuindo para o esgotamento de recursos florestais pelo mundo. Em decorrência dessa exploração houve uma preocupação de proteger a floresta, disciplinando sua exploração e estabelecendo leis para sua proteção.

Contudo no Brasil sempre houve um grande distanciamento na legislação brasileira e a prática da exploração florestal, principalmente na Amazônia (LIMA, 2010), visto que em 1970 o próprio governo federal impulsionou o desmatamento na região amazônica, e só em 1980 houve a redução dos incentivos pela pressão internacional (VERÍSSIMO; LIMA; LENTINI, 2002). E foi nessa época que despertou o interesse da sociedade de buscar alternativas para utilizar os produtos florestais, mas fazendo manutenção da qualidade ambiental (LACERDA; CÂNDIDO, 2013). Isto é, aceitar que a floresta representa algo mais do que apenas madeira, admitindo que há inúmeros organismos vivos interagindo com aquele ambiente, sendo relevante pensar nesses seres antes de qualquer exploração em determinada área (HIGUCHI, 1994)(HIGUCHI, 1994).

Pensando nisso, uma alternativa interessante adequada para florestas tropicais, foi aprimorar tecnologias sustentáveis, como o Manejo Florestal Sustentável (MFS). Neste sentido Higuchi et al., (2006), afirma que o manejo florestal (MF) é parte da ciência florestal que aborda um conjunto de requisitos, avaliando técnicas e normas, para organizar ações necessárias com intuito de não causar tanto impacto na floresta, ordenando os fatores de produção e controlando a sua produtividade e eficiência, para alcançar objetivos definidos, sendo esse, lucrar com a exploração de produtos madeireiros, mas mantendo a sanidade do ambiente.

A prática do manejo florestal sustentável consiste em viabilizar a exploração florestal com um Plano de Manejo Florestal. O plano de manejo é um projeto que deve

ser realizado antes da exploração, especificando alguns dados, como o detalhamento da área onde vai haver a exploração, também é necessário fazer o inventário florestal, determinando o DAP (diâmetro da altura do peito) da árvore, georreferenciar cada indivíduo para ter maior facilidade de encontra-los depois, analisar a qualidade do fuste e copa, e o aspecto de sanidade da tora (BARROS, 2016).

Através dessas etapas descritos no plano de manejo, há uma otimização do maior aproveitamento da madeira, valorizando a sustentabilidade pelo baixo impacto físico, biótico e antropológico. Além de reduzir custos da exploração, pode gerar emprego para as famílias que moram em comunidades perto da área explorada (ANGELO et al., 2014; JANDL et al., 2007).

Segundo Barbosa et al., (2001), a exportação de madeira tropicais oriundas da Amazônia teve um grande aumento, ganhando cada vez mais espaço internacional, considerando que, houve um esgotamento dos estoques florestais da Malásia e Indonésia, isso leva a Amazônia ser um dos principais fornecedores de madeiras tropicais no mundo, tendo que suprir a demanda estrangeira. A partir desses dados é possível crer, que investir na atividade madeireira de forma sustentável, pode ser uma alternativa para desenvolver a Amazônia, visto que, apenas 5% da população economicamente ativa da Amazônia Legal trabalha de forma direta ou indireta com a floresta (ALMEIDA et al., 2010). E para aumentar o PIB regional sem dúvida deve-se investir no setor madeireiro, de forma sustentável, respeitando as inúmeras legislações, e possibilitando novos meios de renda para as comunidades locais.

O mercado internacional é exigente quando o assunto está relacionado a exportação de madeira, eles são extremamente inflexíveis em relação a certificação das madeiras legalizadas originadas de um plano de manejo, e rigorosos com a entrada das madeiras ilegais no país. Os países que mais exportaram madeira do Brasil foram Holanda, Alemanha e Bélgica, e a região que mais exportou as madeiras tropicais foi Itacoatiara um município do Amazonas (TAKEDA, 2015).

MFS além de ser uma alternativa para o desenvolvimento do Amazonas, em 2009 em uma Conferência das Nações Unidas sobre mudanças climáticas, o apontou como uma fonte alternativa de fixação de carbono. Em um estudo realizado na Alemanha concluiu que explorar e utilizar madeira de forma sustentável contribui com a redução dos efeitos climáticos (KNAUF et al., 2015). E substituir a madeira por metais, plástico e concreto, aumenta ainda mais a emissão de CO₂ (GUSTAVSSON et al., 2007; WINISTORFER et al., 2007). Contudo apesar das vantagens do MFS, o

grande desafio ainda é disputar o mercado com a exploração de madeira ilegal, onde se faz a retirada das espécies comerciais de forma predatória e não levam em conta os recursos florestais, desrespeitando as leis ambientais do Brasil, acarretando grandes danos no ecossistema.

As espécies exploradas de forma ilegal são vendidas por preços reduzidos, em relação às espécies que são vendidas de um plano de manejo florestal onde os custos da madeira são maiores, para viabilizar os investimentos necessários no plano (ANGELO et al., 2014; BARROS, 2016). E na região norte do Brasil essa exploração ocorre de forma mais intensa, degradando o ambiente para possível regeneração natural, sobrando apenas poucos indivíduos de baixo valor comercial (BARROS, 2016). Outro agravante que influencia na exploração ilegal de madeira, ocorre pela falta de fiscalização na região amazônica por exigir grandes esforços logísticos (BRITTO, 2015).

Outra dificuldade encontrada para aderir ao plano de manejo na região amazônica, está relacionada com a sua implementação, devido ao alto investimento inicial, as exigências burocráticas dos órgãos e a falta de segurança fundiária na região (SABOGAL et al., 2006). Além desses fatores a necessidade de tirar as pressões de exploração de espécies conhecidas, pois só algumas dezenas de espécies possuem maior interesse comercial, ameaçando exaurir seus estoques naturais (TAKEDA, 2015). Com o intuito de aderir essas espécies no mercado e talvez até mesmo substituí-las pelas espécies tradicionais, mais estudos sobre madeiras amazônicas são necessários (ALMEIDA et al., 2010; MOUTINHO et al., 2011) .

Conhecendo as propriedades físico-mecânicas, químicas e biológicas da madeira, é possível aumentar seu valor agregado, possibilitando uma indicação adequada para o uso dessas espécies na tecnologia da madeira (DA SILVA; DO VALE; MIGUEL, 2015; MUNALULA; MEINCKEN, 2009). E sem o conhecimento dessas propriedades não é possível assegurar a eficiência das espécies que podem ter potencial tecnológico (DA SILVA; DO VALE; MIGUEL, 2015; MELO, 2013).

Deste modo, a determinação de diversas propriedades e a sua análise conjunta torna-se a solução mais adequada para o uso da madeira da espécie tropicais, sendo esta a *Simarouba amara* Aubl, e *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke. (CALEGARI et al., 2013).

***Simarouba amara* Aubl.**

A espécie *Simarouba amara* Aubl. pertence a família Simaroubaceae, e é conhecida popularmente como Marupá, Caixeta, Paraparaíba e Marupaúba, essa espécie pode ser encontrada no Suriname, Guianas, América Central e no Brasil podendo ser encontrada nos estados da Bahia, Ceará, Pernambuco e em várias regiões da Amazônia. A espécie é mais frequente em matas de várzeas, onde atinge maior porte, e é ocasional nas capoeiras e savanas de solo arenoso (COMVALIUS, 2001; LOUREIRO, A.A.; SILVA, M.F.; ALENCAR, 1979).

Quanto a fenologia, a espécie *Simarouba amara* Aubl. possui um comprimento que pode chegar de 30 - 40 m, com um DAP de 0,70 - 0,90 m, possui padrão regular, com plena floração no mês de dezembro, no início da estação chuvosa e a frutificação na estação chuvosa (COMVALIUS, 2001; PINTO et al., 2005). Além de apresentar o cerne e alburno indistintos, pela cor branco-palha levemente amarelada; grã direita, com textura média e brilho moderado; cheiro imperceptível e gosto levemente amargo; resistência ao corte baixa, com durabilidade boa quando seca (MARQUES et al., 2006).

Em relação as propriedades físico-mecânica da madeira dessa espécie, a densidade fica em torno de 0,4 g/cm³ segundo (RIBEIRO et al., 2018a), e as análises de contração da espécie no sentido radial 4,8%, tangencial 6,8% e volumétrica 11,8% segundo IPT 2017, na tabela 1 é possível observar os dados das propriedades mecânicas segundo a mesma fonte. Concluindo que a classe de resistência que essa espécie se enquadra é C30 (ABNT, 1997).

Tabela 1: Propriedades mecânicas da espécie *Simarouba amara* com o volume seco 12% (IPT 2017).

MOE (Mpa)	MOR (Mpa)	fc0 (Mpa)	fc90 (Mpa)	ft90 (Mpa)	fv0 (Mpa)
7.257	64	33	4,4	-	7

MOE= Módulo de elasticidade; MOR= Módulo de ruptura; fc0= Compressão paralela as fibras; fc90= Compressão normal as fibras; fv0= resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; - = valor não tabelado

Não se tem muito estudos com a espécie *Simarouba amara* em relação a elaboração de vigas de madeira lameladas coladas, porém pelas propriedades tecnológicas dessa madeira, utilizar essa espécie para elaborar vigas de madeira lamelada colada pode-se obter resultados satisfatório.

***Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke.**

Schizolobium amazonicum pertence a família Fabaceae, conhecida popularmente como Paricá ou Pinho Cuiabano, ocorre na Amazônia brasileira, venezuelana, colombiana, peruana e boliviana. No Brasil, é encontrado nos Estados do Amazonas, Pará, Mato Grosso e Rondônia, em solos argilosos de florestas primárias e secundárias, tanto em terra firme quanto em várzea alta (DUCKE, [s.d.]).

As árvores podem alcançar altura entre 15 a 40m e DAP entre 50 a 100cm, O tronco é cilíndrico e reto. A casca é esverdeada e delgada quando jovem, tornando-se mais tarde acinzentada, espessa, dura, rugosa e com carreiras verticais de lenticelas. A madeira tem o cerne creme-avermelhado e o alburno creme-claro. Apesar da textura média a grossa, o processamento é fácil e recebe um bom acabamento. É considerada mole, de baixa densidade, e possui baixa durabilidade natural, sendo suscetível ao ataque biológico (CORDERO, J. CINTIA R. DE SOUZA, 2003).

Essa espécie é mais comercializada devido as suas características, despertando o interesse da espécie no ramo silvicultural no setor florestal, pois oferece vantagens como o crescimento rápido, baixa densidade e propriedades mecânicas favoráveis, podendo substituir outras espécies nativas pela qualidade, rendimento, boa adaptação aos plantios e rápido incremento volumétrico (30m³/ha/ano) e, mesmo sem melhoramento genético, pode ser colhida aos seis anos de idade (URBINATI, 2013), sendo indicada para plantios comerciais, sistemas agroflorestais e reflorestamento de áreas degradadas por ser uma espécie pioneira (SILVA et al., 2011).

Essa espécie também se destaca no ramo da construção civil para elaboração de madeira lameladas coladas devido a sua coloração clara, uniforme e desprovida de nós e boa aceitação de tratamentos e adesivos. Analisando as propriedades físico-mecânico dessa espécie é possível concluir sua classe de resistência se enquadra na C20 segundo a norma ABNT NBR 7190:1997.

Tabela 2: Propriedades físico-mecânico da espécie *Schizolobium amazonicum* com o volume seco 12% segundo (TEREZO, 2010).

Densidade (g/cm ³)	MOE (Mpa)	MOR (Mpa)	fc0 (Mpa)	fc90 (Mpa)	ft90 (Mpa)	fv0 (Mpa)
0,49	8.200	56,2	34,7	4,6	2,7	11,1

MOE= Módulo de elasticidade; MOR= Módulo de ruptura; fc0= Compressão paralela as fibras; fc90= Compressão normal as fibras; fv0= resistência ao cisalhamento paralelo às fibras; - = valor não tabelado.

4.2 Mercado de madeiras tropicais

Na região Amazônia existia 2.227 empresas do seguimento da indústria da madeira até 2009, 66% dessas eram serrarias. Extraíram aproximadamente 14,2 milhões de metros cúbicos de madeira em tora, que resultou na produção de 5,8 milhões de metros cúbicos de madeira processada com rendimento de 41%. Cerca 72% era madeira serrada com baixo valor agregado como ripas, caibros, tabuas, etc., 15% em madeira beneficiada (pisos e esquadrias) e 13 em madeira laminada e compensado (BRASILEIRO-SFB, 2010).

De acordo com ITTO, (1999) a região Amazônia produz em torno de 30 milhões de metros cúbicos de madeira tropical em toras por ano, ocupando terceira posição na produção de Madeira tropical, procedida pela Malásia e Indonésia.

4.3 Características tecnológicas de madeiras

Os estudos para determinar a qualidade da madeira tem evoluído nos últimos anos, sendo definida pelo conjunto de características anatômicas, físicas, químicas e de resistência que conferem aptidão a madeira para determinado uso. Várias características influenciam no uso adequado da madeira para diversos segmentos da indústria, como a uniformidade do fuste, porcentagem da madeira do cerne e do alburno, orientação da grã, comprimento da fibra, composição química da parede celular, presença de nós, densidade, resistência, quantidade de água presente na parede celular (PANSHIN; ZEEUW, 1980).

A madeira é um material constituído por diferentes tipos de células para desempenhar funções específica, altamente anisotrópica com suas propriedades variando conforme sua orientação longitudinal, radial ou tangencial (SCHNIEWIND, 1989). Pode ser durável devido sua composição (celulose, hemicelulose e lignina).

Para se obter o conhecimento tecnológico da madeira, é necessário realizar uma série de procedimentos e testes em um laboratório especializado, e cada espécie pode se comportar de maneira diferenciada, por possuir fatores de variação vindo do próprio material. Essas influências de fatores diminuem quando há uma padronização nos ensaios realizados, ou seja, é necessário aplicar Normas Técnicas (CALEGARI et al., 2013).

A normalização constitui uma atividade que estabelece prescrições destinadas à utilização comum e repetitiva com vistas à obtenção do grau ótimo de ordem, em um

dado contexto (ABNT, 2006). Porém existem inúmeras normas para determinação das propriedades tecnológica da madeira, algumas normas conceituadas relacionadas a madeira estão relacionados com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), *American Society for Testing and Materials* (ASTM), *American National Standards Institute* (ANSI), *American Wood-Preservers' Association* (AWPA), *Comisión Panamericana de Normas Técnicas* (COPANT), *International Standardization Organization* (ISO), *Association Française de Normalisation* (AFNOR), *Deutsches Institut für Normung* (DIN), *British Standards Institution* (BSI), *Instituto Nacional de Normalización* (INN), *Instituto Argentino de Racionalización de Materiales* (IRAM) e *Asociación Española de Normalización y Certificación* (AENOR) (CALEGARI et al., 2013).

As normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estão sendo reformulada, o que torna viável em pesquisas obter conhecimentos de estudos sobre determinada norma, para verificar se os resultados obtidos pela norma brasileira podem ser coesos, em relação as características químicas, físicas e mecânicas.

A madeira é um material orgânico, que possui características complexas, por possuir estrutura de diferentes tipos de células que são essenciais para atender as necessidades das plantas e mantê-las vivas (WIEDENHOEFT, 2010). Estudar a complexidade das propriedades da madeira de forma isolada pode não ser o suficiente para indicar de forma adequada o emprego desse material (SILVA, 2017). Contudo se houver a determinação de diversas propriedades (biológica, química, física, e mecânica) em sua análise conjunta, torna-se a solução mais propícia para determinar os seus possíveis usos (MELO; MENEZZI, 2010).

4.3.1 Propriedade químicas, anatômicas, físicas e mecânicas

4.3.1.1 Propriedade química da madeira

Apesar da importância de determinar a resistência mecânica, densidade e sua estabilidade dimensional, obter o conhecimento da parte química da madeira é de suma importância, pois possui uma característica complexa composta de produtos químicos que fazem uma rede interconectada, e essa propriedade possui variáveis que gera grandes influencias nas características mecânicas e físicas (KLOCK et al., 2005; STANGERLIN et al., 2015).

A parede celular da madeira é constituída por polímeros biológicos tridimensional, formado por microfibrila de celulose, embebidas por uma matriz de lignina e hemicelulose, além de possuir componentes secundários como os extrativos e os componentes inorgânicos (BURGER; RICHTER, 1991; LEPAGE et al., 1986).

A proporção da celulose na madeira fica em torno de 40-50% de celulose, sendo este o componente químico majoritário em quase todas as coníferas e folhosas (KLOCK et al., 2005). A celulose possui uma estrutura linear de alto peso molecular, sua cadeia é formada por unidades de β -glicose, e constituída por um único tipo de unidade de açúcar (PENEDO, 1980), e confere para a madeira rigidez e resistência a tração. Já a proporção da hemicelulose da madeira fica em torno de 15-25%, e normalmente elas são relacionadas com as celulosas contribuindo com os componentes estruturais, o que as diferenciam são as cadeias moleculares por serem mais curtas que as de celulosas, ocasionando assim ramificações na sua estrutura, além de que as hemicelulosas apresentam várias unidades de açúcares diferentes, de cinco ou seis átomos de carbono (SANTOS et al., 2001).

A proporção do composto da lignina na madeira fica em torno de 20-35%, sendo moléculas complexas, pois seu polímero é formado por diferentes polissacarídeos constituídos por unidades aromáticas de fenilpropano, que é considerada uma substância incrustante (ROWELL et al., 2005). A lignina está mais presente em coníferas do que nas folhosas, encontra-se localizada nas lamelas médias composta, e também na parede secundária (SANTOS, 2008).

Essa estrutura tridimensional explica a relação positiva com a densidade, rigidez e resistência a impactos, além de contribuir no transporte interno de água, nutrientes e metabólitos, e os tecidos mais lignificados resistem ao ataque por microrganismos, impedindo a penetração de enzimas destruidoras da parede celular (PHILIPP, P; D'ALMEIDA, 1988).

Os componentes secundários da parte química da madeira são os extrativos, que estão em torno de 10% e as cinzas 1%, porém em madeiras tropicais esse valor de cinza pode ser maior. Os extrativos são compostos químicos da parede celular, geralmente formados a partir de graxas, ácidos graxos, álcoois graxos, fenóis, terpenos, esteróides, resinas ácidas, resinas, ceras, e alguns outros tipos de compostos orgânicos (SANTOS, 2008). Os extrativos são mais presentes nas coníferas do que nas folhosas, e fica mais localizado na parte de cerne pelo depósito de muitas dessas substâncias, principalmente as de caráter fenólico na madeira.

Apesar do teor de extrativos ser em uma porcentagem baixa, sua presença em determinadas espécies impedem ataque da madeira por fungos e insetos pelos seus compostos voláteis, além de dar uma coloração mais intensa na madeira e aumentar a durabilidade natural (BARBOSA; NASCIMENTO; MORAIS, 2007; FENGEL; WEGENER, 1984). A partir das análises dos compostos químicos, percebe-se a importância de cada elemento na madeira, visto que, concentração desses componentes na estrutura celular tornam as madeiras mais rígidas ou flexíveis, claras ou escuras, menor ou maior densidade, e também dureza (BARBOSA; NASCIMENTO; MORAIS, 2007; FENGEL; WEGENER, 1984).

4.3.1.2 Propriedades anatômicas da madeira

Apesar da diversidade das espécies tropicais ser ampla, poucos estudos foram realizados para conhecimentos de suas características tecnológicas (MADY, 2007). Segundo SILVA, (2002) obter uma identificação científica correta das espécies é fundamental para o desenvolvimento das ciências básica e aplicada, o mesmo autor cita que uma espécie chega a ter até dez nomes vernaculares e existe ainda a relação de diversos nomes vulgares para um mesmo táxon. Kanashiro, (2002) afirma ainda que a distinção das espécies de forma clara e didática, é necessária para minimizar prejuízos econômicos e colaborar para o controle da manutenção da biodiversidade.

Neste contexto, o estudo da anatomia da madeira é essencial pois seu maior objetivo é conhecer a madeira buscando identifica-las corretamente, e prever utilizações adequadas de acordo com suas características, compreendendo o comportamento da madeira no que diz respeito à sua utilização, além de diminuir os equívocos cometidos na comercialização das madeiras de forma ilegal (BURGER; RICHTER, 1991). Porém há uma complexidade na estrutura anatômica da madeira, por seus arranjos e pela quantidade proporcional de diferentes tipos de células, como fibras, traqueídeos, vasos, parênquima axial, raios, canais resiníferos e suas dimensões, especialmente a espessura de suas paredes. Apesar da complexidade da estrutura celular da madeira, ter o domínio de identifica-las pelo lenho é importante, visto que algumas espécies apresentam caracteres anatômicos distintos que a identificam, assim é necessário apenas que tais características sejam descritas para identifica-las (CALDERON, 2013).

Analisar as correlações existente entre a anatomia da madeira e as propriedades físico-mecânicas é muito importante, em termos de aproveitamento e qualidade da

madeira das diferentes espécies. Esse estudo pode servir para descrever e prever as propriedades de resistência das espécies e obter entendimento do comportamento da madeira (MOREIRA, 1999).

Na identificação anatômica da madeira são utilizadas duas técnicas distintas a macroscópica e a microscópica (COPANT, 1973). Na identificação macroscópica são observadas as propriedades organolépticas, tais como cor, brilho, odor, grã, textura, desenho, dureza, camadas de crescimento, tipos de parênquimas, visibilidade, tamanho e disponibilidade dos poros (vasos) e raios (FREITAS; VASCONCELLOS, 2010). Já nas análises microscópica são observadas as características particulares físico-morfológicas dos tecidos e das células constituintes do lenho como pontoações, ornamentações da parede celular, composição celular dos raios, dimensões celulares, presença de cristais e outros (FREITAS; VASCONCELLOS, 2010).

A escolha das madeiras para qualquer finalidade requer o conhecimento de suas propriedades organolépticas, tecnológicas, usinagem e disponibilidade comercial (LONGUI; LOMBARDI; ALVES, 2011).

4.3.1.3 Propriedades físicas

Em relação aos atributos físicos uma característica que deve ser considerada de suma importância para estudo é a umidade, pois a madeira é um material altamente higroscópica, retraindo-se e inchando de acordo com a umidade do ambiente (SILVA; OLIVEIRA, 2003), e por mais que a umidade da madeira não seja considerado uma característica intrínseca, o teor de umidade afeta drasticamente as propriedades mecânicas e a suscetibilidade à degradação da madeira (PELIZAN, 2004).

A densidade da madeira também é considerada um dos parâmetros mais importantes para análise física da madeira, visto que, determina a qualidade da madeira (SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1991). De acordo com (MELO; CORADIN; MENDES, 1990) a densidade está subdividida em três classes (Tabela 3).

Tabela 3: Classificação da madeira em relação a densidade.

CLASSES	DENSIDADE
$\leq 0,50 \text{ g/cm}^3$	Leve
0,51 a 0,72 g/cm^3	Media
$> 0,72 \text{ g/cm}^3$	Alta

Segundo Mady, (2000) a medida que o peso específico ou densidade aumenta, a

resistência mecânica e a durabilidade também aumenta, e diminuem a permeabilidade às soluções preservantes e a trabalhabilidade. Porém em um trabalho realizado por (SOUZA et al., 2009) observou que quanto maior a massa específica da madeira, maior será o valor de retratibilidade, e conseqüentemente mais difícil será a usinagem, colagem e aplicação de acabamentos nessa peça. Já madeiras com massa específica considerada como baixa acarreta dificuldades quanto a obtenção de superfícies lisas, pela ocorrência de um arranchamento das células destes tecidos frágeis, resultando numa superfície aveludada (BURGER; RICHTER, 1991).

A densidade básica é um importante parâmetro para avaliação da qualidade da madeira, sendo uma variável complexa, pois resulta da combinação de diversos fatores como dimensão das fibras, espessura da parede celular, volume dos vasos e parênquimas, proporção entre madeira do cerne e alburno e arranjo dos elementos anatômicos (FOELKEL; BRASIL; BARRICHELO, 1971).

Madeiras menos densas são mais porosas e permitem uma maior permeabilidade do adesivo, porém em geral são menos resistentes a esforços. Devido à melhor colagem do adesivo em madeiras menos densas, costuma-se utilizar espécies de densidade inferior a $0,7 \text{ g/cm}^3$ e superior a $0,35 \text{ g/cm}^3$, para não comprometer a resistência mecânica das estruturas (VITAL; MACIEL; DELLA LUCIA, 2006).

Outra propriedade que deve ser estudada nas características físicas da madeira está relacionada com a retratibilidade, pois é um fator limitante para as aplicações da madeira, por ser um material higroscópico e ter capacidade de retrain e liberar água da atmosfera nos seus diferentes sentidos de orientação. Esse fenômeno pode ser chamado de anisotropia e pode ocasionar defeitos na madeira como rachaduras (MELO et al., 2013). Ter o conhecimento do comportamento da instabilidade dimensional de cada espécie, é importante no processamento da madeira, para obter de peças com qualidade (DOWNES et al., 1997; CALIL JÚNIOR et al., 2013; SILVA, 2002). O Coeficiente de Anisotropia é: madeira excelente (1,2-1,5); madeira normal (1,5-2,0) e madeira ruim ($> 2,0$) (DURLO; MARCHIORI, 1992), segundo esses autores, o coeficiente de anisotropia indica a propensão da madeira à empenamentos e rachaduras e quanto mais próximo de 1, melhor será a estabilidade dimensional da madeira, indicando maior facilidade de a madeira secar

Fazer o estudo dessas variações das propriedades da madeira, é importante para conhecer o comportamento de cada espécie e assim entender as variações interna que

ocorre em cada madeira, possibilitando melhor uso tecnológico e homogeneizando lotes para sua comercialização (VALENTE et al., 2013).

4.3.1.4 Propriedade mecânica da madeira

O conhecimento das propriedades mecânicas da madeira é importante para indicar o quanto uma espécie pode resistir a um determinado tipo de esforço, que são avaliados por sua força e rigidez contra forças externas (DA SILVA LEITE et al., 2012). E o limite dessa resistência de cada espécie, está relacionado com a posição da madeira, umidade, o tempo de duração da carga e a estrutura anatômica da madeira (HASELEIN et al., 2002).

Segundo a ABNT, (1997), a compressão, flexão, tração, cisalhamento, fendilhamento e dureza, são os ensaios essenciais para determinar a propriedade mecânica da madeira, e selecionar produtos ou estabelecer funções para diferentes materiais.

Para determinação das propriedades mecânicas é necessário aplicar uma carga nas amostras com o intuito de flexioná-las, tensioná-las ou comprimi-las, dependendo do tipo de ensaio (ROSS, 2010), a partir daí pode se determinar a resistência e a rigidez da madeira. Porém pensando nas propriedades mecânicas da madeira em peças estruturais, vários fatores podem interferir em sua resistência, pois algumas peças de madeira serrada podem ser isentas de defeitos, outras com nós, inclinação de fibras, fendas, esmoado, áreas de decomposição entre outras características de redução da resistência (MORITANI, [s.d.]). Por esses motivos é importante que se faça uma classificação de peças estruturais da madeira, para garantir peças com qualidade e estabelecer classes de resistência (BODIG, J.; JAYNE, 1993).

Após fazer o estudo das propriedades mecânicas da madeira é possível fazer um enquadramento dos valores limites que representa a classe de resistência, e isso permite orientar a escolha do material para elaboração de um projeto estrutural (SALES; CALIL JUNIOR, 2013).

Utilizar a norma brasileira ABNT NBR 7190: 1997 para determinar a classe de resistência não é recomendado para peças estruturais, pois os ensaios são com amostras de pequenas dimensões e isentas de defeitos, e é necessário considerar o tamanho real da peça, a umidade e o efeito dos defeitos (BODIG, J.; JAYNE, 1993). Existe um novo projeto para determinação da classe de resistência pela norma brasileira PN 02:126 10-001-1: 2018, onde está propõe que a atribuição da classe de resistência visual e mecânica

seja feita para cada peça estrutural e não por um lote, tendo assim um maior controle de qualidade das amostras.

Na classificação visual é necessário observar a presença de nós e sua proporção, grã, rachaduras, empenamentos, encurvamento e etc., é importante que seja uma pessoa qualificada para analisar os defeitos da madeira, para olhar com cautela as faces de cada peça. Já na classificação mecânica segundo o novo projeto para implementação da norma brasileira PN 02:126 10-001-1: 2018, a classificação mecânica é realizada com a avaliação do módulo de elasticidade à flexão (MOE) e densidade da madeira, no qual o valor do MOE é obtido pelo ensaio de flexão estático ou ensaio dinâmico de precisão e acurácia comprovada em peças de dimensões estruturais.

Existe inúmeras normas que mostram as tabelas com classe de resistência, a tabela da PN 02:126 10-001-1: 2018 disponibiliza duas tabelas de classes de resistências, onde foram analisadas duas espécies para elaboração do quadro de classificação, sendo esta a espécie de *Pinus spp.* e do híbrido *Eucalyptus urograndis*.

Já a norma internacional ISO 16958: 2014 classificam as classes como coníferas (*Softwoods*) e folhosas (*Hardwoods*), como pode ser observado na Tabelas 4 e 5, e são observados somente os valores característicos, que devem ser agrupados na classe de resistências se eles forem iguais ou superiores aos valores estimados (MORITANI, [s.d.]).

Tabela 4: Classes de resistência para as espécies coníferas (softwood) (ISO 16598: 2014)

Propriedades	S10	S16	S20	S24	S28	S32	S36	S40
Flexão (MPa) Fm,k	10	16	20	24	28	32	36	40
Tração Paralela (MPa) Ft,0,k	5	8	11	13	15	17	19	21
Tração Perpendicular (MPa) Ft,90,k	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Compressão Paralela (MPa) Fc,0,k	13	17	19	21	22	22	23	24
Compressão Perpendicular (MPa) Fc,90,k	2	2,5	3	3,5	3,5	4	4,5	5
Cisalhamento Paralelo (MPa) Fv,k	1,5	2,5	2,5	3	3	3,5	3,5	3,5
MOE Médio Paralelo (GPa) E0,m	7	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5
Densidade (g/cm³) pap,m	0,33	0,36	0,39	0,41	0,44	0,46	0,49	0,51

Tabela 5: Classes de resistência para as espécies das espécies folhosas (hardwood) (ISO 16598: 2014).

Propriedades	H14	H18	H24	H30	H40	H50	H60	H70
Flexão (MPa) Fm,k	14	18	24	30	40	50	60	70
Tração Paralela (MPa) Ft,0,k	7	9	12	15	20	25	30	35
Tração Perpendicular (MPa) Ft,90,k	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compressão Paralela (MPa) Fc,0,k	16	18	21	22	24	28	35	41
Compressão Perpendicular (MPa) Fc,90,k	4	4,5	5,5	6,5	8	9,5	11	12,5
Cisalhamento Paralelo (MPa) Fv,k	2	2,5	3	3	3,5	4,5	5	6,5

MOE Médio Paralelo (GPa) E0,m	8	8,5	10	11	13	15	17	19
Densidade (g/cm ³) pap,m	0,46	0,48	0,55	0,6	0,69	0,78	0,87	0,96

4.4 Madeira Lamelada Colada

A madeira sempre teve uma boa aceitação na indústria, principalmente quando as relacionamos com a construção civil (TELES et al., 2010). Porém o emprego da madeira nesse ramo nem sempre é aplicado de forma satisfatória pela falta de conhecimento tecnológico agregada ao material, aumentando assim a pressão da exploração de poucas espécies florestais já conhecidas, contribuindo para uma exploração inadequada desses produtos madeireiros nas florestas tropicais (CALIL NETO et al., 2014).

Existe a necessidade de realizar pesquisas relacionadas com a parte tecnológica da madeira, devido à grande preocupação com o impacto ambiental e a sustentabilidade, juntamente com a necessidade de utilizar elementos estruturais de qualidade (CALIL NETO et al., 2014). Partindo dessa realidade, o cenário madeireiro está buscando projetos construtivos mais eficientes, exigindo mais conhecimento do uso da madeira principalmente se tratando classificação da madeira em classes de qualidade, no âmbito da construção civil (TELES et al., 2010).

Dentre as soluções alternativas para agregar valor tecnológico para espécies tropicais desconhecidas, destaca-se a Madeira Laminada Colada (MLC), podendo ser empregada sob as mais variadas formas estruturais, consistindo em um produto que requer precisão de fabricação em todos os seus estágios (CALIL NETO et al., 2014).

A Madeira Lamelada Colada é constituída por lamelas (tábuas) de dimensões relativamente reduzidas se comparadas às dimensões da peça final assim constituída. As peças de madeira são consolidadas por adesivos, que são coladas na seção transversal em camadas por uma determinada pressão, o uso de adesivo e pressão também é necessário nas emendas longitudinais empregadas para determinar as dimensões desejadas do comprimento das lâminas, adquirindo um aspecto de uma unidade estrutural (GROHMANN, 1998; TELES et al., 2010).

A Madeira Lamelada Coladas (MLC) também conhecida na literatura como *glued laminated timber* ou *glulam*, tem inúmeras vantagens, visto que, pode ser empregada em diversos tipos de construções, tendo destaque por possuir a possibilidade de atingir grandes vãos, um maior aproveitamento da tora, melhor adaptação às condições climáticas (GÓES; DIAS, 2002). Já Freas, (1949)(FREAS, 1949), aponta

como principais vantagens a capacidade de criar edificações com geometria não convencional, além de ser possível sua aplicação em ambientes internos para fins de decoração, podendo utilizar peças de madeira serrada com qualidade inferior sem o risco de ocasionar danos às condições finais de uso do elemento estrutural.

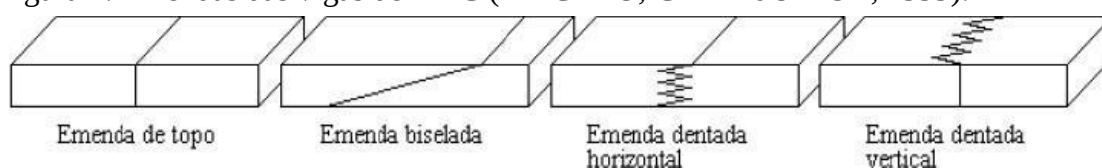
Jesus; O, (2000) também aponta como vantagem a redução considerável de rachaduras e outros defeitos, como os nós, típicos da madeira de grandes dimensões, e o mesmo autor afirma como principal desvantagem o custo da MLC, por ainda ser elevado, se comparado com o da madeira maciça uma vez que o processo de produção é industrializado e são empregados adesivos de alto custo, mão de obra especializada, além de técnicas e equipamentos especiais. Outro fator importante como desvantagem é o transporte das peças, que por possuírem dimensões especiais, por dificultar a sua locomoção (USDA, 1999).

4.4.1 Controle de qualidade das Vigas de Madeira Lameladas Coladas (MLC)

Com o objetivo de melhorar as características das propriedades físicas e mecânicas da MLC, é necessário seguir o processo de fabricação de forma coerente para ter um maior controle da qualidade do produto, e os processos a se seguir são:

- Classificação das lâminas; nessa etapa é necessário a classificação visual nas lamelas para seleciona-las em classes de qualidade, e agrupa-las de acordo com sua classe. As características das lamelas podem ser notadas e avaliadas pelo olho humano, como a presença de nós, grã, rachaduras etc. que são fatores que influenciam na qualidade das vigas, e devem ser controlados (CALIL NETO, 2011).
- Secagem e acondicionamento; é essencial para fabricação de vigas de madeira lameladas coladas, visto que, a umidade é fator limitante para a resistência mecânica da madeira (PELIZAN, 2004).
- União das emendas; na produção dos elementos estruturais de MLC, determinar os comprimentos das vigas é crucial e só podem ser realizados por emendas na parte longitudinal das tábuas como poder ser observado na figura 1, porém as emendas dentadas são as mais utilizadas por possuir maior resistência e rigidez desses elementos estruturais (CALIL JUNIOR, 2007).

Figura 1: Emendas das vigas de MLC (MACÊDO; CALIL JUNIOR, 1999).



Contudo há variações e limitações nos comprimentos das lamelas (tábuas), sendo comum ter grande número de emendas dentadas distribuídas no seu interior, estas emendas apresentam uma descontinuidade do material e consequentemente são regiões consideradas potencialmente fracas. Por isso é necessário ter um maior controle de qualidade durante a fabricação desse produto bem como o conhecimento de suas características como sua resistência e rigidez (CALIL JUNIOR, 2007).

- Aplicação do adesivo; a necessidade de manter as lamelas coladas não é uma tarefa fácil, pois as propriedades da madeira possuem um nítido efeito nas ligas adesivas, e as características intrínsecas das madeiras tropicais apresentam mais dificuldades para colagem (CALIL NETO, 2011). Na maioria dos casos as colas utilizadas estão entre caseína, resorcina ou ureia-formol, e mais recentemente a melamina, depende mais das condições de uso da estrutura do que do tipo da madeira considerada (MOLINA et al., 2016).

- Prensagem; a norma brasileira, (ABNT 7190, 2011) determina que a prensagem do elemento de MLC deve seguir as recomendações do fabricante da cola. Na ausência destas recomendações, a prensagem deve ser mantida por no mínimo 6 horas, em um ambiente com temperatura de 20°C e umidade relativa do ar de 65%. A prensagem a quente deverá ser baseada em relatório atestado por laboratório idôneo, atentando para o não surgimento de rachaduras.

A norma ainda acrescenta que caso o fabricante da cola não tenha uma recomendação específica com relação à pressão de colagem entre as lâminas adjacentes, deve-se aplicar uma pressão mínima de 0,7 MPa para madeira de densidade inferior a 0,50 g/cm³ e uma pressão não inferior a 1,2 MPa para madeira de densidade superior a 0,50 g/cm³.

- Teste de resistência da linha de cola; atualmente o controle de qualidade desses elementos estruturais é através da linha de cola. Vigas de MLC são resistentes quando a linha de cola não rompe, e a delaminação nas coníferas não devem apresentar mais do que 5% e nas folhosas não mais do que 8% de. As amostras para avaliação das emendas longitudinais devem ser preparadas utilizando os mesmos procedimentos de cura da produção (AITC A190.1, 2007).

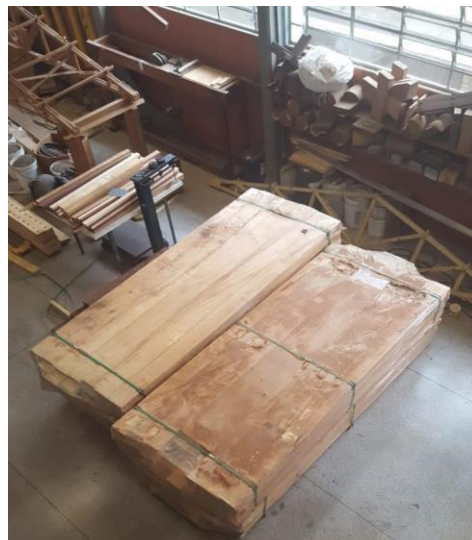
A adesão entre a madeira e o adesivo depende das características inerentes à própria madeira (anatômica, física e química), características do adesivo (químicas e físicas) e do processo adotado durante a colagem propriamente dita (ALBINO; MORI; MENDES, 2010).

5. Material e métodos

5.1 Características gerais

As espécies foram obtidas através do inventário florestal adotando como critério para seleção distribuição e frequência das espécies na área, considerando também suas propriedades tecnológicas e não comercialização destas espécies no setor madeireiro. Duas espécies foram selecionadas a espécie *Simarouba amara* Aulbl, e *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke, sendo obtidas 60 amostras orientadas no sentido tangencial e radial com dimensões de 4 cm de espessura, 12 cm de largura e 260 cm de comprimento. As peças estruturais foram fornecidas pelo Sindicato das Indústrias Madeireiras do norte do estado de Mato Grosso, nas quais haviam sido passadas pelo processo de secagem com teor de umidade de aproximadamente 12% pelo próprio Sindicato.

Figura 2: Lotes das espécies *Simarouba amara* Aulbl, e *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke.



Fonte: Calil, 2018

5.2 Classificação visual

As peças classificadas para composição das vigas foram analisadas visualmente por método não destrutivo considerando os seguintes defeitos, fissuras, encurvamento, encanoamento, arqueamento, torcimento, esmoado, nós e medula.

Após as análises feitas pela classificação visual, as amostras foram classificadas e divididas em grupos, onde vinte e quatro amostras foram separadas para os ensaios anatômicos, químicos, físico e mecânicos da madeira, e trinta e seis para elaboração de

vigas de madeira lamelada colada. Os parâmetros de classificação visual foram seguidos pelo projeto de norma da ABNT PN 02:126.10-0001-3: 2018 apresentada na Tabela 6.

Tabela 6: parâmetros para classificação visual para peças estruturais de pelo projeto de norma ABNT PN 02:126.10-0001-3: 2018

Defeito	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Medula		Não se admite	
Nós	1/5	1/3	1/2
Inclinação das fibras (mm.mm ⁻¹)	1:12	1:9	1:6
Fissuras não passantes (m)	O comprimento das fissuras não deve ser maior que 1,0 m e nem $\frac{1}{4}$ do comprimento da peça		
Fissuras passantes (m)	Somente se permitem as fissuras passantes nos extremos e o comprimento não deve ser maior do que a largura da peça		
Encurvamento./arqueamento (mm)	Menor que 8 mm para cada 1 m de comprimento		
Torcimento (mm/m)	Menor que 1 mm para cada 25 mm de comprimento		
Encanoamento(mm)	Sem restrições		
Esmoado (mm/mm)	Transversalmente menor que $\frac{1}{4}$ da espessura ou largura da peça Sem restrições para o comprimento		
Ataques biológicos	Não se admitem zonas atacadas por fungos causadores de podridão Admitem-sezonas atacadas por fungos cromógenos Admitem-se orifícios causados por insetos com diâmetro inferior a 2mm.		
Outros	Danos mecânicos, presença de bolsa de resina e outros defeitos se limitam por analogia com alguma característica similar		

5.3 Identificação científica das espécies coletadas

Esta etapa foi realizada no laboratório de Anatomia da Madeira – LAM do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA. Onde as espécies coletadas do inventário florestal foram identificadas para confirmação dos nomes científicos, e caracterizadas macroscopicamente analisando os poros, parênquima axial, raios, textura, grã, alburno/cerne e cor da madeira. Para análise macroscópica os corpos de provas foram orientados nas direções tangencial, radial e longitudinal nas dimensões 2 cm x 2 cm x 3 cm respectivamente demarcados e preparados (COPANT, 1973, 1974).
Figura 3: Demarcações feita nas amostras para retirar os corpos de provas orientados.



Fonte: Autoria própria.

As três seções dos corpos de provas foram cortadas com a navalha do micrótomo com uma espessura de 18 micrômetro (μm), para tornar o corpo de prova o mais plano possível. As análises das estruturas foram visualizadas utilizando o estereoscópio, com ocular e objetiva de 10x de aumento equipado com câmera digital, onde as imagens macroscópicas eram transmitidas para o computador que possuía um software de análise de imagens Pixel Pro, que permitiu tirar fotos das imagens para analisar com maior precisão nos resultados.

Figura 4: Micrótomo utilizado para cortar os corpos de provas com espessura de 18 micrômetro (μm).



Fonte: Autoria própria.

5.4 Caracterização Física da madeira

A determinação das propriedades físicas das madeiras foi realizada no laboratório de Engenharia de madeiras – LEAM do INPA, das espécies foram obtidos 15 corpo de provas devidamente orientados. Os ensaios foram realizados com base nas normas NBR 7190 (ABNT, 1997) e COPANT (1972b) que descreve os procedimentos necessários para obtenção de cada propriedade.

5.4.1 Determinação do teor de umidade

Para determinação do teor de umidade as amostras foram moídas e em seguida pesadas 1 grama de serragem na balança analítica e alocadas em um cadinho de vidro, os cadinhos com as amostras foram levados para uma estufa de $100^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, e pesadas de hora em hora até obtenção do peso seco constante. Para o cálculo do teor de umidade foi utilizado a seguinte equação 1.

(1)

$$TU (\%) = \frac{(PU - PS)}{PS} \times 100$$

Onde:

TU = Teor de Umidade;

PU = Peso Úmido;

PS = Peso Seco;

5.4.2 Estabilidade dimensional da madeira

Nas amostras definidas para determinação dos teste de propriedades foram realizados medições nas tangenciais, radial e longitudinal nos corpos de prova, nas condições saturado e seco em estufa, utilizando um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm. Para o cálculo utilizou-se as equações 2 e 3.

$$Rt = \frac{Dtsat - Dts}{Dtsat} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde:

Rt= retratibilidade tangencial (%);

Dtsat= dimensão na direção tangencial, na condição saturada (mm);

Dts= dimensão na direção tangencial, na condição seca (mm).

$$Rr = \frac{Drsat - Drs}{Drsat} \cdot 100 \quad (3)$$

Onde:

Rr= retratibilidade radial (%);

Drsat= dimensão na direção radial, na condição saturada (mm);

Drs= dimensão na direção radial, na condição seca (mm).

5.4.3 Coeficiente de anisotropia

O coeficiente de anisotropia foi calculado pela relação entre os movimentos lineares tangencial e radial, expresso na equação 4:

$$CA = \frac{Rt}{Rr} \quad (4)$$

Onde:

CA= coeficiente de anisotropia.

Rt= retratibilidade tangencial.

Rr= retratibilidade radial.

5.4.4 Densidade básica

Para determinação da densidade básica da madeira foram obtidos 15 corpos de provas nas dimensões 2 cm x 2 cm x 3 cm, onde foram imersos em água para obtenção da massa e do volume saturado, para analisar a massa e volume foi utilizado uma balança digital com precisão de 0,01g e um Becker com água.

O volume saturado foi obtido pelo método de imersão em água, posteriormente, os corpos de prova foram levados para estufa a uma temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$, até atingirem peso constante, para obtenção do peso seco. A densidade básica foi determinada com o uso da equação 5.

$$Db = \frac{Psec}{Vsat} \quad (5)$$

Onde:

Db = densidade básica (g/cm^3);

Psec = peso seco (g);

Vsat = volume saturado (cm^3).

Figura 5: Ensaio da densidade básica.



Fonte: Autoria própria.

5.5 Análise química da madeira

As análises químicas foram realizadas no laboratório de Química da madeira, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Foram realizados quatro tipos de experimento químico nesse estudo, extrativos, teor cinzas, sílica e análise do pH das madeiras das duas espécies.

5.5.1 Teor de cinzas

A análise do teor de cinzas seguiu a recomendações da norma ASTM D1102/2013, onde é necessário fazer três repetições com 1 grama de serragem da madeira em cada, e essas serragens foram alocados em cadinhos de porcelana. Foi utilizado uma balança analítica para fazer a pesagem das amostras e em seguida os cadinhos com as serragens foram alocadas em uma estufa de 100°C +/- 2°C até alcançar um peso seco constante.

Depois de atingido o peso seco constante, o material foi levado para mufla, com a temperatura controlada gradativamente em um intervalo de 100°C até alcançar uma temperatura ideal de 600°C. Após alcançar a temperatura desejada, o material permaneceu na mufla por mais 10 minutos e em seguida foi colocado no dessecador até esfriar, para poder serem pesados na balança analítica, e esse mesmo procedimento ocorre até peso constante das cinzas, para só então seja determinado o Teor de Cinza para madeira em estudo pela seguinte equação 6.

(6)

$$Tcz = \frac{P_{sec\ cz} - P_{cad}}{P_{sec} - P_{cad}} \cdot 100$$

Onde:

Tcz: Teor de cinzas;

P sec cz: Peso seco da cinza;

P cad: Peso do cadinho;

P sec: Peso seco da amostra.

Figura 6: Cadinhos de porcelanas alocados na mufla.



Fonte: Autoria própria.

5.5.2 Teor de extrativos

As normas utilizadas para determinação dos extrativos foram ASTM D1105/2013; D1107/2013. Utilizou-se 3 gramas de serragem devidamente pesadas em uma balança analítica, e foram alocadas em um papel de celulose. O próximo passo foi prepara as soluções de Etanol – Hexano (1:2), onde foi colocado 180 ml dessa solução em um balão de fundo chato (300 ml) que foram alocados no extrator Soxhle, como é possível analisar na Figura 7, nesse extrator foi onde ocorreu o processo de refluxo para extração dos extrativos das amostras.

Figura 7: Balões de fundo chatos com as soluções de Etanol – Hexano (1:2), alocados no Extrator Soxhle, e os papéis de celulose com as amostras da madeira.



Fonte: Autoria própria.

Após encerrar o refluxo completo da extração de 8 horas, os extrativos conservados nos balões foram levados para secar na estufa (100 °C +/-2 °C), e pesados até alcançar peso constante (Figura 8).

Figura 8: Balões com os extrativos extraídos em de Etanol – Hexano (1:2).



Fonte: Autoria própria

Após a extração e pesagens das amostras extraídas pela solução Etanol – Hexano (1:2), o mesmo procedimento foi realizado utilizando as mesmas amostras, porém com

solução apenas de Etanol, e as análises dos dados foi determinado pela seguinte Equação 7.

Figura 9: Balões com os extrativos extraídos em Etanol.



Fonte: Autoria própria

$$TE(\%) = \frac{Pf - Pi}{Ps} \cdot 100 \quad (7)$$

Onde:

TE (%): Porcentagem do Teor de extrativos;

Pf: Peso do balão final com extrativos;

Pi: Peso do balão inicial com extrativos;

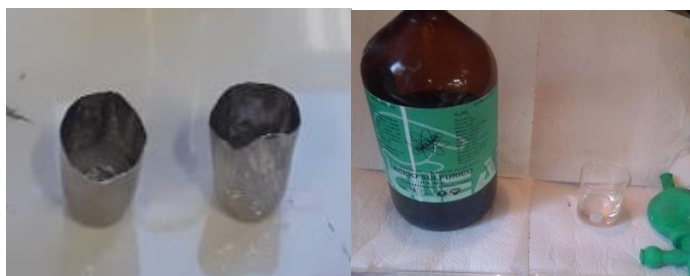
Ps: Peso seco da amostra.

5.5.3 Teor de sílica

A norma ASTM D1102/2013 foi utilizada para fazer a análise das sílicas, o primeiro passo para esse procedimento foi pesar 1 grama de serragens na balança analítica e aloca-las em um cadinho de platina, onde foram realizadas 2 repetições. Em seguida foi realizado o peso seco das amostras onde foram levadas para estufa e pesadas de hora em hora até obter o peso seco constante.

Após alcançar o peso seco, as amostras foram queimadas para virar cinza em uma mufla com uma temperatura de até 600°C, onde as cinzas foram pesadas até peso constante. Feito isso, o próximo passo foi fazer uma solução de água destilada e ácido sulfúrico (1:1) acrescentando uma gota dessa solução nas cinzas, acoplando-as em uma chapa aquecedora de laboratório para deixar evaporar a solução até não ter mais substancia e nem saída de fumaça.

Figura 10: Cadinhos de platinas, solução de água destilada e ácido sulfúrico (1:1).



Fonte: Autoria própria

O próximo passo foi levar os cadinhos de platinas para a mufla com uma temperatura de 850°C por 10 minutos, alocar os cadinhos no dessecador até esfriar, pesar na balança analítica e repetir o mesmo procedimento até peso constante. Ao atingir peso constante a próxima etapa foi colocar nas amostras 0,5 ml de ácido sulfúrico e 0,5 ml de ácido fluorídrico e deixar evaporar em uma chapa aquecedora de laboratório e repetir o mesmo procedimento anterior. Para análise da porcentagem do teor de cinzas foi usada as seguintes equações 8 e 9.

Figura 11: Cadinhos na mufla em uma temperatura de 850°C, e cadinhos com resíduos de sílicas no recipiente



Fonte: Autoria própria

$$P_{am} = P_{cad} - P_{cad\ sil} \quad (8)$$

Onde:

P_{am}: Peso da amostra;

P_{cad}: Peso do cadinho;

P_{cad sil}: Peso do cadinho com sílica.

$$Teor\ sil(\%) = \frac{P_{am1} - P_{m2}}{P_{sec}} \quad (9)$$

Onde:

Teor sil (%): Teor de sílica

Pam1: Peso da amostra 1;

Pam2: Peso da amostra 2;

Psec: Peso seco da amostra.

5.5.4 Análise do pH

A extração do pH foi utilizada 2 gramas de serragens, para serem extraídas em água destilada (100 ml) em banho maria (100°C) por 1 hora, posteriormente o material foi reservado até alcançar a temperatura ambiente. Após isso o material foi filtrado e transferido para um béquero com um filtro de papel.

A primeira leitura do pH foi realizada através do equipamento BEL W3B PH METER, e a outra leitura foi realizada depois de 24 horas (TAPPI-T252 om/2016).

5.6 Propriedades mecânicas

Os ensaios do desempenho mecânicos dos corpos de prova, foram realizados no Laboratório de Madeira e Estrutura de Madeira - LaMEM, do Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), localizado na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP).

Para a realização dos ensaios mecânicos foi utilizado o projeto de norma ABNT PN 02:126.10-0001-3: 2018, que se baseia na norma internacional ISO 13910: 2014, onde os ensaios realizados consistem em: ensaios de flexão estática a quatro pontos, tração paralela e normal às fibras, compressão paralela e normal às fibras e resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

5.6.1 Ensaio de flexão estática

Para a determinação do ensaio de flexão estática foi realizado em quatro pontos, e a partir deste ensaio foi analisado o Módulo de elasticidade à flexão (MOE) e o Módulo de ruptura à flexão (MOR) de peças estruturais, e para essa análise é necessário inserir dois pontos de apoio com espaçamento de $18h$ e dois pontos de carga de $F/2$ igualmente espaçados, como podem ser observadas nas Figura 12 e Figura 13.

Figura 12: Esquema do ensaio de Flexão estática em quatro pontos.

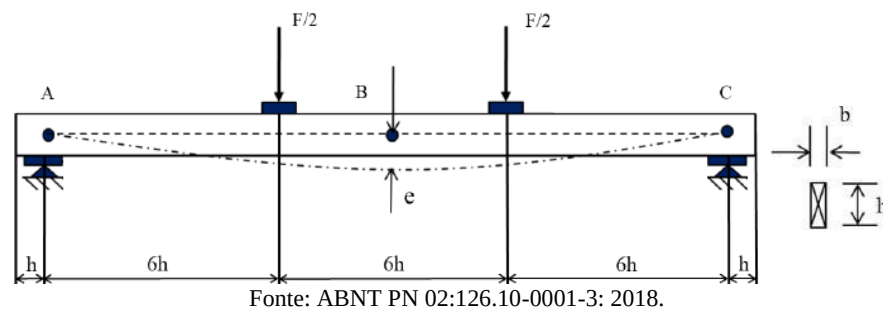


Figura 13: Ensaio de Flexão estática em quatro pontos.



Fonte: Autoria própria.

Para realizar a análise do deslocamento, é necessário obter um pórtico de reação, um cilindro hidráulico e o anel dinamômetro acoplado para a aplicação da carga e o relógio comparador para a leitura dos deslocamentos. Instalou-se dois conjuntos de contraventamentos distribuídos ao longo do vão da peça, a fim de evitar que a peça perca a estabilidade.

O módulo de elasticidade à flexão (MOE), foi determinado com a medição dos incrementos de deslocamentos verticais (Δe), no ponto central localizado em B da Figura 8 e na superfície inferior da viga com incrementos de cargas predeterminados (ΔF), até que a flecha atingisse o valor de $L/300$, pois esse valor garante que o material ainda se encontre no regime elástico-linear. Assim, o MOE foi obtido pela equação (10):

$$MOE = \frac{23}{108} \cdot \left(\frac{L}{h}\right)^3 \cdot \frac{\Delta F}{\Delta e} \cdot \frac{1}{b} \quad (10)$$

Onde:

L (mm): vão livre entre os apoios igual a $18h$;

h (mm): altura da seção transversal;

ΔF (N): incremento de carga;

Δe (mm): incremento de deslocamento;

b (mm): largura da seção transversal.

Após alcançar o limite $L/300$, o relógio comparador (Figura 14) foi retirado e a carga foi aplicada gradativamente até que ocorresse a ruptura da peça. Assim, o MOR foi obtido pela equação (11):

Figura 14: Relógio comparador.



Fonte: Autoria própria.

$$MOR = \frac{Fult \cdot L}{b \cdot h^2} \quad (11)$$

Onde:

MOR (MPa): módulo de ruptura à flexão;

$Fult$ (N): carga de ruptura;

L (mm): vão livre entre os apoios igual a $18h$;

h (mm): altura da seção transversal;

b (mm): largura da seção transversal.

5.6.2 Ensaio de compressão paralela às fibras

Para esse ensaio foram obtidos dois corpos de prova das todas as peças possíveis de serem utilizadas com um comprimento $6b$. O corpo de prova foi submetido a compressão paralela às fibras até a sua ruptura na máquina universal de ensaios AMSLER, com capacidade de 25000 kgf (Figura 15), e para determinação da compressão paralela as fibras foi utilizada a seguinte equação (12).

Figura 15: Ensaio de compressão paralela



Fonte: Autoria própria.

$$f_{c,0} = \frac{F_{ult}}{b \cdot h} \quad (12)$$

Onde:

f_{c0} (MPa): resistência a compressão paralela às fibras;

F_{ult} (N): carga de ruptura;

h (mm): altura da seção transversal;

b (mm): largura da seção transversal.

5.6.3 Ensaio de compressão perpendicular às fibras

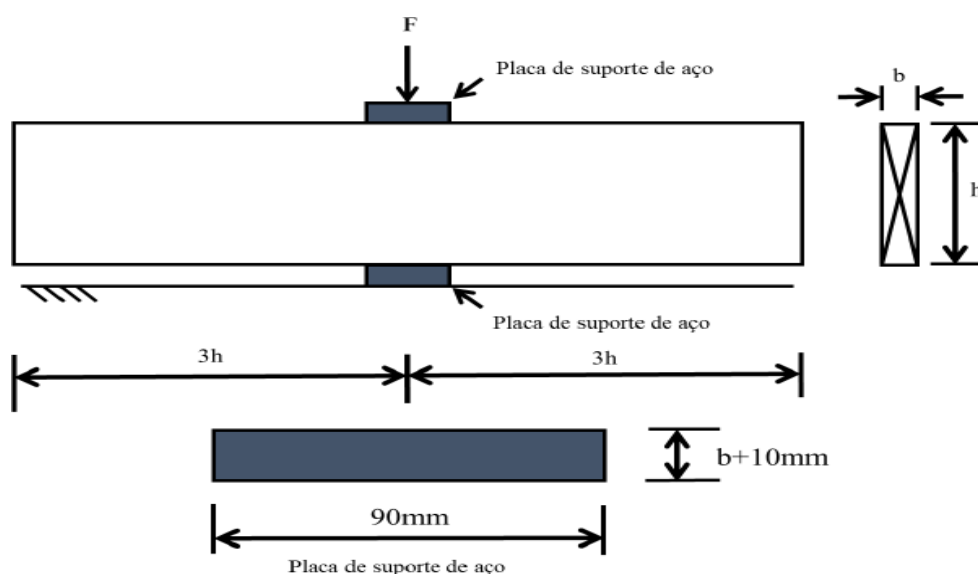
Para análise da resistência à compressão perpendicular, foram obtidos corpos de prova de um determinado número de peças, visto que, as vezes as peças estruturais rompiam de tal forma na análise de flexão que não era possível extrair amostras para compressão perpendicular de cada peça.

Os corpos de prova adquiridas para compressão perpendicular tinham um comprimento igual a $6h$. E para prática dos ensaios foram utilizadas duas de placas de

aço com dimensões de 90mm de comprimento por $b + 10$ mm de altura posicionados nos apoios de aplicação da carga. Aplicando a carga F no centro da placa superior.

Utilizou-se um par de transdutores de deslocamento, um em cada lado do corpo de prova, e uma célula de carga para obter valores de carga e deslocamento, como mostrado na Figura 16, e pela geometria dos corpos de prova, foi importante utilizar dispositivos de contraventamento para evitar a instabilidade lateral do corpo de prova. (Figura 17). O corpo de prova foi carregado até que atingisse a ruptura ou o deslocamento máximo de $0,1h$ mm, e a resistência foi calculada pela equação 13.

Figura 16: Esquema de ensaio para a determinação da resistência à compressão e rigidez normal às fibras.



Fonte: ABNT PN 02:126.10-0001-3: 2018.

Figura 17: Ensaio para a determinação da resistência à compressão e rigidez normal às fibras.



Fonte: Autoria própria.

$$f_{c, 90} = \frac{F_{ult}}{90 \cdot b} \quad \text{ou} \quad f_{c, 90} = \frac{F_{0, 1h}}{90 \cdot b} \quad (13)$$

Onde:

f_{c90} (MPa): resistência a compressão normal às fibras;

F_{ult} (N): carga de ruptura;

$F_{0,1h}$ (N): carga correspondente a um deslocamento de 0,1h mm;

b (mm): largura da seção transversal.

5.6.4 Ensaio de tração paralela às fibras

O ensaio de tração paralela às fibras foi realizado em seis corpos de prova, na máquina de tração Metriguard 422 *Tension Proof Testers*, esse equipamento possui garras que pressiona as extremidades do corpo de prova, para que seja possível realizar a tração até a sua ruptura.

Figura 18: Ensaio de tração paralela às fibras



Fonte: Autoria própria.

A resistência a tração paralela às fibras foi obtida pela Equação (14):

$$f_{t,0} = \frac{F_{ult}}{b \cdot h} \quad (14)$$

Onde:

$f_{t,0}$ (MPa): resistência a tração paralela às fibras;

F_{ult} (N): carga de ruptura;

h (mm): altura da seção transversal;

b (mm): largura da seção transversal.

5.6.5 Ensaio de tração perpendicular às fibras

Para análise desse ensaio foram extraídos dois corpos de prova de cada peça, em uma dimensão de L_h igual a $h/3$. O ensaio foi realizado na máquina de ensaios da marca EMIC com capacidade de 30kN. A carga foi aplicada no ponto central e aumentada

gradativamente até a sua ruptura. A resistência à tração perpendicular às fibras foi determinada pela equação (15).

$$f_{t, 90} = \left(\frac{3,75 \cdot F_{ult}}{b \cdot h} \right) \cdot \left(\frac{0,03 \cdot b \cdot Lh^2}{800^3} \right)$$

Onde:

$f_{t,90}$ (MPa): resistência a tração normal às fibras;

F_{ult} (N): carga de ruptura, h (m): comprimento do corpo de prova;

b (mm): largura da seção transversal do corpo de prova;

Lh (mm): altura da seção transversal do corpo de prova;

Figura 19: Ensaio de tração perpendicular às fibras



Fonte: Autoria própria.

5.6.6 Ensaio de cisalhamento paralelo às fibras

Para determinação do cisalhamento paralelo às fibras foram necessárias três placas de aço com dimensões de 120 mm de comprimento e 20 mm de altura, posicionadas nos apoios e no ponto de aplicação da carga, com a carga aplicada até a ruptura. Os corpos de prova tinham um o comprimento igual a $7h$, a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras f_v (MPa) foi calculada pela equação (16):

$$f_{v, 0} = \frac{0,75 \cdot F_{ult}}{b \cdot h} \quad (16)$$

Onde:

f_v (MPa): resistência ao cisalhamento paralela às fibras;

F_{ult} (N): carga de ruptura;

h (mm): altura da seção transversal;

b (mm): largura da seção transversal.

Figura 20: Ensaio de cisalhamento paralelo às fibras



Fonte: Autoria própria.

5.7 Elaboração de vigas de Madeira Lamelada Colada

Após a classificação visual vinte e quatro lamelas foram separadas para os ensaios mecânicos, e trinta e seis para a elaboração de vigas de MLC. Foram utilizados dois tipos de adesivos, o adesivo Jowapur® a base de poliuretano, e o adesivo Cascophen® a base de fenol resorcinol, cada viga possuía três lamelas coladas com as fibras paralelas entre si, sendo elaboradas três vigas por adesivo para cada espécie, totalizando doze vigas ao todo nesse estudo.

Figura 21: Aplicação dos adesivos poliuretano e fenol resorcinol.



Fonte: Autoria própria

De acordo com manual técnico os adesivos Jowapur® e Cascophen® são resinas destinadas a fabricação de peças estruturais de madeira laminada colada e de emendas dentadas. Para os dois adesivos é recomendado que a aplicação seja feita a temperatura ambiente e a madeira deve estar a 12% de umidade para fornecer ligações mais fortes, com o tempo máximo de aplicação do adesivo na madeira de 35 minutos. A gramatura e a pressão de colagem foram iguais para os dois adesivos como pode ser observado na Tabela 6.

As vigas depois de coladas ficaram por uma semana na pressão (FIGURA 22), antes de passar por qualquer beneficiamento ou ensaio, para que ocorresse a completa cura do adesivo. Após este período, a viga foi ensaiada na flexão estática e retirados corpos de prova para ensaio de delaminação, cisalhamento na linha de cola da mesma peça ensaiada.

Tabela 7: Tipos de adesivos, gramaturas e pressões de colagem.

Adesivos	Gramaturas (g.m ²)	Pressões (MPa)
Jowapur®	450	1,0
Cascophen®	450	1,0

Figura 22: Prensa utilizada nas vigas de Madeira Lamelada colada.



Fonte: Autoria própria

5.7.1 Ensaio de flexão estática nas vigas de MLC

A norma utilizada para esse ensaio foi da ABNT NBR ISO PN 02:126.10-001-3, na qual prescreve que os corpos de prova do ensaio de flexão e igual dos estruturais, ou seja, a flexão estática das vigas e feita em quatro pontos para determinar do Módulo de elasticidade e do Módulo de ruptura que são obtidos pelas equações 10 e 11. A Figura 23 demonstra a ruptura do corpo de prova após ensaio de flexão em viga de MLC da espécie *Simarouba amara*.

Figura 23: Ruptura do corpo de prova no ensaio de flexão em viga de MLC.



Fonte: Icimoto, (2019)

5.7.2 Ensaio do cisalhamento paralelo a linha de cola

A norma utilizada para esse ensaio foi da ABNT NBR PN 02:126.10-0001-5, para esse ensaio a força do cisalhamento é aplicado na linha de cola com às fibras paralelas entre si, e as dimensões da seção transversal dos corpos de provas foram medidas com auxílio de um paquímetro.

Esse ensaio foi realizado em máquina universal (FIGURA 24), onde a aplicação de carga é feita durante um período superior a 20 segundos, até que ocorresse a ruptura do material. A leitura de cada ruptura foi feita através de um software de computador, desenvolvido no LaMEM, que captava as forças aplicadas na célula de carga durante todo o procedimento a uma taxa aproximada de 10 MPa/min, e foi feito uma análise visual para verificar a porcentagem de falha ocorrida na madeira. A resistência ao cisalhamento foi calculada pela Equação 17.

Figura 24: Máquina universal para o ensaio de cisalhamento da linha de cola



Fonte: Autoria própria

$$f_{v0} = \frac{F_{v0, \text{máx}}}{b \cdot t} \quad (17)$$

Onde:

F_{v0}: resistência de cisalhamento na linha de cola paralela às fibras da madeira, em MPa;

F_{v0, máx}: força máxima de cisalhamento na linha de cola paralela às fibras da madeira em N.

b: largura da amostra, em mm, e t: altura da amostra, em mm.

5.7.3 Ensaio de delaminação

Para esse ensaio a norma utilizada também foi da ABNT NBR PN 02:126.10-0001-5, esse ensaio consiste em alocar as amostras em uma autoclave para aplicar o ciclo de vácuo-pressão sobre imersão em água, onde as amostras foram submergidas em água a uma temperatura de 20°C e, primeiramente, foi aplicado um vácuo de 75 kPa durante 30 minutos, em seguida, os corpos de prova ficaram submetidos por duas horas a uma pressão de 550 kPa. Após o ciclo de vácuo-pressão, as amostras ficaram em estufas por 12 horas a uma temperatura de 75 °C.

O propósito dessa análise foi determinar o comprimento de abertura das lamelas dos corpos de prova na seção transversal, para avaliar a qualidade da colagem dos três corpos de provas. A porcentagem da delaminação total de cada corpo de prova foi obtido pela Equação 18. A delaminação máxima permitida na amostra após a realização do ensaio é de apenas 4% para as coníferas e 6% para as folhosas.

$$Dt = \frac{La}{Lt} \cdot 100 \quad (18)$$

Onde:

Dt: delaminação total, em %;

La: somatório do comprimento da abertura de todas as linhas de cola das faces da seção transversal, em mm;

Lt: comprimento total de todas as linhas de colas das faces da seção transversal.

5.8 Análises estatísticas

Os dados obtidos nas propriedades físicas, químicas, mecânicas e das vigas de MLC foram analisados por meios da estatística descritivas (médias, o desvio padrão,

coeficiente de variação e valores máximos e mínimos). Outra análise realizada foi a correlação de Person para verificar a relação de alguns ensaios físicos e mecânicos.

5.8 Análises estatísticas

Os dados obtidos nas propriedades físicas, químicas, mecânicas e das vigas de MLC foram analisados por meios da estatística descritivas (médias, o desvio padrão, coeficiente de variação e valores máximos e mínimos). Outra análise realizada foi a correlação de Person para verificar a relação de alguns ensaios físicos e mecânicos.

5.8.1 Determinação do valor característico

Foram determinadas com base nas normas europeia (UNE-EN 14358: 2016), e brasileira (ABNT NBR 7190: 1997).

UNE-EN 14358: 2016

A norma UNE-EN 14358:2016 é uma norma europeia de origem espanhola, e o valor característico (mk) de um parâmetro de resistência do material ou de uma resistência m dada em forma de variável aleatória, se define como o percentil de ordem p (5%) em uma função de distribuição de m , correspondente a uma série de ensaios supostamente infinita.

Considerando os dados desse estudo com um parâmetro de resistência tenha uma distribuição normal, do valor médio $\bar{y}$ e o desvio padrão S_y , foram determinados pelas seguintes equações (19) e (20), respectivamente:

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i \\ s_y &= \max \left\{ \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (m_i - \bar{y})^2}, 0,05 \right\} \end{aligned} \quad (19)$$

Onde:

$\bar{y}$: valor médio da amostra;

n : número de valores obtidos experimentalmente;

m_i : valor individual do ensaio i da variável aleatória m ;

S_y : valor do desvio padrão

O valor característico da amostra para o percentil de 5% com distribuição normal foi estimado pela equação (20):

$$mk = \bar{y} - ks(n)s_y \quad (20)$$

Onde:

mk : valor correspondente ao percentil de 5% da variável aleatória m ;

$\bar{y}$: valor médio da amostra;

$ks(n)$: coeficiente utilizado para calcular os valores característicos das propriedades ensaiadas, sendo n o número de valores obtidos experimentalmente;

S_y : valor do desvio padrão.

O valor de $ks(n)$ foi obtido pela equação (21):

$$ks(n) = \frac{6,5n + 6}{3,7n - 3} \quad (21)$$

Onde:

n : número de valores obtidos experimentalmente.

ABNT NBR 7190: 1997

Para a caracterização completa da resistência da madeira serrada, a norma brasileira ABNT NBR 7190: 1997 recomenda uma amostragem mínima de 12 corpos-de-prova e 6 corpos-de-prova para a caracterização simplificada. Os valores característicos das propriedades da madeira devem ser estimados pela equação (22):

$$x_{wk} = \left(2 \cdot \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2} - 1} - x_{\frac{n}{2}} \right) \cdot 1,1 \quad (22)$$

Onde os resultados das resistências obtidas experimentalmente devem colocados em ordem crescente ($x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$), desprezando o valor mais alto se o número de corpos-de-prova for ímpar. O valor de x_{wk} não deve ser menor do que o menor valor da amostra (x_1) e nem inferior a 0,7 do valor médio.

6. Resultados e Discussão

6.1 Caracterização macroscópica

A caracterização anatômica das espécies *Simarouba amara* Aubl. e *Schizolobium amazonicum* (Huber) Duck. estão apresentadas em fichas com as informações do nome comercial, nome científico, família, fotografia macroscópica da madeira, características gerais e descrição macroscópica.

Nome científico: *Simarouba amara* Aubl

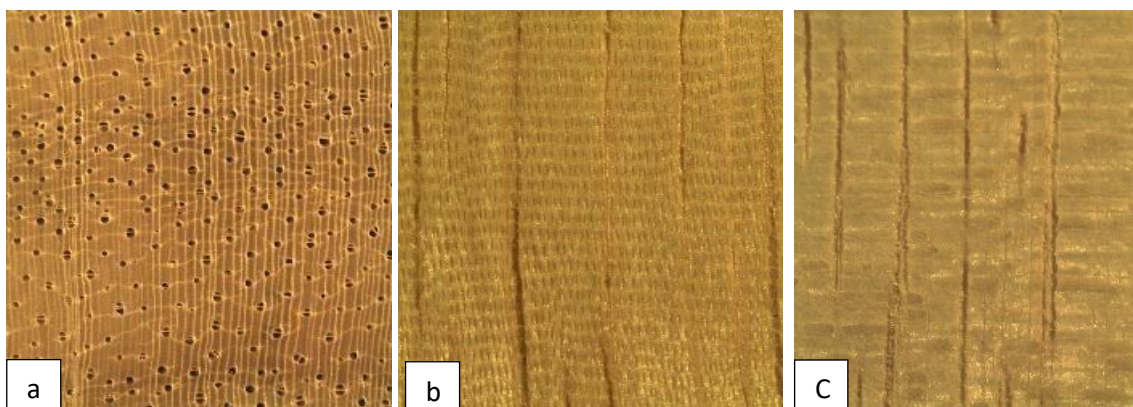
Nome vulgar: Marupá, Caixeta;

Família: Simaroubaceae;

Características gerais: Possui madeira leve; macia ao corte manual; cerne e albúrneo indistinto com coloração branco amarelado; textura média; grã direita; cheiro indistinto; superfície lisa ao tato.

Descrição macroscópica: *Poros* visível a olho nu; diâmetro médios a grande; distribuição difusa predominantemente solitários e múltiplos; com seção transversal oval; placa de perfuração simples. *Parênquima axial* visível a olho nu, pouco abundante, dos tipos paratraqueal aliforme e confluyente. *Raios* visíveis sob lente de 10x, visível a olho nu no plano transversal, visível sob lente 10x sem dificuldade, no plano tangencial; pouco; finos; estratificado, ocorrendo duas listras por milímetros, pouco contrastado na face radial. *Camadas de crescimento*, pouco distinta (LOUREIRO; DA SILVA, 1968).

Figura 25: Imagens macroscópica das três seções da espécie *Simarouba amara* Aubl. com lente 10x de aumento. a) Plano transversal; b) Plano tangencial; c) Plano Radial.



Fonte: Autoria própria

Nome científico: *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke.;

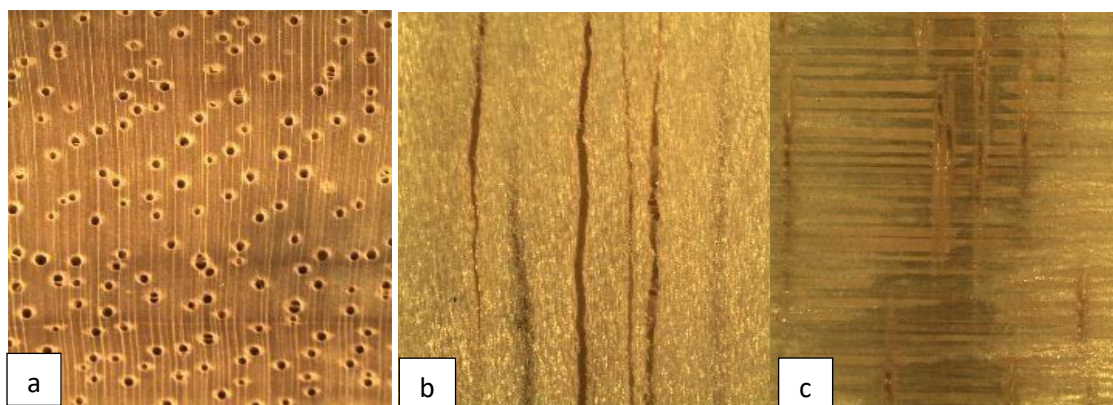
Nome vulgar: Paricá, Paricarana;

Família: Fabaceae

Características gerais: Possui madeira leve; cerne creme avermelhada e alburno creme-claro e são distintos; textura grossa; grã direita e irregular; brilho fraco; cheiro indistinto.

Descrição macroscópica: *Poros* visíveis a olho nu, pouco numerosos, pequenos a grandes, solitários predominantes, múltiplos de 2-3, ocasionalmente 4, e a maioria são vazios. *Parênquima axial* visível a olho nu, paratraqueal vasicêntrico, aliforme simples de aletas curtas, confluentes e em finas linhas concêntricas, afastadas. *Raios* no topo são visível sob lente, finos e irregularmente espaçados; na face tangencial são baixos e irregularmente distribuídos; na radial são contrastados. *Camadas de crescimento*, pouco evidenciada, possivelmente associada a linhas finas do parênquima marginal (LOUREIRO; et al., 2000).

Figura 26: Imagens macroscópica das três seções da espécie *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke.com lente 10x de aumento. a) Plano transversal; b) Plano tangencial; c) Plano Radial.



Fonte: Autoria própria

Na descrição anatômica da espécie *S. amara* os poros foram considerados de grandes a médios, enquanto da espécie *S. amazonicum* os elementos de vasos pequenos a grande. Porém quando analisamos as imagens macroscópica dessas espécies (FIGURA 25 e 26) nota-se que a espécie *S. amara* possui elementos de vasos menores do que a espécie *S. amazonicum*, que possuem maiores diâmetros dos poros. Em contrapartida quando analisamos as proporções desses elementos de vasos, observa-se que a espécie *S. amara* possui uma proporção maior de poros que a espécie *S.*

amazonicum, indicando que ambas as espécies podem ter uma boa aderência na linha de cola, por ter boa impregnação.

Outra característica anatômica que deve ser observado para elaboração de vigas de MLC está relacionado com a presença de tilos nos poros, essa característica pode interferir na adesão e permeabilidade do adesivo por preencher espaços vazios, impedindo a impregnação da linha de cola. A partir disso nota-se nas figuras 25 e 26 que as espécies não possuem tilos. Em um trabalho realizado por Zangiácomo; lahr, (2007), observou que os números pequenos dos elementos de vasos e a obstrução praticamente sistemática provocada pelos tilos prejudicou a permeabilidade das espécie, em linhas gerais, limitaram grandemente seu emprego para a confecção de elementos estruturais de madeira laminada colada, com os adesivos.

6.2 Propriedades físicas

Na Tabela 8 estão apresentados os valores da densidade básica, retratibilidade e coeficiente de anisotropia das espécies.

Tabela 8: Valores médios da densidade básica, das retratibilidades e do coeficiente de anisotropia no sentido longitudinal.

<i>Simarouba amara</i>					<i>Schizolobium amazonicum</i>				
	Db (g/cm ³)	Rt (%)	Rr (%)	CA		Db (g/cm ³)	Rt (%)	Rr (%)	CA
Média	0,4021	5,80	3,73	1,60	Média	0,3712	5,17	3,84	1,79
Desvio padrão	0,0475	0,60	0,46	0,33	Desvio padrão	0,0444	1,20	1,40	1,49
Coef. Variação	0,1181	0,10	0,12	0,21	Coef. Variação	0,1195	0,23	0,36	0,83
Máximo	0,5716	6,78	4,72	2,14	Máximo	0,4452	7,22	5,83	6,53
Mínimo	0,3700	4,85	2,86	1,05	Mínimo	0,3043	3,17	1,07	0,74

Db: Densidade básica; Rt: Retratabilidade Tangencial; Rr: Retratabilidade Radial; CA: Coeficiente de Anisotropia.

É possível observar que a espécie *S. amara* obteve uma média da densidade básica em torno de 0,40g/cm³, já a *Schizolobium amazonicum* teve uma média de 0,37g/cm³, com um desvio de 0,04 e um coeficiente de variação de 0,12 para ambas as espécies.

Após fazer uma análise dos resultados anteriores, é possível verificar que as espécies em estudo são classificadas como leves de acordo com a literatura, visto que, o valor da densidade básica é menor que 0,50 g/cm³ (MELO; CORADIN; MENDES,

1990). Resultados diferentes com essa mesma espécie foram obtidos por Costa, (2017); Ribeiro et al., (2018b); INPA/CPPF, (1991) com densidade 0,34; 0,40; 0,35 g/cm³ respectivamente.

Resultados semelhantes foram observados em estudo realizado com a espécie *S. amazonicum* por Cavalheiro et al., (2016), na qual obteve densidade 0,29g/cm³ sendo inferior com os dados obtidos nesse estudo de 0,37g/cm³, porém ainda assim a densidade dessa espécie continua sendo considerada como leve, pois há uma alta proporção de espaços vazios ocupados pelos vasos e parênquimas.

Madeiras muito leves não são indicadas para elaboração de vigas MLC, pois possuem uma resistência inferior. Macedo; Calil junior, (1999) considera variação da densidade no intervalo de 0,5 a 0,75 g/cm³ ideal para elaboração de vigas, porém Hideyoshi Icimoto et al., (2016) determinou que a densidade aparente (12%) não foi um fator crucial para responder a qualidade de vigas MLC, assim como os autores como Zangiácomo; lahr, (2007).

Apesar de Kollmann; Cote, (1968) afirmar que a densidade é uma das principais propriedades tecnológicas para avaliação da qualidade da madeira para definir o melhor uso, desde que considere outras variáveis como anatomia e química.

A densidade está relacionada com a permeabilidade dos adesivos das vigas de MLC, quanto menor a densidade mais espaços vazios para receber adesivos, maior permeabilidade e maior a ligação interfacial formada entre o adesivo e a madeira (HUNT; GARRAT, 1962; MARRA, 1992). Muitas das vezes as espécies possuem uma densidade considerada como ideal para confecção de vigas, mas de alguma forma ela acaba tendo um resultado negativo, pelo fato que existem inúmeras propriedades tecnológicas que podem interferir na elaboração das vigas, e as propriedades anatômicas são uma dessas (VITAL; MACIEL; DELLA LUCIA, 2006).

Analisando as retratibilidades das espécies é possível observar que foram bem próximas, contudo a retração tangencial da *Simarouba amara* foi maior que a outra espécie, porém a retração radial da espécie *S. amazonicum* foi maior do que a *S. amara*, assim como seu desvio padrão e coeficiente médio de anisotropia de 1,79% para *Schizolobium amazonicum* e 1,60% para *Simarouba amara*.

Quanto a retratibilidade das madeiras, é importante ressaltar que através da relação das contrações tangencial com a radial se determina o Coeficiente de Anisotropia, para obter conhecimento de como será o comportamento da madeira em relação a usinagem e secagem, considerando que para elaboração de vigas MLC não

pode haver grandes defeitos. Durlo; Marchiori, (1992) adotou-se o critério de avaliação para classificar o Coeficiente de Anisotropia: madeira excelente (1,2-1,5); madeira normal (1,5-2,0) e madeira ruim ($> 2,0$). Segundo esses autores, o coeficiente de anisotropia indica a propensão da madeira à empenamentos e rachaduras, e quanto mais próximo de 1, melhor será a estabilidade dimensional da madeira.

De acordo com os parâmetros anteriores essas espécies são consideradas como madeira normal, pois o CA da *Simarouba amara* 1,60 e da *Schizolobium amazonicum* 1,79 indicando que pode obter peças sem grandes defeitos, como rachaduras e empenamentos. Os resultados obtidos nessa pesquisa foram diferentes aos encontrados por Costa, (2017) com C.A de 1,58 e por Cavalheiro et al. (2016) de 1,82.

6.3 Propriedades químicas

Na Tabela 9 estão apresentados os resultados obtidos na determinação do pH, e dos teores de extrativos, cinzas e sílica nas espécies pesquisadas. Na análise dos resultados verifica-se que não houve uma grande diferença percentual das análises químicas entre as espécies, pois possuem valores próximos em todas as análises, com variação entre elas de 0,3% na cinza, 2,24% no pH, 1,96% nos extrativos e na sílica os resultados foram iguais.

Tabela 9: Caracterização químicas das espécies *Simarouba amara* e *Schizolobium amazonicum*.

<i>Schizolobium amazonicum</i> (Huber) Ducke.					<i>Simarouba amara</i> Aubl.				
	T.ext (%)	T.cz (%)	T.sil (%)	pH		T.ext (%)	T.cz (%)	T.sil (%)	pH
Média	3,50	0,590	0,03	5,34	Média	3,57	0,589	0,03	5,22
Desvio Padrão	0,0009	0,0874	0,0002	–	Desvio Padrão	0,0013	0,0098	0,0002	–

T.ext: Teor de extrativos (%); T.cz: Teor de cinzas (%); T.sil: Teor de sílica (%); pH das espécies; -: valor não tabelado.

Sabendo que existe uma ausência de informações de variáveis consideradas como importantes para elaboração de vigas de Madeira Lameladas Coladas, pois a madeira possui características intrínsecas que podem interferir no processo de colagem das vigas, e as propriedades químicas da madeira estão relacionadas significativamente com essa colagem, visto que, existe uma interação entre elas (MARRA, 1992). Por esse motivo há uma necessidade de ter maior compreensão na interação do adesivo com a madeira, e assim obter respostas mais significativas nos resultados, sabendo que as

espécies tropicais possuem ausência de informações a respeito das variáveis envolvidas na produção.

Segundo Klock et al., (2005) o teor de extrativos totais em espécies tropicais varia de 2,0-8,0%, já Tsoumis, (1991) verificou que as espécies tropicais possuem um teor de extrativos de 0,62-19,8%, enquanto o teor de cinzas fica em torno de 0,1-5,4.

Bodig; Jayne, (1982) relacionou o alto teor de extrativos com a capacidade de aumentar a densidade da madeira, influenciando indiretamente nas propriedades mecânicas, concluindo que o teor de extrativos podem auxiliar para o entendimento sobre diferenças entre as densidades. Jankowsky; Galvão, (1979) verificaram que alto teor de extrativos influenciam na maior estabilidade dimensional e menor umidade no ponto de saturação das fibras, pelo fato dos extrativos ocuparem parte dos espaços existentes na parede celular que seriam normalmente ocupados pela água, e isso pode interferir na colagem das vigas de MLC, pois os extrativos ocupam os espaços que poderiam estar vazios na secagem da madeira, interferindo na impregnação dos adesivos na madeira.

Analisando os dados dos teores de extrativo desse trabalho é possível observar que eles não são tão elevados de acordo com Tsoumis, (1991) ficando em torno de 3,5%, Stangerlin et al., (2013) também verificou um baixo teor de extrativos na espécie *S. amara*, em torno de 2,49%. Já em um trabalho realizado por Segura, (2012) e Vidaurre; Vital, (2012) onde analisaram o teor de extrativos da espécie *S. amazonicum* ficou em torno de 5,42 e 4,4% valores superiores em relação ao estudo em questão, porém em um outro estudo de realizado por Oliveira et al., (2018), observou que o teor de extrativos totais árvores de 11 anos da espécie *S. amazonicum* foi de 3,86%, mostrando um resultado semelhante comparando com esse estudo.

No trabalho realizado por Tsoumis, (1991) verificou que o teor de cinzas do Eucalipto raramente passa de 1%, e para elaboração de vigas MLC essas espécies são muito utilizadas por ter maior conhecimento tecnológico. Através desse dado quando comparamos o teor de cinzas desse estudo, é possível perceber que as cinzas ficaram em torno de 0,59%, sendo um valor próximo comparando resultados com a literatura como é o caso do trabalho realizado por Stangerlin et al., (2013) que obteve o teor de cinzas da espécie *S. amara* de 0,57%, enquanto Melo, (2012) obteve um valor de 0,6% da espécie *S. amazonicum*.

Brand, (2010) observou que elevados teores de minerais na madeira proporcionam altas percentagens de cinzas, e como o teor de cinza das espécies nesse

estudo é considerado como o baixo, a porcentagem dos com compostos inorgânicos também serão inferiores, como é possível analisar o baixo teor de sílica obtido nas espécies em torno de 0,03%, mostra uma excelente características para adesão de adesivos, pois madeiras com um teor de sílica muito elevado pode interferir na impregnação do adesivo por ocupar os espaços vazios dos elementos de vasos.

Outro fator químico, que pode interferir na elaboração de vidas de MLC está relacionado com o pH da madeira, visto que, ele influencia na ligação adesívica, pois no processo de colagem é necessário considerar a influência do pH tanto da madeira quanto do adesivo. As espécies madeireiras podem ter uma variação de pH em tono de 3 a 6, e os limites de pH do adesivo não devem ultrapassar a faixa de 2,5 a 11, pois podem resultar em degradação das fibras de madeira (IWAKIRI, 2005). O pH interfere na cura do adesivo no qual geralmente são formulados para serem aplicados em material ligeiramente ácido, e os altos valores das propriedades químicas da madeira, podem afetar o pH e, dessa forma, interferir na ligação dos adesivos com a madeira (MALONEY, 1993; MEDVED; RESNIK, 2004).

O pH obtido nas madeiras das duas espécies estão dentro da faixa estabelecidas por Stamm, (1964) para as espécies tropicais de (3,0 a 5,5) os valores encontrados de 5,2 a 5,3 tendem para o caráter mais ácidos. E considerando esses dados para constituição de vigas de MLC com o tipo de resina fenol-formaldeído e ureia-formaldeído, que curam em meio ácido e alcalino (pH 3,0-3,5), verifica-se a necessidade de adição de catalisadores, os quais irão promover as reações de acidificação, acelerando a polimerização do adesivo e garantindo produtividade (TRIANOSKI et al., 2011).

6.4 Classificação visual

Para classificação visual foram analisadas várias características para verificar os defeitos da madeira, como as fissuras, esmoados, medula, encanoamento, encurvamento, torcimento, arqueamento e nós. Porém através da análise visual nota-se que apenas alguns desses defeitos foram observados nas amostras, como pode ser visto na Tabela 10.

Tabela 10: Classificação visual das espécies.

<i>Simarouba amara</i>		<i>Schizolobium amazonicum</i>	
Defeitos da madeira	nº de amostras defeituosas	Defeitos da madeira	nº de amostras defeituosas
Encurvamento	21	Encurvamento	26
Arqueamento	16	Arqueamento	15

Torcimento	19	Torcimento	16
Nós	9	Nós	6
Sem defeitos	39	Sem defeitos	34

Através da classificação visual observa-se que a espécie *S.amara* obteve um maior número de peças sem defeitos, ou seja, de 60 amostras apenas 39 não possuíam defeitos, já a espécie *S.amazonicum* teve 34 amostras sem defeitos. O encurvamento foi o principal defeito que teve ocorrência nas amostras das espécies, e a menor ocorrência de defeitos analisados foi em relação a presença de nós nas duas espécies.

A presença de nós é um defeito importante de ser analisado, visto que, peças que possuem nós dependendo do diâmetro, podem interferir na resistência da madeira. E para elaboração de vigas de MLC a presença desse defeito não deve ser indicada para compor uma peça estrutural, pois interfere na estrutura das vigas, diminuindo sua resistência.

6.5 Propriedades mecânicas

Sabendo da importância das propriedades mecânicas da madeira para elaboração de vigas de MLC na determinação da resistência e rigidez das espécies através dos valores característicos.

Os ensaios mais adequados para determinar a classe de resistências das espécies visando a caracterização de peças estruturais, é através do módulo de elasticidade à flexão ($E_{0,m}$ ou MOE) e pelo teste da tensão convencional de ruptura por flexão, conhecida como módulo de ruptura (F_m ou MOR), e os ensaios devem ocorrer ao longo de toda a peça estrutural, para aceitar assim todos os defeitos que aquela peça possui (FREITAS; CALIL JUNIOR, 2004).

O novo projeto da norma brasileira ABNT PN 02:126.10-0001-1: 2018, orienta realizar a classificação visual, mecânica e a mensuração da densidade para atribuir as classes de resistência da madeira em peças estruturais. E para classificação mecânica é indicado os ensaios do módulo de elasticidade à flexão e densidade da madeira (MORITANI, [s.d.]).

Na Tabela 11 estão os resultados obtidos das propriedades mecânicas nos ensaios flexão estática ($E_{0,m}$ / F_m), compressão paralela ($f_{c,0}$), compressão perpendicular ($f_{c,90}$), tração paralela ($f_{t,0}$), tração perpendicular ($f_{t,90}$) e cisalhamento paralelo ($f_{v,0}$). Observa-se que os dados da espécie *S.amara* foi superior em todos os ensaios, com

exceção do ensaio de tração paralela às fibras, embora o resultado da resistência da tração foi inferior, essa diferença não foi significativa variando apenas 2,1%.

Verificando ainda que esta espécie *S.amara* possui valor médio do módulo de elasticidade ($E_{0,m}$) maior que a espécie *S. amazonicum*, sendo este 9617,34 Mpa, porém a espécie *S. amazonicum* obteve um valor médio de 8529,6143 Mpa mostrando assim, que os valores médios de ambas as espécies são próximos em relação ao módulo de elasticidade (Tabela 11).

Ao analisar o coeficiente de variação do ensaio do módulo de elasticidade ($E_{0,m}$) nota-se que a espécie *S.amara* obteve uma variação menor em torno da média quando comparado com a outra espécie, contudo ambas são próximas, ficando em torno de 10%.

Tabela 11: Ensaio das propriedades mecânicas das espécies *Simarouba amara* e *Schizolobium amazonicum*.

<i>Simarouba amara</i>							
Estatística descritiva	$E_{0,m}$	Fm	fc,0	fc,90	ft,0	ft,90	fv,0
Valor médio (Mpa)	9617,35	57,417	40,15	7,42	37,98	0,205	4,56
Desvio padrão (Mpa)	1007,79	13,024	3,24	0,68	8,29	0,095	0,75
Coef. Variação (%)	10,48%	22,68%	8,07%	9,20%	21,84%	46,29%	16,55%
Valor máximo (Mpa)	11618,12	85,015	44,78	6,54	47,17	0,407	5,42
Valor mínimo (Mpa)	7523,55	20,895	32,39	7,97	24,07	0,010	3,17
Número de amostras	21	21	27	4	6	41	7
<i>Schizolobium amazonicum</i>							
Estatística descritiva	$E_{0,m}$	Fm	fc,0	fc,90	ft,0	ft,90	fv,0
Valor médio (Mpa)	8529,61	50,69	34,52	6,57	38,81	0,156	3,81
Desvio padrão (Mpa)	927,69	7,71	4,33	1,39	15,23	0,037	0,57
Coef. Variação (%)	10,88%	15,21%	12,56%	21,20%	39,23%	23,46%	15,02%
Valor máximo (Mpa)	10243,46	63,63	43,24	9,71	53,21	0,234	4,59
Valor mínimo (Mpa)	6375,07	36,84	26,99	4,88	11,90	0,031	3,07
Número de amostras	19	19	24	12	6	45	8

Em: Flexão a rigidez (MOE); Fm: Flexão a resistência (MOR); fc,0: Compressão paralela; fc,90: Compressão perpendicular; ft,0: Tração paralelo; ft,90: Tração perpendicular; fv,0: Cisalhamento paralelo.

Ao atribuir os valores das classes de resistência pela média do módulo de elasticidade (E_m) segundo a norma internacional ISO 16598: 2014 (TABELA 13), nota-se que as espécies deveriam se enquadrar na primeira classe H14, pois a densidade das espécies é menor que 0,46. Porém as espécies *S. amara* e *S. amazonicum* ficam na classe H18 onde o valor do módulo de elasticidade médio fica em torno de 8500 Mpa.

Segundo INPA/CPPF, (1991) verificou que o módulo de elasticidade da espécie *S.amara* ficou na ordem 7.200 MPa, comparando esse resultado com obtido nesse estudo desse estudo é possível analisar que o módulo de elasticidade é maior, sendo este 9.617 MPa. Já em um estudo de Moritani, ([s.d.]) onde verificou um módulo de elasticidade da espécie *S. amazonicum* maior, sendo este 9.010 MPa, enquanto os dados desse estudo ficaram em torno de 8.529 MPa, porém ambas as espécies ficam na classe de resistência H18.

Ter o conhecimento da rigidez da madeira para elaboração das vigas de MLC é primordial, pois passa a informação do quanto de carga mínima pode ser aplicado nas vigas sem interferir na elasticidade das fibras da madeira, e com isso não acarreta deformações nas estruturas da madeira, ou seja, no módulo de elasticidade a deformação na madeira aplicada pela força é completamente recuperáveis quando as cargas são removidas (KRETSCHMANN, 2010), contudo a espécie *S. amara* volta ao seu regime elástico em uma força mínima de 9.617 MPa, enquanto a espécie *S.amazonicum* volta ao seu regime elástico em uma força mínima de 8529,61MPa.

No módulo de resistência a flexão (F_m / MOR) é possível verificar a resistência do produto estrutural. Nesse ensaio aplica-se uma carga máxima até um ponto que a madeira não tem capacidade de voltar para seu regime elástico, pois ela irá deformar ou romper, sendo possível analisar o quanto de carga o elemento estrutural pode tolerar, e a partir desses resultados é possível verificar em que classe de resistência as espécies podem se enquadrar através dos valores característicos, e com isso verificar se as espécies estão de acordo com a literatura em relação à resistência para elaboração de vigas de MLC.

A resistência a flexão (F_m / MOR) da madeira do *S.amara* foi próximo aos encontrados no INPA/CPPF 1991 sendo este 56 MPa enquanto a espécie *S. amazonicum* obteve um valor médio do módulo de ruptura de 50,6853 MPa (MORITANI, [S.D.]).

Comparando os valores máximos e mínimos das espécies, é possível dizer que a espécie *S.amara* teve um valor máximo bem mais superior de 85,0152 MPa, em relação a espécie *S.amazonicum*, que ficou em torno de 63,6326 MPa. Porém ao mesmo tempo a espécie *S. amara* teve um valor mínimo bem mais inferior que a espécie *S.amazonicum* sendo este de 20,8951 MPa, enquanto a espécie *S.amazonicum* obteve um valor mínimo de 36,8386 MPa.

Em pesquisas realizadas com a madeira de *S.amara* coletadas em diferentes localidades, observou-se resultados com grande variabilidade em relação as

propriedades de resistência. Como por exemplo Comvalius, (2001) obteve valores de 65 MPa em amostras coletadas no Suriname; Villa, (2009) 40,61 MPa; Quintana et al., (2015) 58,1534 MPa sendo este um valor próximo com os dados dessa pesquisa (57,4166 MPa).

No estudo de Moritani, ([s.d.]) analisou o módulo de ruptura da espécie *S. amazonicum* pelo novo projeto de norma ABNT PN 02:126.10-0001-3: 2018 observou o valor do módulo de ruptura em torno de 47,32 MPa, mostrando-se assim um resultado inferior quando comparado com esse trabalho, Terezo; Szücs, (2010) onde obteve o valor do módulo de resistência em torno de 56,2 Mpa pela norma brasileira. Porém quando comparamos esse estudo com o trabalho realizado por Almeida et.al (2013), verificou o módulo de ruptura da espécie *S. amazonicum* em torno de 50 MPa utilizando a norma brasileira, resultado semelhante com os dados obtidos nesse estudo, sendo este 50,6853 MPa.

Os diferentes resultados podem ser explicados em função do solo, clima posição para obtenção das amostras, considerando que existe variabilidade em amostras retiradas em posições do sentido radial e ao longo do fuste comercial, conforme reportados por vários autores como Kollmann; Cote, (1968). Porém apesar do valor médio do módulo de ruptura serem elevados, quando analisado os valores característicos das espécies pelas normas brasileira (NBR7190:1997) e europeia (UNE-EN14358), nota-se que há uma diminuição das resistências a flexão (TABELA 12), e é a partir dos valores característico que será possível analisar as classes de resistência.

Tabela 12: Valores característicos pela norma Brasileira e Europeia

Simarouba amara							
Valor característico	E0,m	Fm,k	fc,0k	fc,90k	ft,0k	ft,90k	fv,0k
NBR7190:1997 (Mpa)	9617,35	40,19	38,53	6,54	27,17	0,14	3,31
UNE-EN14358 (Mpa)		24,31	26,81	5,12	20,97	0,04	3,01
Schizolobium amazonicum							
Valor característico	E0,m	Fm,k	fc,0k	fc,90k	ft,0k	ft,90k	fv,0k
NBR7190:1997 (Mpa)	8529,61	40,92	28,88	5,73	31,69	0,11	3,07
UNE-EN14358 (Mpa)		37,23	26,95	4,29	28,27	0,08	1,98

k: Valor característico; E0,m: Média flexão a rigidez (MOE); Fm: Flexão a resistência (MOR); fc,0: Compressão paralela; fc,90: Compressão perpendicular; ft,0: Tração paralelo; ft,90: Tração perpendicular; fv,0: Cisalhamento paralelo.

Pela norma brasileira o valor característico das espécies estão em torno de 40 MPa, e comparando com os valores tabelados das classes de resistência pela norma internacional ISO 16958-2014 (TABELA 13) as espécies estão em torno da classe de

resistência H40, e pela densidade em que ambas as espécies se encontram o ideal seria que o valor característico ficassem em torno de H14 ou H18 pois a densidade das espécies são menores que 0,46 g/cm³.

Ao analisar os valores característicos da norma europeia e comparar com o valor tabelado da norma internacional, nota-se que a espécie *S.amara* se enquadrou na densidade H24 ou seja aquelas que possuem densidade de 0,48g/cm³. Contudo, por mais que a densidade da espécie desse estudo ficou em torno de 0,40g/cm³, as classes possuem densidade consideradas como leves. Porém ao analisar a classe de resistência da espécie *S. amazonicum* pela norma europeia pelo valor tabelado da norma internacional, nota-se que a espécie se enquadra na classe de resistência H30, onde considera espécies que possuem densidade em torno de 0,55 g/cm³ densidade consideradas como média, e o ideal seria que essa espécie se enquadrasse nas classes de resistência H14 e H18 por ter um densidade em torno de 0,37g/cm³.

Para determinação dos valores característicos, são analisados os valores mínimos das amostras para ter uma margem de segurança maior, a partir disso nota-se que a espécie *S.amazonicum* obteve um valor mínimo superior no módulo de ruptura do que a espécie *S.amara*, sendo esse 36,84 MPa, enquanto a espécie *S.amara* obteve um valor mínimo de 20,895 MPa.

Tabela 13: Classes de resistência para das espécies folhosas (hardwood) (ISO 16598: 2014).

Propriedades	H14	H18	H24	H30	H40	H50	H60	H70
Flexão (MPa) Fm,k	14	18	24	30	40	50	60	70
Tração Paralela (MPa) ft,0,k	7	9	12	15	20	25	30	35
Tração Perpendicular (MPa) ft,90,k	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compressão Paralela (MPa) fc,0,k	16	18	21	22	24	28	35	41
Compressão Perpendicular (MPa) fc,90,k	4	4,5	5,5	6,5	8	9,5	11	12,5
Cisalhamento Paralelo (MPa) fv,k	2	2,5	3	3	3,5	4,5	5	6,5
MOE Médio Paralelo (GPa) E0,m	8	8,5	10	11	13	15	17	19
Densidade (g/cm ³) ρap,m	0,46	0,48	0,55	0,6	0,69	0,78	0,87	0,96

Analisando as classes de resistência dos ensaios de flexão em que as espécies se enquadraram, nota-se como as normas não são tão coerentes quando se trata em determinar classe de resistência em madeiras tropicais. E isso é mais perceptível quando analisamos os valores característicos da compressão paralela as fibras (fc,0) e tração

paralela fibras (ft,0), visto que, as classes de resistência das espécies se enquadraram naquelas madeiras que possuem densidade consideradas como alta.

Comparando os valores característicos da compressão paralela as fibras das duas espécies pela norma brasileira, nota-se que a espécie *S.amara* se enquadra na classe de resistência H60, enquanto a espécie *S.amazonicum* se enquadrou na classe de resistência H50. Enquanto que a análise da classe de resistência pela norma europeia a espécie *S.amara* se enquadrou na classe H40 e a espécie *S.amazonicum* na classe H50.

Já na tração paralela as fibras a espécie *S.amara* está na classe H50 pela norma brasileira e a espécie *S.amazonicum* possui uma classe de resistência em torno de H60, porém quando analisamos os valores das classes de resistência pela norma europeia a espécie *S.amara* possui uma classe de H40 e a espécie *S.amazonicum* H50.

A partir das análises dessas propriedades mecânicas da madeira, nota-se que esses valores não condizem com a realidade estrutural das espécies, principalmente quando comparamos com a densidade em que as espécies se enquadram. Em um trabalho realizado por Costa, (2017), onde analisou a anatomia microscópica das fibras da espécie *S. amara* e observou as espessuras das paredes das fibras, considerando-as muito delgada, ou seja, as paredes das fibras são finas e ficam em torno de 3,97µm, enquanto as paredes do lúmen possuem uma largura de 26,13 µm. Já Modes et al., (2018) analisou as propriedades anatômicas das fibras da espécie *S.amazonicum* verificando valores próximos da espécie *S.amara*, onde a espessura das paredes das fibras ficaram em torno 2,80 µm, e largura do lúmen 25,50 µm.

Ziemińska et al., (2013) verificou que a espessura da parede das fibras é inversamente proporcional em relação ao diâmetro do lúmen (Figura 27), e esses fatores acabam afetando na resistência da madeira. Analisando as fibras da espécie *Brosimum rubescens* Taub. (Muirapiranga e pau-rainha) uma madeira que possui densidade em torno de 1,07 g/cm³, ou seja, uma madeira de alta densidade, nota-se uma espessura da parede das fibras em torno 5,40 µm, enquanto o diâmetro da largura do lúmen fica em torno de 7,27 µm (COSTA, 2017).

Figura 27: Fotomicrografias das seções tangenciais da espécie a) *Simarouba amara* e b) *Brosimum rubescens* Taub.

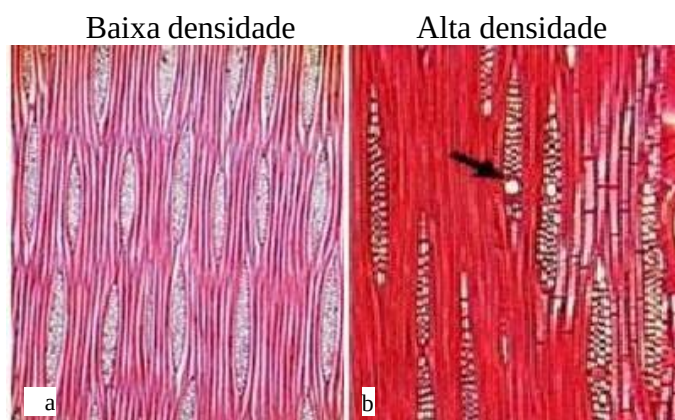


Foto: COSTA, 2017.

Na imagem microscópica da face tangencial é possível analisar as características das fibras de alta densidade e baixa densidade, percebe-se que na espécie de baixa densidade existe uma maior fração de luminosidade no plano tangencial das fibras, pois é mais evidente o maior diâmetro do lúmen. E essas características afetam na densidade da madeira, já que as propriedades das fibras estão relacionadas com a densidade, e a densidade está relacionada com a resistência mecânica madeira, visto que, madeiras mais densas tendem ser mais rígidas e mais resistentes (CHAVE et al., 2009; ZIEMIŃSKA et al., 2013).

Sabendo que a densidade está relacionada com a estrutura anatômica da madeira, e pensando em incluir as espécies tropicais de alta densidade nas classes de resistências utilizando os parâmetros das normas internacionais, para contemplar todas as espécies arbóreas da Amazônia em relação a sua variabilidade na densidade básica (0,18 – 1,0 g/cm³) seria importante determinar classe de resistência em espécies tropicais dentro dessa faixa de variação, pois se as espécies de baixa densidade se enquadraram nas classes de resistências onde consideram espécies que possuem alta densidade, se utilizar uma madeira cuja a densidade seria 1,07 g/cm³ os valores característicos seriam tão elevados que nem se enquadraria na tabela de classes de resistências que a norma dispõe.

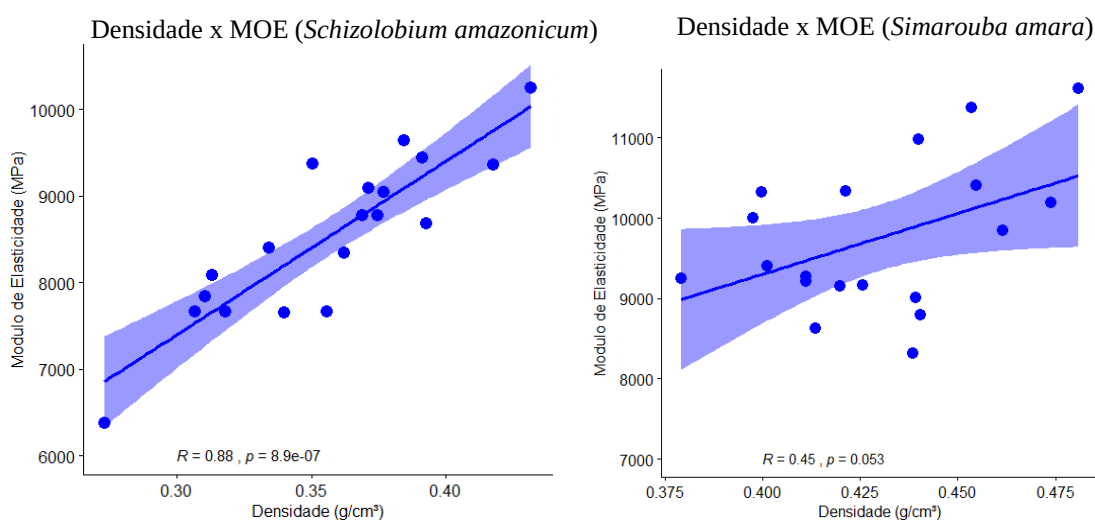
E por mais que a norma internacional utilize espécies folhosas para determinar classe de resistência, essas espécies não poderiam ser utilizadas como parâmetro para classificar espécies tropicais, visto que, os valores das classes de resistências fogem da realidade quando comparamos com a densidade, e isso pode ocorrer devido as características de madeiras de climas temperados que podem variar de madeiras de clima tropicais.

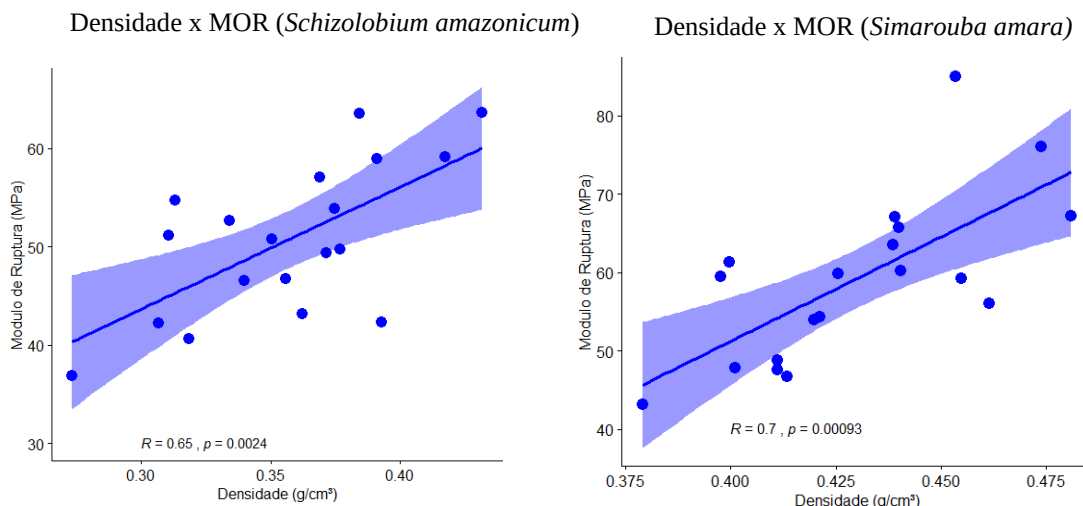
Observa-se essa variação em um estudo onde correlacionaram as propriedades mecânicas com a densidade utilizando espécies folhosas de climas tropicais e temperados. Nos ensaios de flexão ($E_{0,m}$ / F_m) a densidade não apresentou uma diferença consistente entre as madeiras de diferentes origens. Já em relação a compressão paralela as fibras, a relação da densidade foi maior em espécies de origens tropicais, e menor em espécies de clima temperados (PAULA et al. 1986).

A partir desse estudo é possível notar uma semelhança com os dados desse trabalho, pois os ensaios de flexão não entrou em classes de resistência de madeira cuja a densidade são consideradas como alta, porém nos ensaios de compressão paralela as fibras as espécies de baixa densidade foram inseridos na classe de resistências de madeiras com densidades em torno de 0,70 e 0,87g/cm³.

E fazendo uma correlação da densidade da madeira com o Módulo de elasticidade e o módulo de ruptura, por serem os parâmetros mais importantes para determinar classe de resistências, nota-se na Figura 28 que a espécie *S. amazonicum* obteve uma correlação maior (0,88) do que a espécie *S.amara* (0,45), porém a correlação do módulo de ruptura com a densidade da espécie *S.amara* ficou em torno de 0,70, já a espécie *S.amazonicun* possui uma menor correlação de (0,65). Por mais que nas espécies tropicais exista uma baixa correlação dos parâmetros estudados, a correlação linear é positiva em relação a densidade entre o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura em flexão estática demonstrando que existe correlação.

Figura 28: Correlação de Pearson da Flexão (MOE/MOR) em relação a Densidade das espécies *Schizolobium amazonicum* e *Simarouba amara*.





E comparando com outros estudos onde foram analisados as correlações da densidade da madeira com o módulo de elasticidade e ruptura, verificou-se que as correlações não são tão elevadas ficando em torno de 0,4 - 0,7 (DIAS; LAHR, 2004; MORITANI, [s.d.]; RIBEIRO, 2017; PAULA et.al 1986) apesar disso os valores de baixa correlação não são rejeitados.

Na Tabela 14 é possível analisar a classificação mecânica de peças estruturais de madeira de florestas plantadas de *E. urophylla* e *E. grandis* pelo projeto de norma PN 02:126 10-001-1:2018, onde analisaram as classes de resistência para elaboração do quadro de classificação.

Tabela 14: classe de resistência pelo novo projeto de norma PN 02:126 10-001-1:2018.

Propriedade	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Densidade – ρ_{12} (kg/m³)	700	600	500
Flexão à rigidez (MOE) $E_{0,m}$ (MPa)	20000	15000	10000
Flexão a resistência (MOR) $f_{M,k}$ (MPa)	50	40	30
Compressão paralelo às fibras $f_{c0,k}$ (MPa)	45	35	25
Cisalhamento paralelo às fibras $f_{v,k}$ (MPa)	6	5,5	4,5

As espécies de *E. urophylla* e *E. grandis* possuem uma densidade que variam de 0,54 e 0,49 g/cm³ respectivamente (OLIVEIRA; HELLMEISTER; TOMAZELLO FILHO, 2005). Observa-se na Tabela 15, que as espécies desse estudo quando observados os valores característicos pela norma da ISO, nota-se que todos os ensaios se enquadraram na Classe 3, já quando a analisamos os valores característicos pela norma brasileira e analisamos pelo quadro de classificação apenas os ensaios do módulo de ruptura e compressão paralelo às fibras ficaram inclusas na Classe 2 (TABELA 15).

Tabela 15: Elaboração para o quadro de classificação da resistência utilizando as espécies desse estudo.

<i>Simarouba amara</i>	Valores característicos	Normas	CLASSES
Densidade (g/cm ³)	0,4021	Valor médio	Classe 3
Flexão à rigidez (MOE) E _{0,m} (MPa)	9617,35	Valor médio	Classe 3
Flexão a resistência (MOR) f _{M,k} (MPa)	40,19	NBR7190:1997 (Mpa)	Classe 2
	24,31	UNE-EN14358 (Mpa)	Classe 3
Compressão paralelo às fibras f _{c0,k} (MPa)	38,53	NBR7190:1997 (Mpa)	Classe 2
	26,81	UNE-EN14358 (Mpa)	Classe 3
Cisalhamento paralelo às fibras f _{v,k} (MPa)	3,31	NBR7190:1997 (Mpa)	Não se enquadram
	3,01	UNE-EN14358 (Mpa)	
<i>Schizolobium amazonicum</i>	Valores característicos	Normas	CLASSES
Densidade (g/cm ³)	0,3712	Valor médio	Classe 3
Flexão à rigidez (MOE) E _{0,m} (MPa)	8529,6	Valor médio	Classe 3
Flexão a resistência (MOR) f _{M,k} (MPa)	40,92	NBR7190:1997 (Mpa)	Classe 2
	37,23	UNE-EN14358 (Mpa)	Classe 3
Compressão paralelo às fibras f _{c0,k} (MPa)	28,88	NBR7190:1997 (Mpa)	Classe 3
	26,95	UNE-EN14358 (Mpa)	Classe 3
Cisalhamento paralelo às fibras f _{v,k} (MPa)	3,07	NBR7190:1997 (Mpa)	Não se enquadram
	1,98	UNE-EN14358 (Mpa)	

6.6 Vigas de Madeira Lamelada Colada

Na Tabela 16 estão demonstrados os resultados dos ensaios de flexão estática que determina o Módulo de Elasticidade (MOE) e o Módulo de Ruptura (MOR) das vigas de Madeira Lamelada Colada (MLC), utilizando dois tipos de adesivos o poliuretano (PU) e o fenol resorcinol (Fenol).

Tabela 16: Resultados de MOE e MOR para as vigas de MLC de *S. amazonicum* (poliuretano (PU) / fenol resorcinol (Fenol)).

<i>Schizolobium amazonicum</i>	Adesivo	Densidade (kg/m³)	MOE (GPa)	MOR (MPa)
Média	PU	354	8,0	53,5

DP		46,8	1,0	7,9
CV (%)		13,2	13,0	14,7
Média		361	7,9	49,5
DP	Fenol	37,0	1,3	7,3
CV (%)		10,2	16,3	14,8
Simarouba amara	Adesivo	Densidade (kg/m³)	MOE (GPa)	MOR (MPa)
Média		406	9,4	63,9
DP	PU	7,2	0,6	3,8
CV (%)		1,8	6,6	6,0
Média		436	8,7	56,9
DP	Fenol	7,3	0,5	7,6
CV (%)		1,7	5,5	13,4

Nota-se que o resultado médio superior no ensaio do MOE foi com o adesivo poliuretano (PU) na espécie *S. amazonicum*, contudo, o adesivo fenol resorcinol não teve uma diferença significativa, visto que, variou apenas 0,1%. Porém quando se faz a análise do ensaio do MOR, a espécie *S. amazonicum* obteve maior rigidez quando aplicou-se o adesivo poliuretano (PU) com 8% de diferença.

A espécie *S. amara* obteve resultados superiores na análise da flexão estática do que a espécie *S. amazonicum*, e essa superioridade foi observada na aplicação dos dois tipos de adesivos, porém o adesivo que teve resultados mais elevados nos ensaios do MOE e MOR na espécie *S. amara* foi o adesivo a base de poliuretano (PU). O adesivo poliuretano teve o melhor resultado nas duas espécies em relação ao ensaio de flexão estática, indicando que o adesivo teve uma melhor penetração nos poros da madeira aumentando sua resistência (JESUS; CALIL JUNIOR, 2002).

Os resultados do ensaio de cisalhamento na linha de cola com os dois adesivos podem ser observados na Tabela 17. Onde é possível avaliar as médias, o desvio padrão e o coeficiente de variação da porcentagem da ruptura da madeira, além da resistência característica das vigas de MLC ao cisalhamento paralela às fibras.

Tabela 17: Resultados de cisalhamento na linha de cola com os adesivos (poliuretano (PU) / fenol resorcinol (Fenol)).

Madeira		<i>Schizolobium amazonicum</i>	
Adesivo	Estatística descritiva	Ruptura na madeira (%)	fv,0 (MPa)
PU	Média	100,0	6,2
	DP	0,0	1,1
	CV (%)	0,0	18,4
Fenol	Média	99,7	6,8
	DP	0,8	0,4
	CV (%)	0,8	6,0

Madeira		<i>Simarouba amara</i>	
Adesivo	Estatística descritiva	Ruptura na madeira (%)	fv,0 (MPa)
PU	Média	98,3	9,1
	DP	4,1	1,3
	CV (%)	4,2	13,9
Fenol	Média	100,0	8,5
	DP	0,0	1,0
	CV (%)	0,0	11,9

Esse ensaio é importante para verificar a eficiência do adesivo na madeira, os resultados ideais para elaboração de vigas de MLC é que a ruptura do cisalhamento ocorra na madeira, e não na linha de cola, e essa ruptura deve ser superior a 90% (ABNT, 1997). Analisando as médias das porcentagem de ruptura na madeira dessa pesquisa, nota-se que a porcentagem de ruptura foram superior a 90%, sendo possível analisar que a ruptura da madeira foi de 100% quando utilizou o adesivo poliuretano na espécie *S.amazonicum*, e 100% quando utilizou o adesivo fenol resorcinol na espécie *S.amara*,

ou seja, as madeiras e os adesivos utilizados nesse estudo podem ser excelentes para elaboração de vigas de MLC, quando se faz a análise do cisalhamento a linha de cola.

Ao observar o cisalhamento paralelo na linha de cola em outros estudos com a espécie *S. amazonicum* utilizando os adesivos poliuretano e fenol resorcinol, é possível concluir que os dois adesivos possuem uma boa adesão na espécie, independentemente de como as amostras se encontram secas ou saturadas, pois a ruptura no cisalhamento na linha de cola ocorreu em 100% da madeira (CAVALHEIRO et al., 2016b; ALMEIDA et al., 2012). Os estudos de vigas de MLC com a espécie *S. amara*, com os dois adesivos foram eficientes.

A porcentagem de delaminação total das espécies pode ser observado na Tabela 18 esse ensaio analisa a eficácia dos adesivos nas espécies estudada, para verificar a adesão e permeabilidade da linha de cola nas madeiras na elaboração de vigas de MLC para uso externo.

Tabela 18: Resultados da porcentagem de delaminação das espécies para uso externo com os adesivos (poliuretano (PU) / fenol resorcinol (Fenol)).

Delaminação total, Dt (%)		
	PU	Fenol
<i>S. amazonicum</i>	5,9	0,0
<i>S. amara</i>	1,4	3,0

O adesivo que teve melhor resultado na espécie *S. amazonicum* foi o fenol resorcinol, visto que, não houve delaminação das lamelas da madeira, um resultado satisfatório na elaboração de vigas de MLC. Já o adesivo poliuretano teve resultados mais positivo quando foi analisado na espécie *S. amara*, pois a delaminação das lamelas foi de apenas de 1,4%.

Apesar do maior resultado de delaminação desse estudo seja 5,9%, a norma ABNT, (1997) estabelece um limite de delaminação para uso externo de 6%. Portanto as vigas de MLC das espécies *S. amazonicum* e *S. amara* coladas com os adesivos poliuretano e fenol resorcinol foram aprovados no ensaio de delaminação para uso externo.

7. Conclusão

A partir dos dados obtidos nesse estudo através das caracterizações tecnológicas da madeira, é possível concluir que as espécies *Schizolobium amazonicum* e a *Simarouba amara* possuem os parâmetros necessário para elaboração de vigas de Madeira Lamelada Colada.

Por serem espécies que possuem poucos compostos químicos, além de terem características anatômicas ideais para impregnação da linha de cola e adesão, assim como as propriedades físicas.

E as classes de resistências estabelecida pelos valores tabelados da norma, não podem ser utilizados para espécie arbórea da Amazônia, visto que, madeiras de baixa densidade tem estruturas anatômicas diferentes de espécies com alta densidade.

8. Considerações finais

Com base nos resultados obtidos nessa pesquisa com as espécies de *S.amara* e *S.amazonicum* sugere-se que haja uma reformulação das normas utilizando dados já existentes de espécies tropicais pelas instituições de pesquisa.

E apesar das análises das classes de resistências que foram determinadas através das propriedades mecânicas da madeira, não se enquadrarem tão bem em espécies tropicais. Vale ressaltar que à análise de flexão estática (MOE) é o principal parâmetro para determinar classe de resistência em peças estruturais, segundo o novo projeto de norma da ABNT PN 02:126.10-0001-3: 2018. E a partir desse ponto, as espécies estudadas se enquadraram em classes de resistências onde as madeiras possuem densidade leves (H18), e podem ser utilizadas para elaboração de vigas de MLC.

9. Referências Bibliográficas

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1102**: standard test method for ash in wood. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2013. 2p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1105**: standard test method for preparation of extractive-free wood. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2013. 2p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1107**: Standard Test Method for Ethanol-Toluene Solubility of Wood. 2013.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. **UNE-EN 14358**. Estructuras de madera - Determinación y verificación de los valores característicos. Madrid. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**. Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro. 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **PN 02:126.10-0001-1**. Critérios de classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **PN 02:126.10-0001-3**. Método de ensaio de caracterização de peças estruturais de madeira. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **PN 02:126.10-0001-5**: Madeira laminada colada estrutural: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.
- AITC A190.1. AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. **Structural glued laminated timber**, p. 20, 2007.
- ALBINO, V. C. DO S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Study of the interface wood-adhesive joints glued with resorcinol-formaldehyde and wood from *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 509–516, 2010.
- ALMEIDA, A. N. DE et al. Mercado de madeiras tropicais: substituição na demanda de exportação. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 119–126, 2010.
- ALMEIDA, T. et al. **Density as estimator of dimensional stability quantities of Brazilian tropical woods**. [s.l: s.n.]. v. 12
- ANGELO, H. et al. ANÁLISE ESTRATÉGICA DO MANEJO FLORESTAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA. **Floresta**, v. 44, n. 3, p. 341–348, 2014.
- ARAUJO, H. J. B. **Agrupamento das espécies madeireiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do projeto de Colonização Pedro Peixoto (Ac) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas**. [s.l: s.n.].
- BARBOSA, RUI MANUEL TEIXEIRA. **Análise da aderência entre os materiais**. [s.l: s.n.].
- BARBOSA, A. P. . et al. **Considerações sobre o perfil tecnológico do setor madeireiro na Amazônia Central**. Parcerias ed. [s.l.] Biodiversidade, pesquisa e desenvolvimento na Amazônia, 2001.

BARBOSA, A. P.; NASCIMENTO, C. S. DO; MORAIS, J. W. DE. Estudos de propriedades antitermíticas de extratos brutos de madeira e casca de espécies florestais da Amazônia Central, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 2, p. 213–218, 2007.

BARROS, S. V. S. **Aplicação da metodologia não destrutiva como subsidio para classificação de madeiras para exportação**. [s.l: s.n.].

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanical of Wood and Wood Composites**. 1^a. ed. ed. New York: Van Nostrand Reinhold: [s.n.].

BODIG, J.; JAYNE, B. A. Mechanics of wood and wood composites. Van Nostran-Reinhold Co. **Inc., New York**, v. 711, 1982.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. [s.l.] Editora Interciência, 2010.

BRASILEIRO-SFB, S. F. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia-IMAZON. **A atividade madeireira na Amazônia brasileira**, 2010.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: [s.n.].

CALDERON, C. M. A. O segmento moveleiro na região do Alto Juruá-AC: perfil e uso de tecnologias alternativas para a caracterização das principais espécies madeireiras. 2013.

CALEGARI, L. et al. Normalização Técnica para Determinação das Propriedades Físicas e Mecânicas de Madeiras. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, v. 4, n. 2, p. 122–138, 2013.

CALIL NETO, C. et al. AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO E À DELAMINAÇÃO EM MADEIRA LAMINADA COLADA. **Ciencia Florestal**, v. 24, n. 4, p. 987–994, 2014.

CASSINELLO, F. **Construcción: Carpintería**. [s.l: s.n.].

CAVALHEIRO, R. S. et al. Density as Estimator of Shrinkage for Some Brazilian Wood Species. **International Journal of Materials Engineering**, v. 6, n. 3, p. 107–112, 2016a.

CAVALHEIRO, R. S. et al. Evaluation of Shear Strength and Cyclic Delamination of Paricá (*Schizolobium amazonicum*) Glued Laminated Timber. **International Journal of Materials Engineering**, v. 6, p. 60–65, 2016b.

CHAVE, J. et al. Towards a worldwide wood economics spectrum. **Ecology letters**, v. 12, n. 4, p. 351–366, 2009.

COMISSÃO PAN-AMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT**. Descrição macroscópica, microscópica e geral da madeira. vol. 30, Colombia. 19pp. 1973.

COMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT**. Description de características generales macroscópicas de las maderas Angiospermas Dicotiledoneas: 30:1-019.1974.

COMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT**. Maderas: acondicionamiento de las maderas destinadas a los ensayos físicos y mecânicos. Caracas: 459, 1972^a.

COMVALIUS, L. B. **Surinamese timber species: characteristics and utilization:**

recent information with brief descriptions of the main timber species of Suriname. [s.l.] Celos [etc.], 2001.

COPANT. COMISSÃO PAN-AMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Descrição macroscópica, microscópica e geral da madeira.**, v. 30, p. 19, 1973.

CORDERO, J. CINTIA R. DE SOUZA, L. M. B. R. Schizolobium parahyba. **Árboles de Centroamérica**, p. 869–872, 2003.

COSTA, J. A. Classificação de madeiras da Amazônia para composição de instrumento musical de corda por meio da técnica de excitação por impulso. 2017.

DA SILVA, C. J.; DO VALE, A. T.; MIGUEL, E. P. Densidade básica da madeira de espécies arbóreas de Cerradão no estado de Tocantins. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 63–75, 2015.

DA SILVA LEITE, E. R. et al. Estimativa das propriedades elastico-dinâmicas da madeira de Copaifera langsdorffii desf por análise de ressonância. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 41–47, 2012.

DE ALMEIDA, D. H. et al. Madeira laminada colada (MLC) da espécie Paricá. **Madeira: arquitetura e engenharia**, v. 12, n. 30, p. 71–82, 2012.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente Strength and stiffness properties of wood esteemed through the specific gravity. [s.d.].

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Strength and stiffness properties of wood esteemed through the specific gravity. **Scientia Forestalis**, v. 65, p. 102–113, 2004.

DOWNES, G. M. et al. **Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties.** [s.l.] CSIRO publishing, 1997.

DUCKE, A. Notas sobre a flora neotrópica–II: as leguminosas da Amazônia Brasileira. Belém: Instituto Agrônômico do Norte, 1949. 247p. **Boletim técnico**, v. 18, [s.d.].

DURLO, M. A. .; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade.** Santa Maria: CEPEF/FATEC,; [s.n.].

FENGEL, D.; WEGENER, G. Wood: chemistry, ultrastructure, reactions. **Walter de Gruyter**, v. 613, p. 1960–1982, 1984.

FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF, Piracicaba**, v. 2, n. 3, p. 65–74, 1971.

FREAS, A. D. Studies of the strength of glued laminated wood construction. 1949.

FREITAS, R. R. DE; CALIL JUNIOR, C. Classificação de peças estruturais de pinus spp pela MSR (Machine Stress Rate). 2004.

FREITAS, J. A.; VASCONCELLOS, F. J. Manual de identificação prática de madeiras comerciais da Amazônia: método macroscópico de comparação. **MCT-INPA, Manaus Google Scholar**, 2010.

GÓES, J. L. N.; DIAS, A. A. Avaliação experimental de vigas de madeira com seção composta. **VIII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM**

ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2002.

GROHMANN, S. Z. Vigas de madeira laminada colada com laminas pre-classificadas de eucalyptus grandis. 1998.

GUSTAVSSON, L. et al. Using biomass for climate change mitigation and oil use reduction. **Energy policy**, v. 35, n. 11, p. 5671–5691, 2007.

HASELEIN, C. R. et al. **Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões**. [s.l: s.n.]. v. 12

HIDEYOSHI ICIMOTO, F. et al. Influence of Lamellar Thickness on Strength and Stiffness of Glued Laminated Timber Beams of Pinus oocarpa. **International Journal of Materials Engineering**, v. 6, n. 2, p. 51–55, 2016.

HIGUCHI, N. UTILIZAÇÃO E MANEJO DOS RECURSOS MADEIREIROS Histórico do MFS. v. 24, p. 275–288, 1994.

HIGUCHI, N. et al. O mercado Internacional de madeira tropical está à beira do colapso. **INPA–Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus**, 2006.

HIGUCHI, N. et al. Perspectivas do manejo florestal sustentável para a Amazônia brasileira. **Hiléia - Revista do direito ambiental da Amazônia**, v. 8, p. 78–93, 2007.

HOSOKAWA, R. T. ; MOURA, J. B. ; CUNHA, U. S. **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: UFPR, 1998.

HUNT, G. M.; GARRAT, G. A. **Preservación de la madera**. [s.l.] Salvat, 1962.

INPA/CPPF. **Catálogo de madeiras da Amazônia: Características tecnológicas; Área da Hidrelétrica de Balbina**. Manaus: [s.n.].

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16598**. Timber structures - Structural classification for sawn timber. Switzerland. 2014.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: [s.n.].

JANDL, R. et al. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? **Geoderma**, v. 137, n. 3–4, p. 253–268, 2007.

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

JESUS, J. M. H. DE; JUNIOR, C. C. Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC). **Madeira: Arquitetura e Engenharia**, v. 3, n. 8, p. 47, 2002.

JESUS, O. M. H. DE; O. **ESTUDO DO ADESIVO POLIURETANO À BASE DE MAMONA EM MADEIRA LAMINADA COLADA (MLC)**. [s.l: s.n.].

JÚNIOR, A. F. D. et al. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais para uso em movelaria. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 4, n. 1, p. 10–12953, 2013.

JUNIOR, C. C. Fadiga Em Emendas Dentadas Em Madeira. p. 95–126, 2007.

KANASHIRO, M. **As Diferenças entre as Árvores**. 82. ed. [s.l: s.n.].

KLOCK, U. et al. **Química da Madeira**. [s.l: s.n.].

KNAUF, M. et al. Modeling the CO₂-effects of forest management and wood usage on a regional basis. **Carbon balance and management**, v. 10, n. 1, p. 13, 2015.

KOLLMANN, F. F. P.; COTE, W. A. Ir., 1968. **Principles of Wood Science and Technology. 1. Solid Wood** Springer-Verlag. New York, , 1968.

KRETSCHMANN, D. E. Wood Handbook - General Technical Report FPL-GTR-190. p. 508, 2010.

LACERDA, C. DE S.; CÂNDIDO, G. A. Modelos de indicadores de sustentabilidade para gestão de recursos hídricos. In: LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A. (Eds.). . **Gestão Sustentável dos Recursos Naturais Uma Abordagem Participativa**. [s.l: s.n.].

LEPAGE, E. S. et al. **Manual de preservação de madeiras**. [s.l.] Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1986. v. 1

LIMA, A. J. N. **AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO EM ÁREAS MANEJADAS E NÃO MANEJADAS DO ESTADO DO AMAZONAS (AM)**. [s.l: s.n.].

LIRA, J. N. DE; SANTOS, J. DOS; NASCIMENTO, C. C. DO. Agrupamento da qualidade de duas espécies arbóreas amazônicas por método de ondas de tensão. **Nativa**, v. 5, n. 3, p. 203–207, 2017.

LONGUI, E. L.; LOMBARDI, D. R.; ALVES, E. S. Six potencial woods for bows of stringed instruments&58; organoleptic properties, machining and commercial availability. Seis madeiras potenciais para arcos de instrumentos de corda&58; propriedades organolépticas, trababilidade e disponibilidade comercia. **Revista do Instituto Florestal**, v. 23, n. 2, p. 203–216, 2011.

LOUREIRO, A.A.;SILVA, M.F.;ALENCAR, J. C. **Essências madeireiras da Amazônia**. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amzônia, INPA/SUFRAMA-MA., 1979. v. volume 1

LOUREIRO, A. A. et al. **Essências madeireiras da Amazônia**. INPA ed. Manaus: [s.n.].

LOUREIRO, A. A.; DA SILVA, M. F. **Catálogo das madeiras da Amazônia**. [s.l.] Sudam Belém, 1968. v. 2

MACEDO, A. N.; CALIL JUNIOR, C. Estudo de emendas dentadas em Madeira laminada colada (MLC): avaliação de método de ensaio–NBR 7190/1997. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, v. 3, p. 1–23, 1999.

MADY, F. T. . **Técnicas para Microscopia da Madeira**. Manaus: [s.n.].

MADY, F. T. M. Conhecendo a madeira: informações sobre 90 espécies comerciais. 2000.

MALONEY, T. M. Modern Particleboard and Dry-Process Fibreboard Manufacturing, Miller Fremann Publ. **Inc., California, USA**, 1993.

MARQUES, M. H. B. et al. Efeito da secagem nas propriedades acústicas da madeira de marupá (Simarouba amara Aubl.). **Floresta & Ambiente**, v. 12, p. 57–64, 2006.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**. [s.l.] Van Nostrand Reinhold, 1992.

- MEDVED, S.; RESNIK, J. Influence of the acidity and size of beech particles on the hardening of the urea-formaldehyde adhesive. **ACTA CHIMICA SLOVENICA.**, v. 51, n. 2, p. 353–360, 2004.
- MELO, R. R. DE. Evaluation of technological variables to produce LVL from *Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke. 2012.
- MELO, J. E.; CORADIN, V. T. R.; MENDES, J. C. **Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira.** Congresso Florestal Brasileiro. **Anais...**1990
- MELO, R. R. et al. Uso das Características Tecnológicas da Madeira para o Agrupamento de Espécies Florestais. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 1–7, 2013.
- MELO, R. R. Estabilidade Dimensional de Compostos de Madeira. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, v. 4, n. 2, p. 152–175, 2013.
- MODES;, K. S. et al. Caracterização morfológica e química da madeira de *Schizolobium amazonicum* aos 14 anos de plantios no estado de Rondônia. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 118, p. 271–283, 2018.
- MOLINA, JULIO CESAR; CALIL NETO, CARLITO; CHRISTOFORO, A. L. Tensile strength of finger joints made of *Manilkara huberi* wood for use in glued laminated timber. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.**, v. v. 16, n. 1, p. 221–227, 2016.
- MOREIRA, W. DA S. Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira. 1999.
- MORITANI, F. Y. **Proposta de classes de resistência para peças estruturais de madeira: *Eucalyptus urograndis*, *Pinus taeda* e *Schizolobium amazonicum* (Paricá)** Universidade de São Paulo, , [s.d.].
- MOUTINHO, V. H. P. et al. Energetic characterization of Matá-Matá wood from the brazilian rainforest (*Eschweilera Mart Ex Dc*). **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2011.
- MUNALULA, F.; MEINCKEN, M. An evaluation of South African fuelwood with regards to calorific value and environmental impact. **Biomass and bioenergy**, v. 33, n. 3, p. 415–420, 2009.
- NASCIMENTO, C. C. DO; GARCIA, J. N.; DIÁZ, M. DEL P. Agrupamento de espécies madeireiras da amazônia em função da densidade básica e propriedades mecânicas. **Madera y Bosques**, v. 3, n. 1, p. 33–52, 1997.
- NETO, CARLITO CALIL. **MADEIRA LAMINADA COLADA (MLC): CONTROLE DE QUALIDADE EM COMBINAÇÕES ESPÉCIE-ADESIVO-TRATAMENTO PRESERVATIVO.** [s.l: s.n.].
- OLIVEIRA, A. DE C. et al. ANATOMICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF JUVENILE *Schizolobium amazonicum* WOOD. **Revista Árvore**, v. 42, n. 3, 2018.
- OLIVEIRA, A. N. DE et al. Composição e diversidade florístico-estrutural de um hectare de floresta densa de terra firme na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 627–641, 2008.
- OLIVEIRA, J. T. DA S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. 2005.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. DE. **Textbook of wood technology**. [s.l.] McGraw-Hill Book Co., 1980.

PAULA, Estevão Monteiro de *et al.* Propriedades mecânicas de trinta e nove espécies de madeiras no Amazonas. In: IIº ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURA DE MADEIRAS, 1986, São Paulo. **Anais [...]**. São Carlos: USP-EESC-SET-LAMEM, 1986.

PELIZAN, T. R. **ESTUDO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE PEÇAS ROLIÇAS DE EUCALIPTO CITRIODORA UTILIZANDO A TÉCNICA DE ULTRA-SOM**. [s.l.: s.n.].

PENEDO, W. R. Madeira, carvão e gusa. **Penedo, WR (comp.) Uso da madeira para fins energéticos, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, CETEC-MG/SPT-001, Belo Horizonte**, p. 113–142, 1980.

PHILIPP, P; D'ALMEIDA, M. L. **Celulose e Papel. Volume I. Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – Centro Técnico em celulose e papel, 1988.

PINTO, A. M. et al. Fenologia de Simarouba amara Aubl. na reserva florestal Adolpho Ducke, Manaus, AM. 2005.

PIRANI, A. M. Análise do componente Manejo Florestal Madeireiro do Programa Zona Franca Verde no Estado do Amazonas: da intenção à ação. 2007.

QUINTANA, S.; CABUDIVO, A.; ESPÍRITU, J. M. Propiedades físico-mecánicas de las maderas de Simarouba amara (Aubl.) y Cedrelinga cateniformis (Ducke) de plantaciones de diferentes edades, San Juan Bautista, Loreto, Perú. **Conocimiento Amazónico**, v. 2, n. 2, p. 115–124, 2015.

RIBEIRO, E. S. Propriedades tecnológicas de vinte espécies de madeiras tropicais comercializadas pelo estado de Mato Grosso. 2017.

RIBEIRO, M. L. et al. Effect of Wood Density and Screw Length on the Withdrawal Resistance of Tropical Wood. **Nativa**, v. 6, n. 4, p. 402, 2018a.

RIBEIRO, M. L. et al. Effect of wood density and screw length on the withdrawal resistance of tropical wood Efeito da densidade da madeira e do comprimento do parafuso na resistência ao arrancamento em madeiras tropicais. p. 402–406, 2018b.

ROSS, R. J. Wood handbook: Wood as an engineering material. **USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190, 2010: 509 p. 1 v.**, v. 190, 2010.

ROWELL, R. M. et al. Cell wall chemistry. **Handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton, Fla.: CRC Press, 2005: pages 35-74.**, 2005.

SABOGAL, C. et al. **Manejo florestal empresarial na Amazônia Brasileira**. [s.l.] Cifor, 2006.

SALES, A.; JUNIOR, C. C. Sistema de Classes de Resistência para Madeira Serrada de Eucaliptos Cultivados no Brasil: Proposição para a NBR 7190: 2005. **Madeira: arquitetura e engenharia**, v. 6, n. 16, 2013.

SANTOS, C. P. et al. Papel: como se fabrica? **Revista Química Nova na Escola, Sociedade Brasileira de Química**, v. n.14, 2001.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado.** 2008. [s.l.] Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SCHNIEWIND, A. P. **Concise encyclopedia of wood & wood-based materials.** [s.l.] MIT Press, 1989.

SEGURA, T. E. S. Avaliação das madeiras de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Acacia mearnsii* para a produção de celulose kraft pelos processos convencional e Lo-Solids®. n. September, p. 100, 2012.

SHIMOYAMA, V. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. **Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp.** Congresso anual de Celulose e papel. **Anais...ABTCP** São Paulo, 1991

SILVA, LUANA NUNES. **Correlações entre propriedades tecnológicas da madeira de cedro (*Cedrela odorata* L .) determinadas por metodologias destrutivas e não destrutivas . Correlações entre propriedades tecnológicas da madeira de cedro (*Cedrela odorata* L .) determinadas por me.** [s.l: s.n.].

SILVA, A. K. L. et al. Litter dynamics and fine root production in *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* plantations and regrowth forest in Eastern Amazon. **Plant and soil**, v. 347, n. 1–2, p. 377–386, 2011.

SILVA, J. D. C.; OLIVEIRA, J. T. D. S. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES HIGROSCÓPICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus saligna* Sm., EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE UMIDADE RELATIVA DO AR. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 233–239, 2003.

SILVA, J. M. C. **Potencialidades de Elementos Pré-fabricados de Madeira na Reabilitação.** [s.l: s.n.].

SILVA, R. C. V. M. **Coleta e Identificação de Espécimes Botânicos.** [s.l: s.n.].

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. DO. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 2, p. 179–184, 2013.

SOARES, L. F. et al. Avaliação de espectrômetro nir portátil e pls-da para a discriminação de seis espécies similares de madeiras Amazônicas. **Química Nova**, v. 40, n. 4, p. 418–426, 2017.

SOUZA, MARIA ODETE ALVES DE, JOSÉ DE CASTRO, SILVA RICARDO MARIUS DELLA, L.; WESCLEY VIANA, E. Avaliação da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake em ensaios de usinagem, visando à produção moveleira. **Revista Árvore**, p. 751–758, 2009.

STAMM, A. J. Wood and cellulose science. **Wood and cellulose science.**, 1964.

STANGERLIN, D. M. et al. Resistência Natural da Madeira de Três Espécies Amazônicas Submetidas ao Ataque de Fungos Apodrecedores. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, v. 4, n. 1, p. 15–32, 2013.

STANGERLIN, D. M. et al. Caracterização mecânica de madeiras deterioradas em campo por meio de ultrassom e flexão estática. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 3, p.

365, 2015.

TAKEDA, WELEY M. **Análise da exploração florestal de espécies nativas na Amazônia Ocident.** [s.l: s.n.].

TELES, R. et al. **Effect of nondestructive testing of laminations on the bending properties of glulam beams made from louro-vermelho (*Sextonia rubra*).** [s.l: s.n.]. v. 16

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY- **TAPPI T 252 OM-16.** pH and Electrical Conductivity of Hot Water Extracts of Pulp, Paper and Paperboard. 2016.

TEREZO, R. F.; SZÜCS, C. A. Análise de desempenho de vigas em madeira-laminada-colada de parica (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 471–480, 2010.

TRIANOSKI, R. et al. Viabilidade da utilização de *Acrocarpus fraxinifolius* em diferentes proporções com *Pinus* spp. para produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis, Piracicaba**, v. 39, n. 91, p. 343–350, 2011.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization.** [s.l.] Van Nostrand Reinhold New York, 1991. v. 115

URBINATI, C. V. **Influência das características anatômicas em juntas coladas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (paricá)** Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Lavras: UFLA. 161p, , 2013.

VALENTE, B. M. DOS R. T. et al. Variabilidade radial e longitudinal das propriedades físicas e anatômicas da madeira de angico-vermelho Variation in the pith-to-bark and in the height directions of the physical and anatomical properties of the wood of angico-vermelho. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 100, p. 485–496, 2013.

VERÍSSIMO, A.; LIMA, E.; LENTINI, M. **Pólos madeireiros do Estado do Pará.** [s.l.] Imazon Belém,, Pará, Brazil, 2002.

VIANNA, ANDRÉ LUIZ MENEZES; KOURY, CARLOS GABRIEL; ARRUDA, ANDRÉ NOGUEIRA; FERREIRA, DANIEL; BARROS, HEBERTON; NOGUEIRA, O. **Diagnóstico Florestal do Estado do Amazonas 2010 e 2011.** [s.l: s.n.].

VIDAURRE, G. B.; VITAL, B. R. Prppriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá. p. 365–371, 2012.

VITAL, B. R. .; MACIEL, A. S. .; DELLA LUCIA, R. M. Qualidade de juntas coladas com lâminas de madeira oriundas de três regiões do tronco de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, v. v. 30, p. 637–644, 2006.

WIEDENHOEFT, A. C. Chapter 3 - Structure and Function of Wood Contents. **Wood Handbook - Wood as an engineering material**, p. 1–18, 2010.

WINISTORFER, P. et al. Energy consumption and greenhouse gas emissions related to the use, maintenance, and disposal of a residential structure. **Wood and Fiber Science**, v. 37, p. 128–139, 2007.

YARED, J. A. G. et al. O valor econômico da extração manejada de madeira no baixo

Amazonas, estado do Pará. 2012.

ZANGIÁCOMO, A. L.; LAHR, F. A. R. Alternativas Na Produção De Elementos Estruturais De Madeira Laminada ... n. July 2017, p. 103–131, 2007.

ZENID, G. J. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. [s.l: s.n.].

ZIEMIŃSKA, K. et al. Fibre wall and lumen fractions drive wood density variation across 24 Australian angiosperms. **AoB Plants**, v. 5, 2013.