



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL**

**MARCOS MARTINS SOUZA**

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA MARUPÁ (*Simarouba amara* Aubl,  
*Simaroubaceae*) VISANDO UTILIZAÇÃO NA INDÚSTRIA MOVELEIRA**

**BELÉM – PA**

**2019**

MARCOS MARTINS SOUZA

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA MARUPÁ (*Simarouba amara* Aubl,  
*Simaroubaceae*) VISANDO UTILIZAÇÃO NA INDÚSTRIA MOVELEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará como requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Industrial. Área de Concentração: Materiais e Metalurgia.

Orientador: Prof. Dr. Laércio Gouvêa Gomes

BELÉM – PA

2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**  
**Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

S719c Souza, Marcos Martins  
Caracterização da madeira Marupá (Simarouba amara Aubl,  
Simaroubaceae) visando utilização na Indústria Moveleira / Marcos  
Martins Souza. — 2019.  
72 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Laércio Gouvêa Gomes  
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Industrial, Instituto de Tecnologia, Universidade  
Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Protótipo reduzido. 2. Resistência mecânica. 3. Madeiras  
tropicais. I. Título.

CDD 620.1

---

MARCOS MARTINS SOUZA

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA MARUPÁ (*Simarouba amara* Aubl,  
*Simaroubaceae*) VISANDO UTILIZAÇÃO NA INDÚSTRIA MOVELEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará como requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Industrial.

Data de Aprovação: 25 de setembro de 2019.

Banca examinadora:

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Laércio Gouvêa Gomes - Orientador/Presidente  
PPGEI/UFPA

\_\_\_\_\_  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias - Membro Interno  
PPGEI/UFPA

\_\_\_\_\_  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Patrícia Teresa Souza da Luz - Membro Externo  
PPGEMAT/UFPA

\_\_\_\_\_  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lina Bufalino - Membro Externo  
PPGCF/UFRA

Dedico este trabalho às pessoas mais importantes da minha vida.

Aos meus pais: *Sebastião Machado Souza e Maria das Graças Dias Martins de Souza.*

Aos meus irmãos, em memória: *Marcelo Martins de Souza, Márcio Martins de Souza e Kleberson Oliveira da Fonseca.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus por sua presença constante na minha vida e por tornar tudo possível.

Aos meus pais, Sebastião M. Souza e Maria das Graças Dias. M. Souza, por me educar de forma incondicional e ser o maior apoio moral e incisivo em todos os meus sonhos realizados até o presente momento.

Do mesmo modo, aos meus irmãos Marcelo Martins, Marcio Martins e Kleberon Oliveira (em memória) que, de forma espiritual, trouxeram-me paz e equilíbrio em minha jornada terrena, pois acredito que eles intercedem por mim e por nossas famílias.

Aos meus filhos, Marlyson Souza, Carlos Alberto Neto e Marlon Martins, e aos meus sobrinhos, Maycon, Márcio, Márcia, Marcela, Juliane e Juliana, por me fazerem entender que em tudo na vida existe início, meio e fim.

À minha família, de modo geral, pois de uma forma ou outra contribuíram para que este sonho fosse concluído. Em especial aos tios Haroldo, Fernando, Rui, Adélio, Klementino, Edson, Guilherme, Socorro, Lúcia, Darck, Jucirema, Olga, Marinez, Graça, Mery, Nazaré, Fátima, Maria José e aos meus avôs, Adelio Martins, Maria José Martins e Juliana Souza (em memória), por sempre me darem conselhos e incentivo ao estudo.

Ao Prof. Dr. Laércio Gomes pelos ensinamentos, conhecimentos transmitidos e orientações no acompanhamento deste trabalho, pelo compromisso e dedicação com os quais me orientou, assim como pela confiança em mim depositada.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lina Bufalino pelos conhecimentos transmitidos e orientações no acompanhamento deste trabalho, e seus ensinamentos e apoio.

À Secretaria do PPGEI, pela pessoa da Arlene Baiôco, que sempre esteve guiando e comunicando de forma bem ativa as informações referentes ao Programa de Pós-Graduação.

Ao PPGEI/UFPA por possibilitar a realização deste trabalho.

Ao SENAI pelas horas cedidas para realização deste trabalho.

Ao SINDMÓVEIS/FIEPA pela estrutura fornecida bem como pelo auxílio e atenção de seus empresários associados, em especial ao Maurício Kaiano, pelo suporte durante as parcerias e agilidade nas ações referentes ao acesso de informações das indústrias locais.

“Sou a lenha que te aquece amorosamente no inverno  
E que te oferece sombra, quando o sol ardente te queima  
Sou a viga do seu teto e a tábua de tua mesa  
Dou leito para o teu sono quieto e à tua barca um mastro forte  
Em teus tempos de infância, fui o berço que te mimou  
Morto, é comigo que teu corpo se cobre embaixo da terra  
Sou a madeira santa e dou a flor em que seu fruto amadurece  
Te alimenta e sacia, escute-me! Não destrua o que sou!”

Paráfrase de um texto alemão desconhecido

“Em algum dia, em qualquer lugar, independente da situação ou circunstância da vida. Eu, ainda assim, estarei de pé visando novas oportunidades e novas descobertas, sem abrir mão de minhas raízes e convicções.”

Marcos Martins

## RESUMO

A utilização da madeira em móveis requer o conhecimento de suas características físicas e mecânicas. A umidade da madeira influencia diretamente na sua resistência, diminuindo com o aumento de seu teor de umidade e atingindo um valor mínimo para umidade acima do limite de saturação. A norma brasileira ABNT NBR 7190:1997 adota a umidade de referência de 12%, pela qual os resultados de ensaios devem ser apresentados. Entretanto, para aplicação da norma, torna-se necessário o conhecimento das características mecânicas de todas as espécies florestais brasileiras. Assim, o objetivo deste trabalho é fazer a caracterização física e mecânica da madeira denominada Marupá, *Simarouba amara* Aubl., *Simaroubaceae*, conhecida na indústria moveleira como “madeira alternativa. A validação da madeira Marupá é de suma importância para as indústrias moveleiras, pois serve como fonte de suprimento, bem como contribui para a minimização da retirada de espécies de madeiras “nobres”. Para isso, foram necessários ensaios físicos de umidade e densidade, além de ensaios mecânicos de resistência, ensaio de compressão longitudinal às fibras, compressão radial às fibras, compressão tangencial às fibras e flexão. Por fim, propõe-se, neste trabalho, a criação e o desenvolvimento de um protótipo em escala reduzida com as espécies de madeiras estudadas (Marupá e Cedro). Os resultados mostraram o coeficiente de variação entre as duas espécies 16,2% para o ensaio de resistência à compressão e coeficiente de variação, para o ensaio de flexão ficou em 18,41%, ambas possuem resistência mecânica moderada, podendo ser utilizadas em estruturas de madeira de pequeno porte. A madeira Marupá apresentou a densidade básica  $0,40 \text{ g.m}^{-3}$  da espécie. Entretanto, a maior média de resistência foi 12% de umidade, a média de compressão às fibras ( $f_{c0,k} = 25,25 \text{ MPa}$ ) e de flexão paralelo às fibras ( $f_{c0,k} = 27,29 \text{ MPa}$ ) atingindo o requisito da ABNT NBR 7190:1997, que estabelece a eficiência da resistência mecânica na classe C20. Os resultados indicaram a possibilidade de utilização da espécie marupá como madeira alternativa para processamento de móveis.

**Palavras-chave:** Protótipo reduzido. Resistência mecânica. Madeiras tropicais.



## ABSTRACT

The use of wood in furniture requires knowledge of its physical and mechanical characteristics. The humidity of the wood directly influences its resistance, decreasing with the increase of its moisture content and reaching a minimum value for humidity above the saturation limit. The Brazilian standard ABNT NBR 7190: 1997 adopts a reference humidity of 12%, by which the test results must be presented. However, for application of the standard, it is necessary to know the mechanical characteristics of all Brazilian forest species. Thus, the objective of this work is to make the physical and mechanical characterization of the wood called Marupá, *Simarouba amara* Aubl., *Simaroubaceae*, known in the furniture industry as “alternative wood. The validation of Marupá wood is of paramount importance for the furniture industries, as it serves as a source of supply, as well as contributing to the minimization of the removal of “noble” wood species. For this, physical moisture and density tests were required, in addition to mechanical strength tests, longitudinal compression tests on the fibers, radial compression on the fibers, tangential compression on the fibers and flexion. Finally, it is proposed, in this work, the creation and development of a small scale prototype with the studied wood species (Marupá and Cedro). The results showed the coefficient of variation between the two species 16.2% for the compressive strength test and the variation coefficient, for the flexion test it was 18.41%, both have moderate mechanical rest, and can be used in structures small wood. Marupá wood had a basic density of 0.40 g.m<sup>-3</sup> of the species. However, the highest average strength was 12% moisture, the average compression to the fibers ( $f_{c0, k} = 25.25$  MPa) and flexion parallel to the fibers ( $f_{c0, k} = 27.29$  MPa) reaching the ABNT requirement NBR 7190: 1997, which establishes the efficiency of mechanical resistance in class C20. The results indicated the possibility of using the marupá species as an alternative wood for furniture processing.

**Keywords:** Reduced prototype. Mechanical resistance. Tropical woods.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Conjunto: (a) Mesa e cadeira dobrável e (b) Lote desativado .....	20
Figura 2 - (a) Anatomia o caule e (b) Seção transversal de um tronco .....	22
Figura 3 - Fotomicrografia da madeira de <i>Erismia uncinatum</i> a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20 x e escala de 1mm.....	23
Figura 4 - Face tangencial (a) e Face radial (b) madeira Marupá .....	34
Figura 5 - Face tangencial (a) e Face radial (b) madeira Cedro .....	35
Figura 6 - Números de indústrias de madeira e móveis por região .....	36
Figura 7 - Fluxograma de processo da madeira serrada.....	37
Figura 8 - Gráficos de Estabelecimentos Industriais no Pará.....	38
Figura 9 - Gráfico das exportações de madeira do Pará de 2003 a 2019 .....	38
Figura 10 - Exposição de mobiliários de madeira Cedro e Marupá.....	39
Figura 11 - (a) Modelagem 3d (b) Protótipo reduzido .....	40
Figura 12 - (a) Pátio da empresa Benevides Madeiras (b) Lote amostral .....	42
Figura 13 - (a) Preparação dos corpos de prova (b) Corpos de prova NBR 11941:2003.....	42
Figura 14 - (a) Corpos de prova nas dimensões (b) Corpos de prova empilhável .....	43
Figura 15 - (a) Peças usinadas e (b) Lote 12 corpos de prova segundo norma .....	43
Figura 16 - (a) Medição da umidade (b) Acondicionamento na estufa.....	44
Figura 17 - (a) Umidade inicial, (b) Lote amostral .....	45
Figura 18 - (a) Máquina universal de ensaio, (b) Máquina Arotec WDW- 100-Edo IFPA .....	46
Figura 19 - (a) Ensaio experimental de compressão e (b) Rompimento do corpo de prova .....	46
Figura 20 - (a) Corpos de prova, (b) Dimensões dos corpos de prova.....	48
Figura 21 - (a) CP 2, (b) CP 3 e (c) – Dimensões do corpos de prova.....	48
Figura 22 - (a) CP 9 (b) CP 11 (c) Dimensões do corpos de prova.....	49
Figura 23 - (a) CP 1 (b) CP 4 (c) Dimensões dos corpos de prova .....	50
Figura 24 - Ícone Fenômeno da cultura regional .....	51
Figura 25 - Modelos conceituais de cadeira de praia .....	51
Figura 26 - (a) Umidade inicial (b) Lote amostral (c) Umidade final .....	52
Figura 27 - (a) Dimensões dos corpos de prova (b) Corpos de prova seco.....	53
Figura 28 - (a) Corpo de Prova CP 4 (b) Gráfico detector de carga flexão estática.....	58
Figura 29 - (a) Prototipagem Modelagem 3D (b) Prancha 3D.....	64
Figura 30 - (a) – Prototipagem de peças (b) -Modelo reduzido escala 1:20 .....	65
Figura 31 - Fluxograma de Processo da Cadeira.....	65
Figura 32 - Procedimento operacional padrão – Confecção do protótipo.....	66
Figura 33 - Mesa Paraoara – Madeira Marupá e Cedro .....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades mecânicas da madeira.....	26
Tabela 2 - Dimensões dos principais produtos de madeira serrada .....	30
Tabela 3 - Dimensões das principais peças de madeira beneficiada .....	31
Tabela 4 - Teor de umidade recomendado .....	32
Tabela 5 - Classe de ensaios de resistência – ABNT NBR 7190:1997 .....	47
Tabela 6 - Comportamento da secagem .....	53
Tabela 7 - Valores Obtidos nos Ensaios de Resistência à Compressão Longitudinal.....	54
Tabela 8 - Valores Obtidos nos Ensaios de Resistência à Compressão Radial.....	56
Tabela 9 - Valores Obtidos nos Ensaios de Resistência a Flexão Estática.....	59
Tabela 10 - Dados Físicos e Mecânico da Madeira Marupá .....	61
Tabela 11 - Dados Físicos e Mecânico da Madeira Cedro .....	62
Tabela 12 - Coeficiente de Variação dos Ensaios da Madeira Cedro e Marupá .....	62

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Marupá: Resistência à compressão longitudinal às fibras .....	54
Gráfico 2 - (a) Ensaio tensão X CPs (b) Gráfico dispersão tensão X carga .....	55
Gráfico 3 - Marupá: Resistência à compressão radial às fibras.....	56
Gráfico 4 - (a) Gráfico Ensaio tensão X CPs (b) Gráfico dispersão tensão X carga.....	57
Gráfico 5 - Análise do desvio padrão do ensaio tensão X carga .....	57
Gráfico 6 - Gráfico de Excel Tensão MPa x Deformação – Flexão estática.....	59
Gráfico 7 - (a) Ensaio tensão X CPs (b) Gráfico dispersão tensão X carga.....	60

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

### Letras romanas maiúsculas e minúsculas

---

A	Área
$A_w$	Área da seção transversal da peça de madeira
$E_w$	Módulo de deformação longitudinal da madeira
$E_{w0}$	Módulo de deformação longitudinal paralela às fibras da madeira
$E_{w90}$	Módulo de deformação longitudinal normal às fibras da madeira
F	Ações (em geral), forças (em geral)
$F_d$	Valor de cálculo das ações
$G_w$	Módulo de deformação transversal da madeira
N	Força normal
R	Reação de apoio, resultante de tensões, resistência
$R_c$	Resultante das tensões de compressão
U	Umidade
b	Largura
c	Espaçamento
d	Diâmetro
$f_d$	Valor de cálculo da resistência
$f_m$	Valor médio da resistência
$f_w$	Resistência da madeira
$f_{w0}$	Resistência da madeira paralelamente às fibras
$f_{wc0}$	Resistência à compressão paralela às fibras
$f_{wc90}$	Resistência à compressão normal às fibras
$f_{wv0}$	Resistência ao cisalhamento na presença de tensões tangenciais paralela às fibras
$f_{wv90}$	Resistência ao cisalhamento na presença exclusiva de tensões tangenciais normais às fibras
g	Carga distribuída permanente
h	Altura, espessura
k	Coefficiente (em geral)
$k_{mod}$	Coefficiente de modificação
l	Vão de comprimento
m	Momento fletor por unidade de comprimento ou largura, massa, valor médio de uma amostra
n	Força normal por unidade de comprimento ou largura, número de elementos
s	Espaçamento, desvio padrão de uma amostra
x	Coordenada
y	Coordenada

---

---

**Letras gregas**

$\rho$	Densidade	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\Delta T$	Diferença de temperatura	[°C]
$\lambda_1$	Compressão Simples	[N/m]
$\lambda_2$	Tensão contínua	[Pa]
$\sigma$	Coeficiente de tensão	[N]

---

**Abreviações e siglas**

---

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABIMCI	Associação Brasileira da Indústria de Transformação de Madeira
ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Floresta Plantadas
AIMEX	Associação das Indústrias Export. de Madeiras do Estado Pará
CNI	Confederação Nacional da Indústria
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBDF	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IBAMA	Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IPEF	Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais
LPF	Laboratório de Produtos Florestais - IBAMA
INPA	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia
IPI	Imposto de Produtos Industrializados
ITTO	International Tropical Timber Organization
IBA	Indústria Brasileira da Madeira
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IMAZON	Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
MDCI	Ministerio da Indústria Comércio e Serviços
SNIF	Sistema nacional de Informações Florestais
SINDMOVEIS	Sindicato das Indústrias de Marcenarias do Estado do Pará
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio as Micros e Pequenas Empresas
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

---

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 OBJETIVOS.....	19
1.1.1 Objetivo Geral .....	19
1.1.2 Objetivos Específicos .....	19
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	21
2.1 Caracterização Tecnológica da Madeira.....	21
2.1.1 Características Anatômicas e Organolépticas.....	21
2.1.2 Características Químicas .....	23
2.1.3 Características Físicas .....	24
2.1.4 Propriedades Mecânicas .....	26
2.2 Tecnologia da Madeira para Produção de Móveis .....	28
2.2.1 Madeira Roliça .....	29
2.2.2 Madeira Serrada.....	29
2.2.3 Madeira Beneficiada.....	30
2.2.4 Secagem da Madeira.....	31
2.3 Madeiras de Estudo e a Biodiversidade da Amazônia .....	33
2.3.1 Madeiras Regionais .....	33
2.3.2 Cedro ( <i>Cedrela spp. Meliaceae</i> ).....	35
2.4 A verticalização da Indústria da Madeira.....	36
2.5 Design de Móveis e Processos de Fabricação .....	39
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
3.1 Seleção do Material .....	41
3.2 Preparação das Amostras.....	42
3.3 Ensaio Físicos .....	44
3.3.1 Umidade .....	44

3.3.2 Densidade Básica e Densidade Aparente .....	45
3.4 Ensaio Mecânicos .....	45
3.5 Ensaio Aplicados .....	47
3.5.1 Ensaio de Compressão Longitudinal e Transversal as Fibras .....	48
3.5.2 Ensaio de Compressão Radial as Fibras .....	49
3.5.3 Ensaio de Flexão Estática Paralelo às Fibras.....	49
3.6 Projeto de Produto .....	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
4.1 Umidade e densidade da madeira .....	52
4.2 Ensaio de Compressão e Flexão .....	53
4.2.1 Ensaio de Compressão Longitudinal e Transversal às Fibras .....	53
4.2.2 Ensaio de Compressão Radial às Fibras .....	55
4.2.3 Ensaio de Flexão Estática Paralelo às Fibras.....	58
4.3 Protótipo Proposto .....	63
5 CONCLUSÃO.....	68
6 TRABALHOS FUTUROS .....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	70



## 1 INTRODUÇÃO

A indústria de base florestal consome grande volume de madeira nos seus diversos segmentos, os quais são supridos principalmente por espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores – IBA (2018), elas são cultivadas em plantios florestais que somam aproximadamente 7,83 milhões de hectares e geram um volume anual de madeira em toras de 254 milhões de metros cúbicos.

O total de área certificada aumentou para 6,3 milhões de hectares, incluindo área produtiva e de certificação. Esses gêneros apresentam e proporcionam grandes vantagens e benefícios ao setor florestal, em função da boa adaptação edafoclimática, elevada produtividade volumétrica e redução da pressão antrópica sobre as florestas nativas.

O setor que a IBA representa inclui pisos e painéis de madeira, papel e celulose, madeira serrada e carvão vegetal, com crescimento de 13,1% em relação a 2017, alcançando uma receita total de R\$ 86,6 bilhões. Comparando com o desempenho de grandes setores, o segmento de árvores cultivado para fins industriais tem crescido e com isso cada vez mais o segmento consolida sua relevância no cenário econômico nacional, com uma participação de 1,3% do PIB e 6,9% do PIB industrial (IBA, 2018).

Contudo, essas espécies comerciais carecem de propriedades adequadas à obtenção de produtos de alto valor agregado provenientes de madeira serrada (móveis, portas, molduras, painéis de colagem lateral, pisos). Conforme o IBA (2018), as indústrias que verticalizam esta matéria-prima, como as movelarias, laminadoras, fabricantes de pisos, entre outras, estão passando por uma escassez de matéria-prima devido aos impeditivos legais e fiscalizadores.

Assim, as espécies tradicionais podem ser substituídas por outras espécies exóticas que vêm sendo introduzidas e ou estudadas no Brasil (TRIANOSKI, 2014) ou por espécies nativas que ainda são pouco conhecidas e utilizadas por falta de conhecimento técnico-científico sobre seu potencial. Madeiras nativas como Marupá, Virola, Andiroba e Cuaruba, entre outras classificadas como “madeiras alternativas”, são exemplos de potenciais (SANTOS; HUMMEL, 1988). Dessa forma, é possível substituir madeiras tradicionais, inclusive as que já entraram em extinção e outras protegidas por leis, como: *Sweteniamacrophylla* (Mogno) e *Cedrelaspp.* (Cedro), além das denominadas madeiras nobres.

Somada à grande variabilidade de matérias-primas, a indústria de madeira do Estado do Pará engloba uma gama bastante diferenciada de empresas e de produtos. Têm-se os seguintes grupos: a) produtores de madeira beneficiada (tábuas, barrotes, pranchas, pernambucas, longarinas, ripões e entre outros.); b) produtores de compensado e laminado de

madeira; c) produtores de artefatos (esquadrias, portas, janelas, molduras, decks, pisos e pequenos artefatos em madeira); e d) produtores de móveis, casas pré-fabricadas e móveis planejados, entre outros (ABIMCI, 2016).

A madeira bruta aparece em primeiro lugar no ranking das exportações brasileiras do setor florestal nos seis primeiros meses de 2017, com alta de 37,8% em tonelagem na comparação com o mesmo período do ano passado, de acordo com relatório do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio Exterior e Serviços - MDIC, (2018). A lista conta ainda com madeira laminada, que teve uma alta de 21,7%, serrada (18,3%), compensadas (12,4%) e móveis e suas partes (0,8%) (MDIC, 2018).

Segundo o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, a promoção de melhorias no processo e no produto com inovação e tecnologia aplicado às micro, pequenas e médias empresas do estado do Pará justificam-se pela competitividade (SENAI, 2018). A pesquisa aplicada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) cita que as indústrias, primeiramente, estão indo ao encontro dos entraves e/ou “gargalos” apontados pelo menor índice do país de fomento à inovação, ao desenvolvimento de novos produtos e/ou processos industriais.

Devido aos avanços tecnológicos e design, vale à pena investir em inovação e pesquisa em propriedades físicas e mecânicas das madeiras e na sua utilização em processos indústrias (AZEREDO, 2006). Dentre estas inúmeras possibilidades, a viabilidade de utilização de um determinado material ocorre desde que suas propriedades físicas, mecânicas, químicas, o custo e sua disponibilidade no mercado sejam adequados (BAXTER, 2011).

Neste estudo, analisa-se a viabilidade do uso de uma espécie de madeira amazônica, considerada como "madeira alternativa", de nome científico *Simarouba amara* Aubl, *Simaroubaceae*, no setor mobiliário. Para tanto, fez-se um estudo aplicado com ensaios mecânicos da matéria-prima a fim de propor seu uso e aplicabilidade nas indústrias locais, em específico para o desenvolvimento de produtos ou partes e componentes de móveis.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Caracterizar física e mecanicamente a madeira Marupá para uso em produtos mobiliários, bem como propor um protótipo desenvolvido para futuras aplicações industriais.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar propriedades físicas da madeira Marupá;
- Caracterizar propriedades mecânicas da madeira Marupá;
- Propor um protótipo para a indústria moveleira.

### **1.1.3 Motivação**

As empresas existentes na Região Metropolitana de Belém (RMB), em sua maioria, são micro e pequenas empresas que sentem dificuldades em expandir seus negócios devido à falta de políticas públicas voltadas adequadamente a esta finalidade. Dentre elas se encontra o setor de madeira e móveis. Os empresários locais se deparam com inúmeras burocracias na extração, na aquisição, no transporte e na comercialização da madeira e ou de produtos. Outro entrave observado é a falta de investimento em tecnologias e inovação.

É notório que os profissionais que desenvolvem produtos devem seguir normas técnicas de fabricação e de controle de qualidade, incluindo a inspeção e os ensaios finais, sejam na matéria-prima e ou nos produtos acabados. Neste contexto, é fundamental que sejam desenvolvidos produtos visando à sustentabilidade e seguindo normas técnicas de controle de qualidade nos projetos desenvolvidos por micro, pequenas e médias empresas fabricantes de móveis da região metropolitana de Belém, pois em grande parte não possuem conhecimentos técnicos e de propriedades físicas e mecânicas das madeiras regionais (SOUZA, 2009).

A motivação também está relacionada a um caso vivenciado por um produtor local relatado a seguir (item 1.1.4), no ano de 2008, quando foi fabricado um lote de mobiliário para um restaurante. Naquele período, havia a escassez da madeira devido às operações denominadas Arco de Fogo no Estado do Pará, Mato Grosso e Amazonas. Havia em toda extensão deste Arco 120 indústrias madeireiras que exploravam 1,8 milhões de metros cúbicos de madeira em tora entre os anos de 1998 a 2007 (IBAMA, 2008). Muitas destas serrarias eram irregulares ou exploravam de forma predatória, levando à escassez da matéria prima local.

### 1.1.4 Desafios

A proposta deste estudo se deu pela necessidade de haver uma maior segurança quanto ao desenvolvimento de projetos em mobiliário, visto que, no ano de 2008, a empresa de base familiar denominada Fábrica de Móveis Souza produziu um lote de cadeira e mesa dobrável, esteticamente bonito, mas inviável para utilização humana quanto ao fator segurança. O problema se deu justamente na questão das espécies de madeiras utilizadas no produto, o que culminou na reprovação e retirada do mercado por motivos de quebra do produto. Esse fato abriu precedentes para este estudo hoje desenvolvido, na madeira denominada Marupá (*Simarouba amara Aubl, Simaroubaceae*), utilizada na fabricação do mobiliário, conforme Figura 1.

Figura 1 - Conjunto: (a) Mesa e cadeira dobrável e (b) Lote desativado



(a)

(b)

Fonte: Fábrica de Móveis Souza, 2008 (a) a 2019 (b).

O referido estudo busca caracterizar a madeira Marupá para fins comerciais na fabricação de móveis. Os corpos de prova foram coletados para testes tecnológicos de ensaio de compressão longitudinal e transversal as fibras, ensaio de compressão radial as fibras e ensaio de flexão estática perpendicular as fibras, bem como a utilização da metodologia projectual para confecção de um protótipo para uma pré-análise e, no futuro, um possível teste para certificação do produto. A partir desta análise, propõe-se desenvolver um estudo aplicado que possa validar a matéria-prima local com a finalidade de propor seu uso, eficácia e suprimento para o setor moveleiro.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Caracterização Tecnológica da Madeira**

A madeira é um tecido secundário (xilema secundário), complexo constituído de vários tipos de células com formatos e funções diferentes, que tem por função conduzir a seiva bruta para a copa dando suporte ao vegetal, havendo o armazenamento e transformações químicas. Trata-se de um material anisotrópico, higroscópico, biodeteriorável, resistente e perene. As funções destes elementos anatômicos nas árvores vivas são transportar líquidos e gases, fornecer suporte mecânico, armazenar alimento e produzir secreções. Como um produto biológico de origem natural, a madeira é caracterizada por um alto grau de diversidade e variabilidade em suas propriedades (OLIVEIRA et al., 1999).

As plantas que produzem madeira (árvores), caracterizadas pela presença de caules de grandes dimensões, em geral denominados troncos, crescem em diâmetro ano após ano. Pela sua disponibilidade e características, a madeira foi um dos primeiros materiais a ser utilizado pela humanidade, mantendo, apesar do surgimento dos materiais sintéticos, uma imensidade de usos diretos e servindo de matéria-prima para múltiplos outros produtos (PFEIL, 2003).

Segundo Hardesty et al. (2005), a espécie coníferas, dependendo do ambiente, pode variar em suas características. Em regiões de florestas densas, como a Amazônica, a espécie apresenta-se como árvore atingindo até 35 m. Em cerrado e em matas do Bioma Cerrado, a espécie atinge entre 5 e 15m, respectivamente.

Por sua vez, a variabilidade que se verifica em uma espécie deve-se essencialmente aos fatores do meio ambiente que condicionam o seu crescimento específico. Logo, como resultado da proveniência natural da madeira, as suas propriedades físicas e mecânicas têm um grau de variabilidade elevado, tipicamente superior a outros materiais.

Em consequência destas características de variabilidade e levando em consideração o forte relacionamento entre estas duas classes de propriedades físicas e mecânicas, é fundamental a atenção a esta relação ao se estudar o comportamento mecânico da madeira.

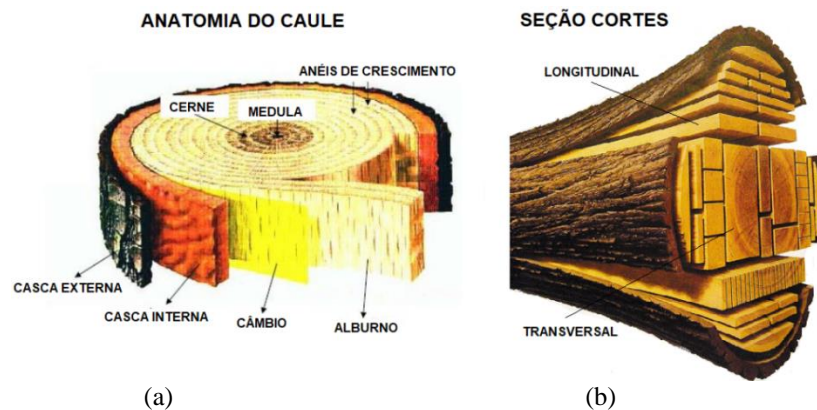
#### **2.1.1 Características Anatômicas e Organolépticas**

A anatomia da madeira pode ser avaliada pela análise macroscópica ou microscópica. As características anatômicas macroscópicas são aquelas observáveis a olho nu ou com uma lupa de 10 aumentos (lupa conta-fios), após o polimento da superfície da madeira com uma faca bem afiada.

Macroscopicamente, as características anatômicas avaliadas estão ligadas à forma, tamanho ou distribuição dos elementos celulares: vasos, raios parenquimáticos e parênquima axial, alburno, anel de crescimento, grã, câmbio vascular. Trata-se também dos aspectos relacionados aos anéis de crescimento (ou camadas de crescimento), bem como a forma, tamanho ou distribuição de elementos celulares, como: vasos (ou poros), parênquima axial e raios parenquimáticos (EMBRAPA, 2011).

O ciclo de crescimento da árvore é formado numa zona chamada câmbio vascular (entre a casca interna e o xilema) por ação das condições ambientais. Desse modo, também poderão aparecer falsos anéis de crescimento, originados por variações ambientais adversas (irregulares e anormais) para uma dada época. A variabilidade das propriedades anatômicas da madeira pode ser observada nos seus três planos de corte principais: transversal, longitudinalradial e longitudinal tangencial (BRGER, 1991), conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 - (a) Anatomia o caule e (b) Seção transversal de um tronco



(a) (b)  
Fonte: Livro Anatomia da Madeira – BURGER (1991).

As organolépticas, segundo a Associação Nacional de Produtores de Pisos de Madeira (ANPM, 2019), são aquelas que estão diretamente ligadas ao valor decorativo ou ornamental do lenho e perceptíveis pelos órgãos sensoriais: cor, odor, desenho, brilho, textura e grã, ou seja, todas as características que podem ter influência positiva ou negativa no emprego de madeiras para os fins desejados.

Para estudar a madeira a nível microscópico, deve-se assumir um protocolo de ações para a obtenção destas características tais como os plano de corte, por meio dos quais são observadas as características e particularidades dos tecidos e das células constituintes do xilema secundário (lenho), frequentemente definidas previamente no exame macroscópico.

Os autores Paula e Alves (2012) comentam que a madeira é um material anisotrópico, ou seja, não apresenta as mesmas propriedades em todas as direções. Assim, como diferentes

aspectos da estrutura celular são revelados em direções distintas, exige-se o estudo da anatomia da madeira em três diferentes planos a exemplo das amostras de *Erisma uncinatum* (Figuras 3a, 3b e 3c).

Figura 3 - Fotomicrografia da madeira de *Erisma uncinatum* a) plano transversal, b) radial e c) tangencial e com aumento de 20 x e escala de 1mm



Fonte: RIBEIRO (2017).

Nome vulgar: Cedrinho, cedrilho, cambará, jaboti, libra, pau tabuinha, quaruba, quaruba vermelha, quarubarana, tabuinheiro. Nome científico: *Erisma uncinatum* Warm; Família: Vochysiaceae (REFLORA, 2017).

Para os anatomistas, a cor é uma propriedade de importância secundária na identificação, e sua variação se dá devido à impregnação de substâncias orgânicas nas células nas paredes celulares (PAULA; ALVES, 2012). Uma mesma espécie pode sofrer variações de cor devido a questões naturais que ocorrem com a umidade, luz, posição na árvore e influência do solo no crescimento, ou ainda ao estado sanitário da árvore. Tais diferenças de cores entre as espécies podem influenciar na escolha para fabricação de mobiliário no setor moveleiro, pois valoriza a estética.

### 2.1.2 Características Químicas

A madeira, por apresentar em sua constituição os elementos químicos: carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O) e nitrogênio (N), contém células formadas por paredes de membranas celulósicas permeáveis: a parede primária, que aos poucos vai se cobrindo de lignina; e a parede secundária, que deixa falhas permeáveis e pontuações.

Do ponto de vista da composição química molecular, a madeira é composta de extrativos, minerais, celulose, hemiceluloses, lignina. A celulose constitui a estrutura de sustentação das paredes celulares (KLOCK, 2008). A lignina é o material aglomerante que liga as células umas às outras. Estes dois componentes são os responsáveis por todas as propriedades da madeira, tais como higroscopicidade, resistência à corrosão e outros.

Os extrativos têm como característica, entre outras, o fato de não fazerem parte da estrutura da parede celular, assim como possuir baixa massa molecular, somando pequenas quantidades. Geralmente, são representados pelos óleos essenciais, resinas, taninos, graxas e pigmentos (MORAIS et al., 2005).

Os extrativos são responsáveis por determinadas características da planta, como cheiro, resistência natural ao apodrecimento, sabor e propriedades abrasivas. Sua composição e quantidade relativa dependem de diversos fatores, como espécies, idade da planta e região de plantio. Por estes motivos, em algumas espécies, o cerne apresenta quantidades maiores de extrativos que o alburno. O processo de deposição dos extrativos é chamado de cernificação, e o cerne então formado não tem mais nenhuma função metabólica para a planta, ficando apenas com função de sustentação (SILVA, 2005).

### **2.1.3 Características Físicas**

Levando em consideração outros aspectos - econômicos, estéticos, durabilidade, trababilidade - as madeiras podem ser classificadas e agrupadas conforme os fins a que se destinam como: ambientes internos e externos, estrutural ou peças e componentes. Desta forma, as características físicas da madeira são de suma importância para definir seu uso e aplicabilidade.

No estudo da física está a densidade, a retratibilidade, a umidade, as condutibilidades térmica, sonora e outras propriedades. No entanto, quando falamos em propriedades para a determinação da melhor espécie para usos estruturais e industriais, a densidade e a retratibilidade são as mais importantes, visto que estão diretamente relacionadas à resistência e a instabilidade dimensional da madeira (ZIECH, 2008).

O baixo quantitativo de trabalhos de pesquisa sobre densidade e umidade de madeiras exploradas comercialmente na Amazônia deixam lacunas significativas nas informações necessárias à adequação do seu uso, bem como nas características anatômicas e comportamento dessas madeiras nos processos industriais (NOGUEIRA et al., 2008).

Os módulos de ruptura (MOR) e de elasticidade (MOE) são propriedades mecânicas da madeira que expressam a rigidez e a resistência, respectivamente. Para Scanavaca e Garcia (2004), são parâmetros muito importantes na caracterização tecnológica da madeira, porque os dois estimam a resistência do material submetido a uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal da peça. Essas propriedades são dependentes da densidade básica, do equilíbrio higoscópico, da retratibilidade, do teor de umidade, da porcentagem de madeira juvenil, da largura dos anéis, do ângulo das microfibrilas, da inclinação da grã, da quantidade de extrativos,



da intensidade ao ataque de insetos, do tipo e da localização e quantidade de nós, dentre outros fatores (EVANS et al., 2000).

A densidade, ou massa específica, está associada ao teor de água que a madeira apresenta e é uma das propriedades mais importantes para a classificação da madeira, muitas vezes determinando seu melhor uso. Relaciona-se diretamente à massa seca contida em um determinado volume, expressa em  $\text{kg/m}^3$  ou  $\text{g/cm}^3$ . Segundo Pashin e Zeeuw (1970), é uma propriedade que varia conforme o gênero e espécie nas diferentes regiões.

Já Shimoyama (1990) cita que densidade básica em espécies de *Eucalyptus* sp., com variações nos seus constituintes químicos e anatômico está relacionada à espessura da parede e ao diâmetro do lume das fibras. Conforme o autor, as características químicas não apresentaram influência, isoladamente, sobre a densidade básica da madeira.

De acordo com Brandão (1989), a permeabilidade da madeira está diretamente relacionada à sua densidade, pois, quanto mais permeável é um material, geralmente menor é sua densidade, tornando-se, assim, um fator importante para a secagem da madeira.

A Norma Brasileira da ABNT/NBR 14929/2017 apresenta duas definições de densidade a serem utilizadas em estruturas de madeira: a densidade básica e a densidade aparente. A básica é definida como a massa específica convencional obtida pelo quociente da massa seca pelo volume saturado e pode ser utilizada para fins de comparação com valores apresentados na literatura internacional. Logsdon (2017) defende que, apesar da densidade da madeira poder ser determinada a qualquer porcentagem de umidade, os resultados obtidos são tão variáveis que a padronização é necessária para fins de comparação. A nova versão da norma brasileira, NBR 7190 - Projeto de Estruturas de Madeira, da ABNT (1997), adota a umidade de referência de 12%.

Por ser um material higroscópico que mantém relações dinâmicas com a água do meio à medida que a madeira perde água, ela se retrai, ao passo que o inchamento ocorre a adsorção de água. Praticamente toda a movimentação ocorre entre a umidade de saturação das fibras é 0% de umidade, ou seja, as variações dimensionais correspondem à dessorção ou à adsorção de água higroscópica localizada nas paredes celulares.

O aumento de volume (inchamento) deve-se, principalmente, à inclusão de moléculas de água nos espaços submicroscópicos entre as micelas (feixes formados por moléculas de celulose), afastando-os e alterando, conseqüentemente, as dimensões da madeira (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

As características de retratibilidade da madeira são bastante diferentes entre as

espécies, dependendo do *modooperandis* da secagem e do próprio comportamento da madeira, o que leva, ocasionalmente, às alterações da forma e à formação de fendas e empenos dependendo da densidade básica e a aparente (ELEOTÉRIO, 2014).

### 2.1.4 Propriedades Mecânicas

Devido à diversidade de espécies com propriedades potenciais de uso diferenciado, as madeiras constituem-se em um dos principais materiais empregados em todas as etapas da construção de um produto (CURY; TOMAZELLO FILHO, 2011). Por caracterizar-se como um material heterogêneo, em termos de estrutura anatômica, e anisotrópico, torna-se necessário o conhecimento de suas propriedades mecânicas para melhor direcionamento deste material, já que estas servem de critério para seleção e dimensionamento de peças estruturais conforme propriedades mecânicas da madeira.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas da madeira

Resistência da madeira em diferentes direções	$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	$\rho$ (MPa)	$f/\rho$
Tração	0,5 – 1,2	30 – 110	60-90
Compressão	0,5 – 1,2	30-60	50-60

-----  
 $\rho$  = massa específica;  $f$  = resistência característica

Fonte: Adaptado de PFEIL (2003).

Por outro lado, a madeira está sujeita à degradação biológica por ataques de fungos, brocas etc. e também à ação do fogo. Além disso, por ser um material natural, apresenta inúmeros defeitos, como nós e fendas que interferem em suas propriedades mecânicas (PFEIL, 2003).

As características dos materiais obtidas através dos ensaios são fundamentais para o dimensionamento de elementos estruturais de um produto. Pode-se definir ensaio como a observação do comportamento de um material quando submetido à ação de agentes externos, como esforços e outros (PFEIL, 2003).

A NBR 7190: 1997 recomenda que, se a peça e o equipamento não permitirem que tais condições sejam exatamente atingidas, a distância entre os pontos de aplicação das forças e os apoios pode ser alterada de um valor não superior a 1,5 vezes à altura da secção da peça, e o vão e o comprimento da peça podem ser alterados de um valor não superior a três vezes àquela altura, sem prejuízo do ensaio.

O módulo de elasticidade e ruptura à flexão estática na direção do fio é uma propriedade muito importante na análise estrutural, constituindo-se como um indicador ou

medida da flexibilidade ou rigidez de um material. Define-se como material frágil quando a ruptura ocorre ao atingir o limite de proporcionalidade, sem se verificar a ocorrência prévia de deformações que indiquem essa situação.

Esta informação é bastante importante para o cálculo de estruturas, dada a alta correlação existente entre o valor do módulo de elasticidade à flexão estática e a tensão instalada no elemento solicitado, e entre a massa volumétrica e a resistência mecânica da madeira, submetida a esforços axiais (BOTELHO, 2006b). O módulo de elasticidade em flexão estática é dado por NP EN 408.

Estes visam não só medir as propriedades propriamente ditas, mas também comparar essas propriedades em diversos materiais, constatar a influência das condições de fabricação, tratamento e utilização dos materiais e, finalmente, determinar qual o material recomendável para uso sob determinadas condições, e se o material escolhido irá satisfazer as condições exigidas quando realmente aplicado na estrutura de um produto (COSTA, 2012).

Conforme também observado por Zenid (2005), todas as vantagens mencionadas podem ser perdidas se a madeira for aplicada sem levar em conta o conhecimento de suas diversas propriedades e adequação destas ao uso final desejado.

O comportamento físico mecânico da madeira está intimamente relacionado à sua estrutura celular, afetando processos de secagem, colagem, trababilidade e usabilidade. Por meio de um estudo aprofundado da anatomia da madeira, é possível diferenciar espécies identificando suas potencialidades e aplicabilidade de uso. Silva et al. (2009) salientam que, quando a madeira é destinada para fabricação de móveis, assoalhos, esquadrias e outros produtos que necessitem da qualidade na superfície, a trababilidade bem executada melhora o desempenho em processos de acabamento superficial, viabilizando economicamente esta operação.

Para a produção de mobiliário, devem ser levados em consideração o conhecimento das propriedades físicas da madeira utilizada em um móvel, como densidade, resistência mecânica, estabilidade dimensional e parâmetros de trababilidade, características essenciais para determinado uso e espécie de madeira (ARAÚJO, 2010). As propriedades físicas variam entre as espécies, assim como sua formação celular e posicionamento de crescimento. Tal comportamento pode viabilizar o processamento e a usinagem da madeira e proporcionar peças de maior qualidade.

## 2.2 Tecnologia da Madeira para Produção de Móveis

À medida que os avanços tecnológicos ocorrem na extração e na verticalização do uso da madeira para os diversos fins, o mercado consumista necessita de produtos industrializados de fácil manuseio, uso, conservação e manutenção. Tais necessidades são encontradas no uso das matérias primas envolvidas nos diversos produtos. Mesmo com a atual disponibilidade de numerosos materiais como sintéticos, vidros, metais e pedrarias, tem sido difícil manter um alto padrão de conforto sem a presença da madeira.

A madeira é um dos materiais mais antigos utilizados durante séculos pelas civilizações, dada sua disponibilidade em abundância na natureza e sua relativa facilidade de manuseio. Além disso, Zenid (2005) observa que a madeira possui diversas propriedades que a torna muito atraente frente a outros materiais. Dentre essas, são comumente citados o baixo consumo de energia para seu processamento, a alta resistência mecânica específica, as boas características de isolamento térmico e elétrico, além de ser um material fácil de ser trabalhado manualmente ou com utilização de máquinas. O fato de uma espécie de madeira ser inferior a outra traz possibilidades diversas para análise estrutural, seja para objeto, seja para componentes e ou elementos estruturais.

Lucas Filho (2004) descreve que o processo de transformação da madeira em móveis permite a agregação de grande valor ao produto, cabendo à usinagem grande parte “geração de valor”. Deve-se observar que a usabilidade da madeira seja compatível com as necessidades de qualidade, custo e produtividade. Assim, faz-se necessário desenvolver estudos com a finalidade de caracterizar o efeito das propriedades das diferentes espécies sobre a usabilidade.

Segundo Nahuz et al. (2002), a riqueza e a diversidade da madeira nativa brasileira sempre caracterizam a enorme variedade do setor moveleiro do país, nunca deixaram de representar a base principal de suprimento para indústria moveleira. A madeira, com suas características incomuns referentes às cores, desenhos, texturas e trababilidade, muito contribuiu para os móveis, seus modelos, comportamentos e desempenho. Outros tipos de materiais de procedência de verticalização industrial, tais como metais, plásticos, cimento, etc., apresentam problemas da disponibilidade de matéria prima, alta necessidade de insumos energéticos para sua obtenção, além de problemas de contaminação ambiental criados no processo produtivo.

O avanço tecnológico no beneficiamento e no processamento de materiais provenientes da floresta vem aumentando significativamente no Brasil e no mundo. Produtos

de madeiras podem ser utilizados na indústria moveleira as quais variam desde peças com pouco ou nenhum processamento, como as madeiras roliças, até peças com diversos graus de beneficiamento, como: madeira serrada e beneficiada, madeira laminada, painéis de madeira e madeira tratada com produtos que preservam suas características.

### **2.2.1 Madeira Roliça**

A madeira roliça é o produto com menor grau de processamento da madeira (IPT, 2009). Consiste de um segmento do fuste da árvore, obtido por cortes transversais (traçamento) ou mesmo sem esses cortes (varas: peças longas de pequeno diâmetro). Na maior parte dos casos, seque a casca é retirada. Tais produtos são empregados, de forma decorativa, em móveis rústicos e acabamentos em geral. Em construções rurais, é frequente o seu uso em estruturas de telhado.

Neste tipo de produto também se enquadra a madeira roliça: postes, porteiras, mourões, em geral tratados com produtos preservativos de madeira, empregada em estruturas de edificações, assim como a madeira roliça empregada na pré-fabricação das chamadas *log homes* (IPT, 2009). Na região centro-sul do país, é proveniente de reflorestamentos, principalmente daqueles realizados com as diversas espécies de eucalipto (*Eucalyptus* spp.). Na região amazônica, madeiras nativas na forma roliça são empregadas somente nas regiões produtoras, onde se destaca a acariquara (*Minquartiaguianensis*), pela sua resistência mecânica e alta durabilidade natural (IPT, 2009).

### **2.2.2 Madeira Serrada**

A madeira serrada é produzida em unidades industriais - serrarias - onde as toras são processadas mecanicamente, transformando a peça originalmente cilíndrica em peças quadrangulares ou retangulares, de menor dimensão. A sua produção está diretamente relacionada com o número e as características dos equipamentos utilizados, além do rendimento baseado no aproveitamento da tora (volume serrado em relação ao volume da tora), sendo esta a função do diâmetro da tora (maiores diâmetros resultam em maiores rendimentos) (GONZAGA, 2006).

As diversas operações pelas quais a tora passa é determinada pelos produtos que serão fabricados. Na maioria das serrarias, as principais operações realizadas incluem o desdobro, o esquadrejamento, o destopo das peças e o pré-tratamento. O pré-tratamento possui caráter profilático e tem por objetivo proteger a madeira recém serrada contra fungos e insetos xilófagos, apenas durante o período de secagem natural. É realizado, normalmente, por meio

da imersão das pranchas em um tanque com uma solução contendo um produto preservativo de ação fungicida e outro de ação inseticida.

Segundo a Confederação Nacional da Indústria - CNI (2016), as normas técnicas podem estabelecer requisitos de qualidade, desempenho, segurança (fornecimento, uso ou destinação final), procedimentos, padronizar formas, dimensões, tipos, usos, definir a maneira de medir ou determinar as características.

Devido ao método de tratamento e à natureza dos produtos preservativos utilizados, o pré-tratamento confere uma proteção superficial à madeira, pois atinge somente suas camadas mais externas. O pré-tratamento pode ser dispensado pela indústria quando a secagem da madeira é feita em estufas, imediatamente após desdobro das toras, e não deve ser considerado, pelo consumidor, como um tratamento definitivo da madeira que vai garantir sua proteção quando seca e em uso. As serrarias produzem a maior diversidade de produtos: pranchas, pranchões, blocos, tábuas, caibros, vigas, vigotas, sarrafos, pontaletes, ripas e outros (TSOUMES, 1991). A Tabela 2 apresenta os principais produtos obtidos nas serrarias, bem como suas dimensões.

Tabela 2 - Dimensões dos principais produtos de madeira serrada

<b>Produtos</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Largura (mm)</b>	<b>Comprimento (m)</b>
Pranchão	Maior que 70	Maior que 200	Variável
Prancha	40 - 70	Maior que 200	Variável
Viga	Maior que 40	110 - 200	Variável
Vigota	40 - 80	80 - 110	Variável
Caibro	40 - 80	50 - 80	Variável
Tábua	10 - 40	Maior que 100	Variável
Sarrafo	20 - 40	20 - 100	Variável
Ripa	Maior que 20	Maior que 100	Variável
Dormente	160 - 170	220 - 240	2,00 – 5,60/ 2,80 – 5,60
Pontalete	75	75	Variável
Bloco	Variável	Variável	Variável

Fonte: Adaptado da NBR: 7203 (1982).

### 2.2.3 Madeira Beneficiada

A madeira beneficiada é obtida pela usinagem das peças serradas, agregando valor às mesmas. As operações são realizadas por equipamentos com cabeças rotatórias providas de

facas, fresas ou serras, que usinam a madeira dando a espessura, largura e comprimento definitivos, forma e acabamento superficial da madeira. Podem incluir as seguintes operações: aplainamento, molduramento e torneamento, e ainda desengrosso, desempeno, destopamento, recorte, furação, respigado, ranhurado, entre outras. Para cada uma destas operações, existem máquinas específicas, manuais ou não, simples ou complexas, que executam vários trabalhos na mesma peça.

No aplainamento, as sobre medidas e as irregularidades são retiradas, deixando a superfície mais lisa. O molduramento faz os cortes de encaixes - tipo macho-fêmea, por exemplo - no comprimento para peças destinadas a forros, lambris, peças para assoalhos, batentes de portas, entre outros. Observa-se, dessa forma, que existem diferentes tipos de normas: procedimentos, especificação, método de análise, método de ensaio e padronização.

No torneamento, as peças tomam a forma arredondada, como balaustres de escadas. As dimensões dos principais produtos usinados representados por madeira aplainada em duas ou quatro faces, assoalhos e forros (macho-fêmea), rodapés, molduras de diferentes desenhos, madeira torneada, furada com respigas, são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Dimensões das principais peças de madeira beneficiada

<b>Produtos</b>	<b>Dimensões</b>
Assoalho	20 X 100
Forro	10 X 100
Batente	45 X 145
Rodapé	15 X 150 ou 15 X 100
Taco	20 X 21

Fonte: Adaptado da NBR: 7203 (1982).

#### **2.2.4 Secagem da Madeira**

A secagem pode ser feita ao ar livre desde que a madeira esteja empilhada corretamente e coberta, para evitar rachaduras e empenamentos. A secagem pode ser rápida sem a ocorrência de defeitos em programas brandos ou pode ser muito rápida, com pequena tendência a torcimento médio (IBAMA, 1997a). A secagem em secadores convencionais é classificada como rápida, sem problemas com defeitos. Observações práticas têm mostrado que condições muito drásticas de secagem podem ocasionar endurecimento superficial (JANKOWSKY, 1990).

Segundo a Norma NBR 11941: 2003 (Madeira – Determinação da Densidade Básica), para a investigação direta de lotes de madeira serrada considerados homogêneos, cada lote não deve ter volume superior a 12 m<sup>3</sup>.

A massa seca é determinada mantendo se os corpos de prova em estufa a 103°C até que a massa do corpo de prova permaneça constante. O volume saturado é determinado em corpos de prova submersos em água até atingirem peso constante.

Os secadores convencionais operam em temperaturas que podem chegar a 90°C, com velocidades de ar entre 1,4m/s e 2,3m/s. é o tipo mais comum de secador usado pela indústria madeireira.

A operação deste tipo de secador exige conhecimento teórico e prático sobre as características das madeiras sob secagem, para evitar o aparecimento de defeitos e depreciação econômica do lote que está sendo seco. O processo deve ser conduzido com cuidado e em etapas que se sucedem, com o aumento gradativo da temperatura e diminuição da umidade relativa do ar no interior da câmara.

Do ponto final da secagem, conforme o manual de secagem do IPT (PONCE E WATAI, 1985), as madeiras devem ser secas até um teor de umidade final em função do tipo de aplicação a que se destinam, como visto na Tabela 4.

Tabela 4 - Teor de umidade recomendado

<b>Produtos</b>	<b>%</b>	<b>Produtos</b>	<b>%</b>
Madeira serrada comercial	16 - 20	Brinquedos para exteriores	10 - 15
Madeira construção externa	12 - 18	Equipamentos elétricos	05 - 08
Madeira construção interna	08 - 11	Embalagens (caixas)	12 - 16
Painéis derivados de madeira	06 - 08	Formas para calçados	06 -09
Pisos e lambris	06 - 11	Coronhas de espingarda	07 - 12
Móveis para interiores	06 -10	Instrumentos musicais	05 - 08
Móveis para exteriores	12 - 16	Implementos agrícolas	12 - 18
Equipamentos esportivos	08 - 12	Barcos	12 - 16
Brinquedos para interiores	06 - 10	Aviões	06 - 10

Fonte: Adaptado do IPT - PONCE e WATAI (1985).



## 2.3 Madeiras de Estudo e a Biodiversidade da Amazônia

### 2.3.1 Madeiras Regionais

As madeiras regionais consideradas nobres são as espécies que mais foram utilizadas durante os séculos devido a sua aceitação de mercado, pois apresentam características com maior densidade e alta resistência ao ataque de fungos e insetos por terem mecanismo de defesa que inibe o ataque desses organismos. Ao longo dos anos, foram realizados diversos estudos referentes às estas madeiras, as quais qualificaram para aplicações diversas como na construção de casas, pontes, instrumentos musicais, móveis, revestimento, entre outras finalidades. Por isso, são bastante cobiçadas no mercado interno e externo (GONZAGA, 2006).

A Amazônia apresenta a maior variedade de espécies de madeiras, mas chega a ser um obstáculo à comercialização mais intensa de madeiras “alternativas”, visto que os mercados se concentram naquelas mais conhecidas e, portanto, mais aceitas pelos consumidores nacionais e internacionais.

### 2.3.2 Marupá (*Simarouba Amara Aubl*, *Simaroubacea*)

O Marupá é uma madeira nativa comumente encontrada nas florestas da Amazônia nos Estados do Amazonas, Acre, Amapá, Mato Grosso, Pará, Rondônia. Ocorre desde as Índias Ocidentais até o estado da Bahia. É frequente na Amazônia e nos estados da Bahia, Pernambuco e Ceará. É uma árvore grande de copa frondosa, casca rugosa e acidentada. Folhas alternas, compostas e compactas. Além do nome popularmente conhecido Marupá, existem outros populares: caixeta, caxeta, marupaúba, paraparaíba, pararaúba, parariúba, pau-paraíba, simaruba, tamanqueira (IPT, 1983).

Durabilidade natural: Madeira suscetível à ação de fungos manchadores (IBAMA, 1997a). Em laboratório apresentou baixa durabilidade a fungos apodrecedores e ao ataque de cupins (INPA, 1991). A Madeira é considerada suscetível ao ataque de cupins, perfuradores marinhos e broca-de-Madeira (gênero *Lyctus*) (BERNI et al.,1979). Estudo feito pelo IBAMA (1997) e INPA (1991) apontam que o Marupá possui amargura natural, que se dá para madeira cedro amargoso ou cheiro, pois há estudos de variações das propriedades físicas devido à localidade, o clima e o solo.

A espécie tem ganhado visibilidade no Pará e em outros estados da federação, haja vista ser uma madeira apreciada para construção de urnas mortuárias e instrumentos musicais, tendo seu espaço nas indústrias de transformação. O marupá (*Simarouba amara*), cuja

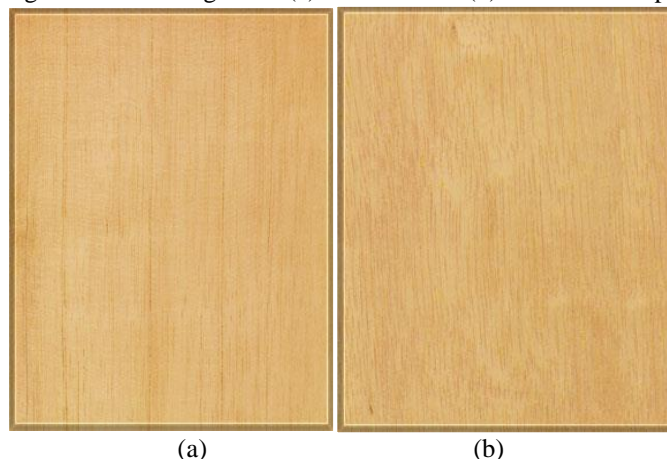
densidade varia entre 0,45 a 0,55 g/cm<sup>3</sup>, é considerada uma madeira leve e de cor branco palha (Figura 5), levemente amarelada ou ainda branca ligeiramente rosada, de superfície lustrosa e moderadamente lisa ao tato, grã-direta, textura grosseira, sabor amargo e cheiro indistinto. É uma madeira resistente ao ataque de insetos (LOUREIRO, 1970), de fácil trabalhabilidade e boa de acabamento (SOUZA, 1983).

A madeira ainda não é conhecida com profundidade por muitos profissionais que a utilizam em seu dia a dia. Somente com pesquisa, é possível evidenciar os caminhos para a correta preservação das espécies, bem como o plantio programado e adequado, o uso e a valorização de outras espécies ainda não conhecidas, nem divulgadas comercialmente. Com a correta especificação dos materiais derivados da madeira, é possível propor o uso adequado das madeiras alternativas para o mobiliário (AZEREDO, 2006).

Há uma grande proporção dessas madeiras encontradas nas regiões tropicais, e um grande número ainda é inexplorado. Do ponto de vista comercial, o número de madeiras exploradas é ainda muito pequeno em relação ao total de espécies com este potencial. No Estado do Pará, o Marupá foi muito utilizado para caixaria de frutas, forro residencial, divisórias de paredes e até para fabricação de urnas mortuárias devido a sua leveza.

O Marupá é considerado uma madeira de trababilidade excelente, leve, e de fácil absorção de produtos químicos como cola, impermeabilizantes e selantes, porém, em contatos aos intepéries do clima como solo, água, fungos, a madeira se deteriora com maior rapidez. No que se refere à matéria prima para construção de objetos de madeiras: instrumentos musicais, urnas mortuárias, entre outros artefatos, ainda sim pouco se foi explorado do seu potencial, algumas fábricas e artesões, a partir dos anos de 1990, de forma bem sucinta, foram introduzindo o marupá, mas poucos estudos ocorreram sobre sua real resistêcia na utilização do mobiliário.

Figura 4 - Face tangencial (a) e Face radial (b) madeira Marupá



(a)

(b)

Fonte: IPT (1983).

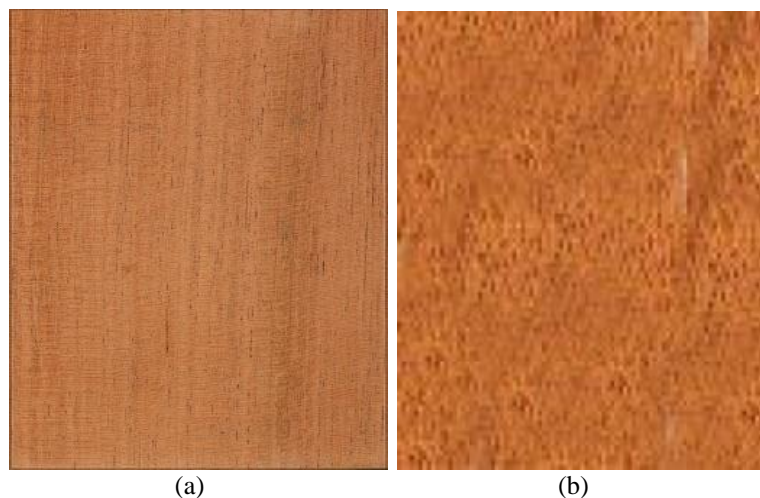
### 2.3.2 Cedro (*Cedrela spp. Meliaceae*)

O Cedro é uma madeira nativa comumente encontrada nas florestas da Amazônia nos Estados do Amazônia, Acre, Amapá, Amazonas, Bahia, Espírito Santo, Mato Grosso, Minas Gerais, Pará, Rondônia, Santa Catarina, São Paulo.

Apresenta as seguintes características sensoriais: cerne e alburno indistintos pela cor, bege-rosado; cheiro perceptível, desagradável quando a madeira está úmida e imperceptível depois da madeira seca; gosto indistinto; densidade baixa; grã ondulada; textura grossa. É muito utilizada para fabricação de móveis e para cosméticos e perfumaria. É uma árvore grande de copa frondosa, casca rugosa e acidentada. Além do nome popularmente conhecido cedro cheiroso, existem outros nomes populares: cedro-amargo, cedro-batata, cedro-branco, cedro-do-amazonas, cedro-manso, cedro-rosa, cedrinho e cedro-vermelho (IPT, 1983).

A madeira de cedro apresenta durabilidade moderada ao ataque de organismos xilófagos (fungos e insetos) (IPT, 1989). Entretanto, existe variação quanto a durabilidade do cerne. Algumas espécies são resistentes ao ataque de cupins subterrâneos e cupins-de-madeira-seca, enquanto outras (por exemplo *Cedrelafissilis*) são muito suscetíveis ao ataque por esses organismos. Apresenta baixa resistência ao ataque de xilófagos marinhos (CHUDNOFF; BERNI et al., 1979). Um estudo realizado pela SUDAM/IPT (1981) verificou que a durabilidade desta madeira é inferior a 12 anos de serviço em contato com o solo. O cerne apresenta baixa permeabilidade às soluções preservativas, enquanto o alburno é permeável (CHUDNOFF; BERNI et al., 1979).

Figura 5 - Face tangencial (a) e Face radial (b) madeira Cedro

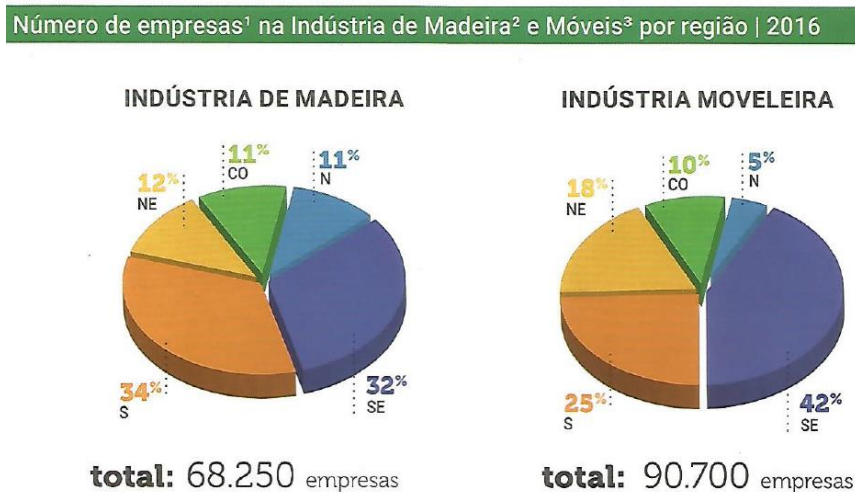


Fonte: IPT (1983).

## 2.4 A verticalização da Indústria da Madeira

A madeira é um dos produtos de maior destaque na pauta de exportação do Brasil, ocupando o terceiro lugar no ranking de produtos exportados. Segundo Uhl et al. (1996), o aumento da eficiência do processo industrial da madeira também teria efeito direto na quantidade da área florestada necessária para manter os atuais níveis de produção. As indústrias de madeira e móveis do Brasil somaram em torno de 158.550 empresas, com empresas representando 94% do total do setor florestal (ABIMCI, 2016).

Figura 6 - Números de indústrias de madeira e móveis por região

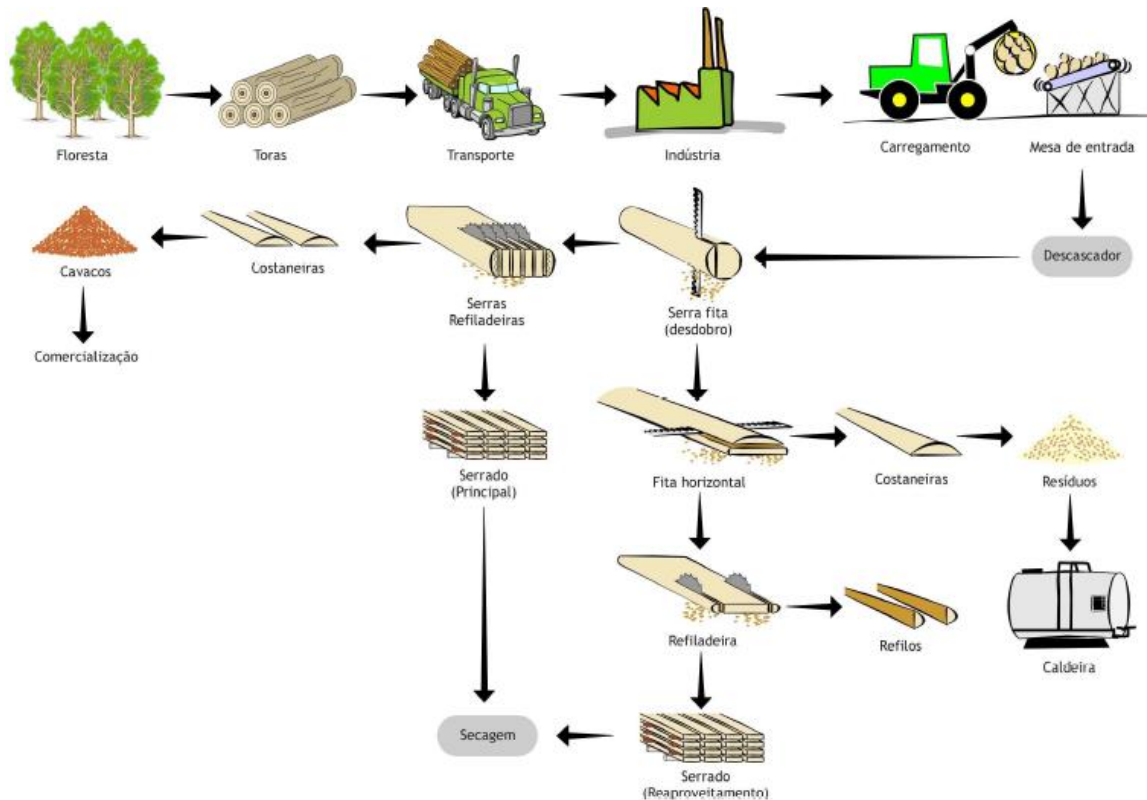


Fonte: IBPT, 2017 – Compilado por Abimci – Estudo Setorial.

Ainda segundo a Associação Brasileira Florestal – ABRAF (2016), o setor de madeira processada mecanicamente está inserido dentro do complexo de base florestal, conforme Figura 7, para o qual se destacam os seguintes produtos principais: (i) Compensado, (ii) Madeira serrada, (iii) Lâminas e (iv) PMVA – Portas, Molduras, Janelas, Pisos e Componentes para Móveis.

A indústria de madeira serrada brasileira é a que mais se destaca entre os produtos de derivados sólidos de madeira, juntamente com a indústria de painéis à base de madeira (ABIMCI, 2017).

Figura 7 - Fluxograma de processo da madeira serrada

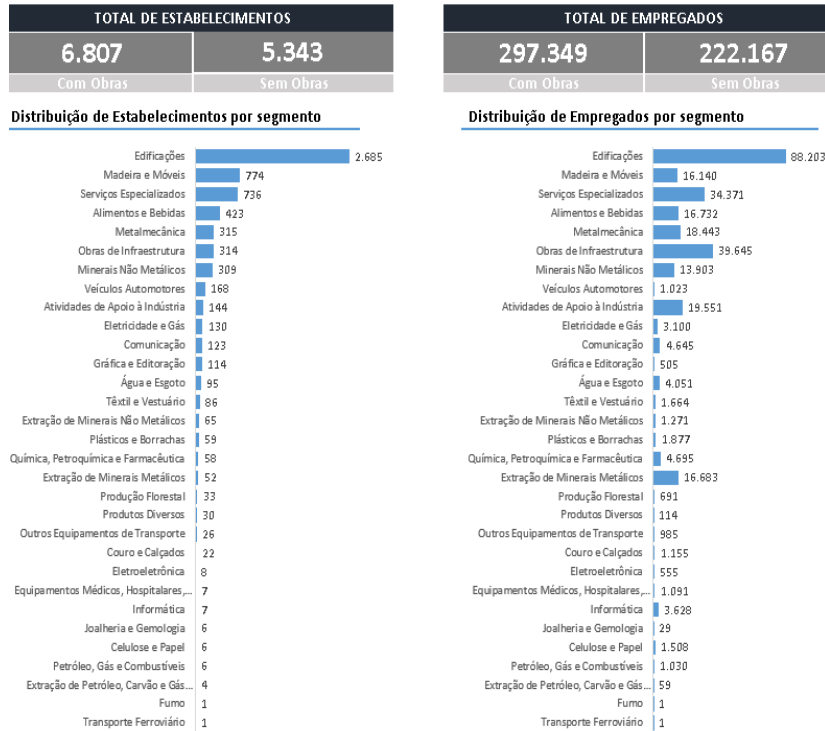


Fonte: ABRAF/ABIMCI – 2017.

No mundo, o comportamento das indústrias de madeira e móveis está muito atrelado aos movimentos da economia dos países como um todo. Porém, no Brasil, as tendências são diferentes. No cenário geral, o mercado consumidor é composto essencialmente das classes A, B e C. No país, as classes D e E tornaram-se relevantes. Projeta-se crescimento de 3 a 5% conduzido especialmente pelas regiões Nordeste e Norte (CNI, 2017).

Segundo levantamento feito pela Federação das Indústrias do Pará - FIEPA (2017), o setor madeira e móveis foi responsável pela comercialização de 991,97 metros cúbicos no mercado internacional, gerando uma receita de 180 milhões de dólares na balança comercial. Apesar dos números parecerem altos, o Brasil é responsável por apenas 7% de participação no mercado internacional.

Figura 8 - Gráficos de Estabelecimentos Industriais no Pará



Fonte: OBIEE SIGA 2017/ACARC / CNI

Atualmente, Roberto Pupo, presidente da Associação das Indústrias Exportadoras de Madeira do Pará – AIMEX, em sessão especial na Assembleia Legislativa do Estado do Pará – ALEPA, destaca que "70% das exportações feitas pelo setor madeireiro paraense são de produtos finais, com agregação de valor. Não somos meros fornecedores de matéria prima". As exportações de madeira do Estado decaíram de 2003 a 2006, mas voltaram a subir até atingir 230 milhões de dólares (Figura 9).

Figura 9 - Gráfico das exportações de madeira do Pará de 2003 a 2019



Fonte: AIMEX 2019 – Expotações de Madeiras.

## 2.5 Design de Móveis e Processos de Fabricação

Os profissionais habilitados em diversas áreas como engenharia, arquitetura, artistas plásticos e designers, vêm se empenhando na busca de encontrar novas matérias e espécies de madeiras pouco exploradas comercialmente, ainda pouco conhecidas e estudadas, que resulte em uma relação mais ecológica, combinando cores e texturas de diferentes essências em seus trabalhos, transmitindo mais leveza e mais beleza.

Segundo Azeredo (2006), em seu livro “A construção da identidade Brasileira no Mobiliário”, o critério ecológico veio para ficar e engloba o emprego de materiais recicláveis, a maior extensão possível do ciclo de vida dos objetos, economia de energia e de recursos naturais. Na produção ou utilização futura, é necessário que os designers estejam atentos à necessidade de projetar de forma que a obra tenha harmonia com o ambiente natural.

As madeiras de proveniência de reflorestamento ou de reciclagem, assim como as nativas consideradas “Alternativas”, já são uma realidade. Dentre elas, podemos destacar a Teca, o Parica e o Marupá, todas com texturas diferenciadas, veios suaves não agressivos e alta resistência. Para Azeredo (2006), toda e qualquer madeira é passível de uso: “Ao usar várias espécies há uma valorização do conjunto, reduz-se a velocidade de devastação, elimina o desperdício e ao mesmo tempo, é possível um manejo mais correto depois no replantio”. O caminho seria valorizar as madeiras nativas, incentivando seu uso. Nesse contexto, o designer tem seu papel fundamental, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Exposição de mobiliários de madeira Cedro e Marupá



Fonte: Móveis Souza - Feira de exposições do CENTUR, 2010.

Segundo Souza (1997), o design industrial muito tem a contribuir, pois está presente em todo o processo de desenvolvimento de um produto, desde a avaliação racional da matéria-prima até o desenvolvimento do produto final, passando pela inovação do processo

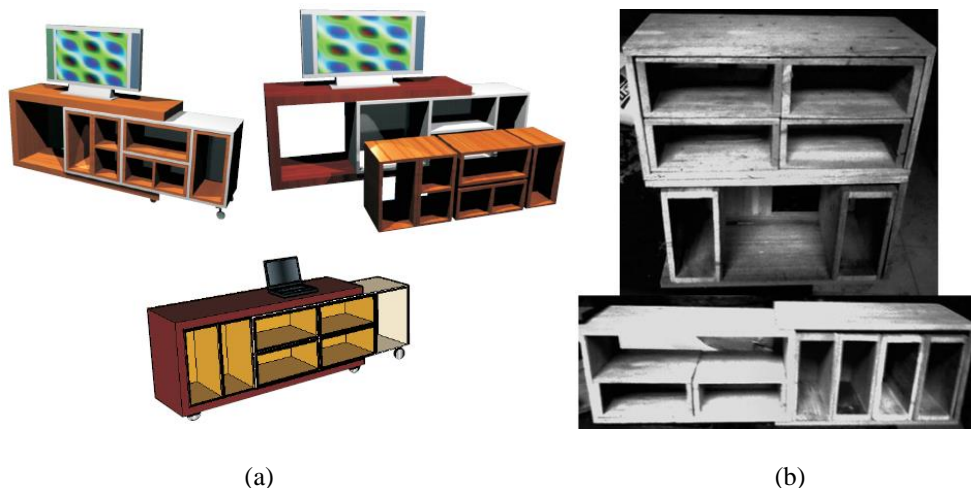
produtivo. As “madeiras alternativas” se destacam, já que geralmente sua disposição ou utilização adequada gera ganhos altos, tendo em vista que a quantidade e a qualidade deste material podem gerar uma alternativa que viabilize o seu uso.

O desenvolvimento de um produto consiste nas seguintes etapas de projeto: Conceitual, Informacional, Preliminar e Detalhado. Conforme Baxter (1998), o design ainda é a melhor estratégia para a promoção de novas espécies, mediante a apresentação de produtos bem projetados, bem executados (Figura 11), com possibilidade de desenvolvimento tecnológico, estética agradável e comprometidos com o desenvolvimento sustentável.

A aplicação dos conceitos de design na utilização das madeiras alternativas agrega valor e contribui para que as empresas locais tenham suprimentos de matéria e estabeleçam uma nova identidade cultural no mobiliário local (AZEREDO, 2006).

A parte informacional integra uma atividade mais ampla denominada de desenvolvimento de produtos. Sua maior contribuição está na melhoria da qualidade de uso e da qualidade estética de um produto, compatibilizando exigências técnico-funcionais com restrições de ordem técnico-econômicas (GUI BONSIEPE, 1982). Destaca-se alguns atributos funcionais estéticos, simbólicos e expresivos como: o design, a sustentabilidade, a viabilidade econômica, a ergonomia, a modularidade e a padronização.

Figura 11 - (a) Modelagem 3d (b) Protótipo reduzido



Fonte: Autores: Marcos Souza, Afonso Lobo e Jacitara Simone, 2009.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A identificação de espécies é uma necessidade primordial para as atividades de comércio e preservação de florestas. Nesse sentido, ainda que já haja dados de caracterização física da madeira estudada neste trabalho, dados e estudos técnicos mais aprofundados relacionados às madeiras nativas consideradas “Alternativas” são necessários, visto que análises do comportamento da matéria prima em desenvolvimento de produtos como o mobiliário são comumente raras de se encontrar em literaturas.

Neste estudo, foi caracterizada a madeira nativa da região amazônica denominada Marupá (*Simarouba amara Aubl, Simaroubaceae*) visando à utilização na indústria moveleira. Foram analisadas as propriedades mecânicas da madeira, a partir da coleta dos corpos de prova de acordo com as diretrizes estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, segundo os critérios das seguintes normas: ABNT; NBR 7190:1997 (Projeto de Estruturas de Madeira); NBR 11941:2003 (Madeira - Determinação da Densidade Básica). As normas foram cedidas pelo NIT/SENAI, em parceria com a ABNT.

#### 3.1 Seleção do Material

A matéria-prima utilizada neste estudo foi coletada na empresa Benevides Madeiras LTDA, localizada no município de Benevides no Pará, o qual possui licenças operacionais e projetos de manejo sustentável. A matéria-prima se encontrava no pátio da empresa em toras recém retiradas de um manejo planejado pela empresa e aguardando o processo de usinagem. As figuras 12 a e b, mostram o pátio da serraria Benevides Madeiras, onde estavam armazenados os troncos de árvore da madeira marupá, de onde foram coletadas as amostras conforme estabelecido pela norma, que preconiza que o lote a ser estudado deve extrair uma amostra, distribuídos aleatoriamente ao longo do lote, devendo ser representativa da totalidade deste, como obtenção de testes experimentais, assim como a percepção da coleta nos locais e do valor da matéria prima e a rastreabilidade da matéria prima. Os troncos foram retirados com uma moto serra, por um funcionário habilitado pela empresa, conforme orientação seguidas pelo autor e referente à norma ABNT; NBR 7190:1997 (Projeto de Estruturas de Madeira).

Figura 12 - (a) Pátio da empresa Benevides Madeiras (b) Lote amostral



(a)

(b)

Fonte: Autor - Empresa Benevides Madeiras, 2019.

### 3.2 Preparação das Amostras

Após o processamento de usinagem das toras na serra fita e na serra circular, foram coletadas peças de madeiras em tábuas de diversas dimensões para serem posteriormente encaminhadas para a empresa Móveis Souza, localizada no município de Marituba, para usinagem final de acordo com as dimensões estabelecidas pelas normas NBR 11941:2003 (Madeira - Determinação da Densidade Básica) e ABNT; NBR 7190:1997 (Projeto de Estruturas de Madeira).

Na fabricação dos corpos-de-prova, foram utilizadas as máquinas desempenho e serra circular com ferramentas afiadas para se evitar a chamada “queima” de suas faces, a qual pode provocar uma perda de água imediata, prejudicial à determinação da real umidade da amostra segundo norma NBR 11941:2003.

Figura 13 - (a) Preparação dos corpos de prova (b) Corpos de prova NBR 11941:2003



(a)

(b)

Fonte: Autor – Empresa Móveis Souza, 2019.

O tamanho da amostra e os critérios de extração dos corpos-de-prova foram estabelecidos de acordo com a norma: o corpo-de-prova deve ter seção transversal retangular,

com dimensões nominais de 2,0 cm x 3,0 cm e comprimento, ao longo das fibras, de 5,0 cm, como indicado na norma NBR 11941:2003 e na NBR 7190:1997, conforme a figura 14.

Figura 14 - (a) Corpos de prova nas dimensões (b) Corpos de prova empilhável



(a) (b)  
Fonte: Autor – Empresa Móveis Souza, 2019.

Foram aplicados procedimetos de secagem de madeira para exportação, ao ser cortado as amostras foram empilhadas uma sobre as outras com “tabicas”, uma espécie de régua separadoras nas dimensões de 2 mm x 2 mm, para evitar o contato umas com as outras, pelo fato da madeira estar com grande quantidade de água, no caso úmida com concentração de PH, água e enzimas, o que causa manchadores e fungos na madeira (Figura 13 b).

Nesta etapa, houve usinagem dos corpos de prova para análises de ensaio à resistência. As peças de madeiras foram usinadas na empresa Móveis Souza. Num total de 48 corpos de prova para análise de ensaios, sendo 12 corpos para análise física e 36 corpos para análise mecânica. Para isso, não foram retirados mais de um corpo de prova de uma mesma peça, seguindo recomendações da NBR 7190:1997, como mostra a Figura 15.

Figura 15 - (a) Peças usinadas e (b) Lote 12 corpos de prova segundo norma



(a) (b)  
Fonte: Autor – Empresa Móveis Souza, 2019.

Para cada ensaio, foram utilizados 12 corpos-de-prova, livres de defeitos, com dimensões de 20 x 30 x 50 mm, como indicado na norma NBR 11941:2003 e 24 corpos de prova nas dimensões 50 x 50 x 100 mm, para compressão longitudinal e radial às fibras, e 12

corpos de provas, nas dimensões de 50 x 50 x 550 mm, para flexão perpendicular às fibras, como indicado pela ABNT NBR 7190:1997, sendo coletadas no tronco de forma variável e aleatória.

### 3.3 Ensaios Físicos

Após a confecção, os corpos-de-prova foram condicionados em câmara climática usado na indústria madeireira e moveleira a uma temperatura de 40°C e 70% de umidade relativa, com velocidades de ar entre 1,4m/s e 2,3m/s, num período de 10 dias. Nessas condições foram mantidos até que não ocorressem mais variações em peso, ou seja, até a madeira atingir uma umidade de equilíbrio de, aproximadamente, 12%.

Figura 16 - (a) Medição da umidade (b) Acondicionamento na estufa

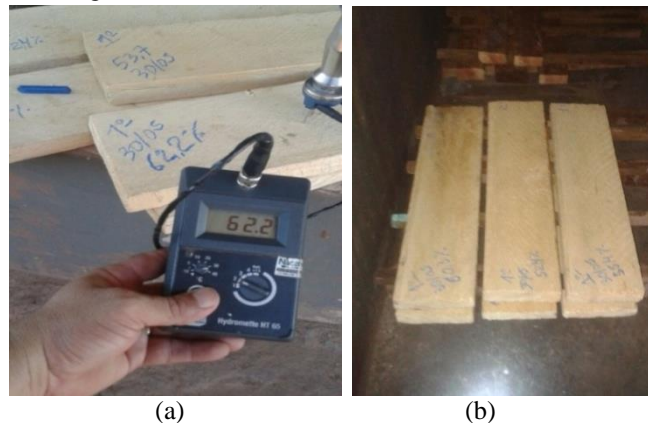


Fonte: Secagem dos corpos de prova empresa Amazon Portas, 2019.

#### 3.3.1 Umidade

Para determinação da umidade, foi utilizado um medidor elétrico de umidade para madeira de alto alcance e precisão, que faz medidas entre 0 a 80% UR, modelo e marca ITMDUMF-2570. No total, a umidade de 12 peças foi determinada. O sensor do equipamento foi fixado no meio do corpo de prova, com o equipamento, foi observada a proporção de umidade em 62,2 % da madeira de Marupá (Figura 17).

Figura 17 - (a) Umidade inicial, (b) Lote amostral



Fonte: Secagem amostral do Marupá empresa Robert Brasil, 2019.

### 3.3.2 Densidade Básica e Densidade Aparente

Foram utilizados 12 corpos de prova para determinação da densidade básica e aparente de acordo com a norma NBR 11941:2003 (Madeira – Determinação da Densidade Básica) ao teor de umidade de referência de 12%.

Após os ensaios, os corpos-de-prova foram submetidos a uma secagem em estufa, com temperatura de  $(60 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , até a completa secagem ( $U=0\%$ ). No início de cada ensaio e após a secagem em estufa, eram avaliadas as massas dos corpos-de-prova para obtenção do teor de umidade no instante do ensaio. Para avaliar massas, foi utilizada uma balança analítica com sensibilidade de 0,01g.

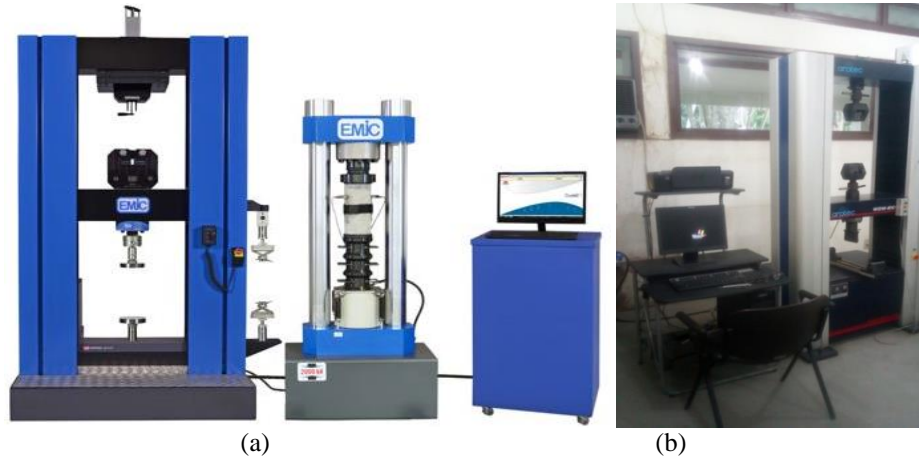
Para avaliação do volume do corpo-de-prova, as dimensões de sua seção transversal foram obtidas de modo análogo ao ensaio de compressão e flexão paralela, foi avaliada apenas no início do ensaio e admitida constante, uma vez que a retração axial é desprezível. Vale ressaltar que a densidade aparente no instante do ensaio é obtida sem qualquer aproximação. As dimensões do corpo-de-prova seco são estimativas, que permitem obter o coeficiente de variação volumétrica ( $\delta V$ ), o qual reporta a densidade aparente ao teor de umidade de 12%.

### 3.4 Ensaios Mecânicos

Os corpos de prova foram ensaiado em uma maquina universal de ensaios modelo Arotec WDW- 100-E, com capacidade para 10 toneladas, a acompanhado com software integrado, permitindo a calibração e as conversões de medidas e a capacidade de ensaio é de

até 1000 kN. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica do IFPA, de acordo com a norma NBR 7190:1997 (Figuras 17 e 18)

Figura 18 - (a) Máquina universal de ensaio, (b) Máquina Arotec WDW- 100-Edo IFPA



Fonte: Autor Laboratório de Ensaios Mecânicos do IFPA, 2019

Os parâmetros de ensaio foram de 500 kgf, com célula de carga de 5 kN, a uma velocidade de ensaio de 5 mm/min.

Os ensaios citados neste trabalho serão seguidos pelas normas NBR 7190: 1997 que trata de Projetos de Estruturas de Madeira. Os corpos de prova passarão por um ensaio de resistência a plasticidade no Laboratório de Mecânica do IFPA. As Normas foram cedidas pelo NIT/SENAI, em parceria com a ABNT.

### 3.4.1. Pré Ensaio

Uma pré análise foi executado no laboratório da IFPA, onde um corpo de prova da madeira andiroba foi colocado a uma tensão de pressão contínua até o seu ponto de rompimento que chegou a 4.159 Mega Pascal (MPa), conforme Figura 18.

Figura 19 - (a) Ensaio experimental de compressão e (b) Rompimento do corpo de prova



Fonte: Autor Laboratório de Ensaios Mecânicos do IFPA, 2019

Após a prensa de ensaio atingir a força máxima para um determinado corpo de prova, o ensaio para automaticamente, se verifica o rompimento da peça, logoapós o descarregar da força, a peça apresentou um rompimento em seu ponto máximo de elasticidade.

Verificou-se durante o pré ensaio a possibilidade de alterar os dimensionamentos dos corpos de provas de acordo com a largura do equipamento que é de 60 cm, em analisar em tempo real a variação do valor da carga aplicada (em KN).

Para o uso em estruturas conforme prevê a norma, se objetiva na premissa da madeira Marupá em função da sua classe de resistência, a qual pode variar segundo a norma brasileira de madeiras, entre 20 MPa e 60 MPa. Nesta interceção de flexão estática observa – se a ocorrência de danos estruturais, que servirão de tomada de decisão para evitar possíveis incidentes de riscos a vida humana, no que tange a falta de informação ou má utilização ou aplicação do material. Conforme na verificação da Tabela: 6 – Projetos Estruturais de Madeira.

Tabela 5 - Classe de ensaios de resistência – ABNT NBR 7190:1997

<b>Coníferas (Valores na condição padrão de referência U= 12%)</b>					
<b>Classes</b>	<b>f<sub>ck</sub></b> MPa	<b>f<sub>vk</sub></b> MPa	<b>E<sub>c0,m</sub></b> MPa	<b>ρ<sub>bas,m</sub></b> kg/m <sup>3</sup>	<b>ρ<sub>aparente</sub></b> kg/m <sup>3</sup>
C 20	20	4	3 500	400	500
C 25	25	5	8 500	450	550
C 30	30	6	14 500	500	600

<sup>i)</sup> Como definida em 6.12.

Fonte: ABNT NBR 7190:1997

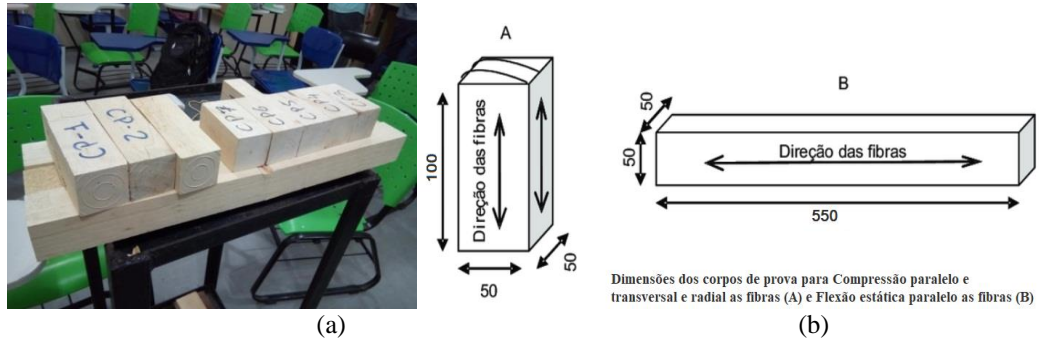
### 3.5 Ensaios Aplicados

O ensaio proposto neste trabalho foram o de ensaio de compressão longitudinal e transversal as fibras, ensaio de compressão radial as fibras e ensaio de flexão estática perpendicular as fibras, utilizando uma máquina universal de ensaio modelo WDW 100E de tração até 100 kN, a uma velocidade de ensaio de 5 mm/min. A Figura: 19 mostra os corpos de prova para a realização dos ensaios de resistência à compressão e flexão.

Os corpos de prova foram isentos de defeitos, secos em estufa entre 9% a 12%, nas dimensões 50 x 50 x 550 milímetros, para os ensaios de flexão estática perpendicular as fibras, e nas dimensões de 50 x 50 100 milímetros para no total de 12 corpos de prova para cada ensaio por se tratar de uma matéria prima pouco explorada. Os corpos de prova dos

ensaios foram nomeados em ordem crescente de CP1, CP2, CP4, CP5, CP6, CP7, CP8, CP9, CP10, CP11 e CP12.

**Figura 20** - (a) Corpos de prova, (b) Dimensões dos corpos de prova

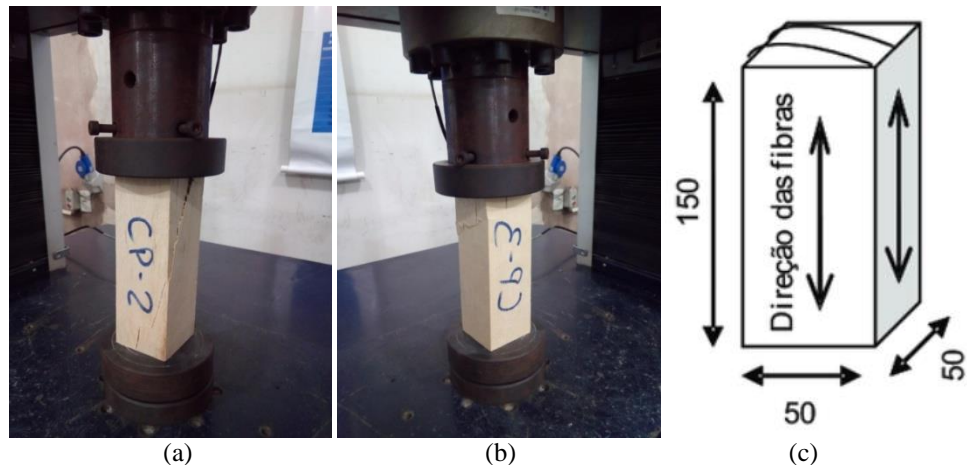


Fonte: Autor Laboratório de Ensaios Mecânicos do IFPA, 2019

### 3.5.1 Ensaio de Compressão Longitudinal e Transversal as Fibras

Neste referido ensaio de Compressão longitudinal as fibras as dimensões utilizadas para os corpos de prova segundo a norma, para este tipo de ensaio e nas dimensões de (50 mm x 50 mm x 150 mm), sendo que foram utilizados as dimensões de (50 mm x 50 mm), para seção transversal e de 150 mm de comprimento longitudinal, considerada para o cálculo da resistência a compressão foram 50 mm x 50 mm. Conforme Figuras: 20 - (a) Corpo de prova 2, (b) Corpo de prova 3 e (c) – Dimensões do corpos de prova

**Figura 21** - (a) CP 2, (b) CP 3 e (c) – Dimensões do corpos de prova



Fonte: Autor Laboratório de Ensaios Mecânicos do IFPA, 2019

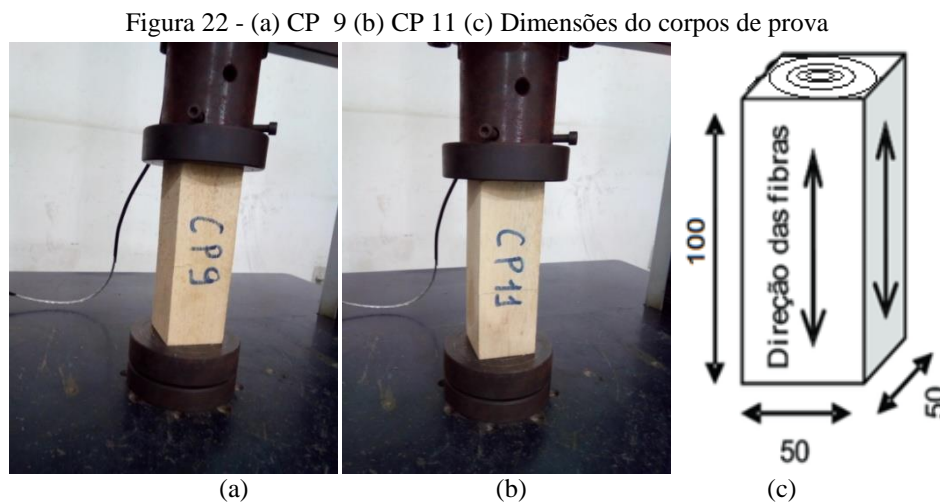
Os corpos de prova dos ensaios Compressão longitudinal e transversal as fibras foram nomeados em ordem crescente de CP1, CP2, CP4, CP5, CP6, CP7, CP8, CP9, CP10, CP11 e CP12. Os ensaios foram realizados em uma máquina de ensaio universal WDW 100E – com célula de carga de 5 kN, a uma velocidade de ensaio de 5 mm/min. A Figura. 20 (a) e (b),



ilustra a realização dos ensaios de resistência à compressão longitudinal e transversal as fibras.

### 3.5.2 Ensaio de Compressão Radial as Fibras

Segundo a norma, as dimensões para o ensaio de Compressão radial as fibras é de (50 mm x 50 mm x 100 mm). Neste trabalho, as dimensões utilizadas para os corpos de prova foram de (50 mm x 50 mm) para seção transversal, e de 100 mm de comprimento radial, considerada para o cálculo da resistência à compressão foram 50 mm x 50 mm. Conforme Figuras 22 - (a) Corpo de prova 9, (b) Corpo de prova 11 e (c) Dimensões do corpos de prova.



Fonte: Autor Laboratório de Ensaio Mecânicos do IFPA, 2019

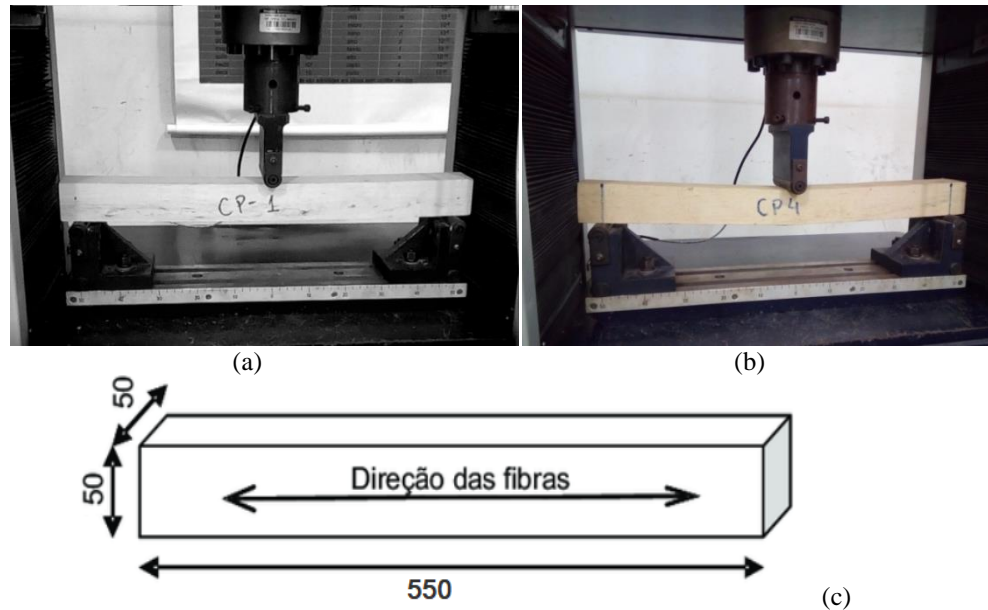
Os corpos de prova dos ensaios Compressão radial às fibras foram nomeados em ordem crescente de CP1, CP2, CP4, CP5, CP6, CP7, CP8, CP9, CP10, CP11 e CP12. Os ensaios foram realizados em uma máquina de ensaio universal WDW 100E - com célula de carga de 5 kN, a uma velocidade de ensaio de 5 mm/min. A Figura 22 ilustra a realização dos ensaios de resistência à compressão longitudinal e transversal às fibras.

### 3.5.3 Ensaio de Flexão Estática Paralelo às Fibras

O ensaio de Flexão estática paralelo às fibras foi o de maior importância, pois se trata de uma análise de dados para confecção de um protótipo futuro de uma cadeira em proporções reais, a qual receberá esforços de tensão. O objetivo destes ensaios é o de obter o valor da resistência de ruptura à flexão e o módulo de elasticidade à flexão, utilizando os corpos de provas com o mesmo tamanho utilizado na construção do futuro protótipo com um comprimento de 550 milímetros.

Tanto o ensaio para determinação do módulo de elasticidade em flexão quanto o ensaio para determinação da resistência à flexão, têm os mesmos esquemas de ensaio, segundo a NP EN 408. A ANP EN 408 estabelece que a peça a ensaiar, simplesmente apoiada, deve ser carregada simetricamente em flexão em dois pontos de um vão igual a dezoito vezes a altura da secção.

Figura 23 - (a) CP 1 (b) CP 4 (c) Dimensões dos corpos de prova



Fonte: Autor Laboratório de Ensaio Mecânicos do IFPA, 2019.

Os corpos de prova dos ensaios Flexão estática paralela às fibras foram nomeados em ordem crescente de CP1, CP2, CP4, CP5, CP6, CP7, CP8, CP9, CP10, CP11 e CP12. Os ensaios foram realizados em uma máquina de ensaio universal WDW 100E - com célula de carga de 5 kN, a uma velocidade de ensaio de 5 mm/min. A Figura 23 ilustra a realização dos ensaios de resistência à compressão longitudinal e transversal às fibras.

### 3.6 Projeto de Produto

Nesta etapa, foi aplicada a metodologia projectual para o desenvolvimento de uma modelagem 3d e um protótipo em escala reduzida com a madeira Marupá e Cedro, de acordo a metodologia de projeto voltada para o desenvolvimento de produtos que consiste nas etapas: Conceitual, Informacional, Preliminar e Detalhado (BAXTER, 1998).

Levando em consideração o de uso diário e com maior usabilidade e tensão paralelo às fibras, definiu-se para este ensaio de resistência o desenvolvimento de um protótipo de uma cadeira denominada “Pororoca”, que se referencia a um fenômeno natural que ocorre na Amazônia pelo encontro das correntes fluviais com as águas oceânicas (Figura 24).

Figura 24 - Ícone Fenômeno da cultura regional



Fonte: Imagens de surfistas na Pororoca – Rio Araguari, 2014.

No protótipo desenvolvido, considerou-se atributos funcionais estéticos, simbólicos e expressivos, bem como critérios como a aceitabilidade e as exigências do produto ao mercado, a implementação de uma simbologia regional, que seja prático, ergonômico, economicamente viável e com um design atraente. Para isso, houve a pesquisa de modelos conceituais de cadeiras existentes no mercado, conforme exposto na Figura 25.

Figura 25 - Modelos conceituais de cadeira de praia



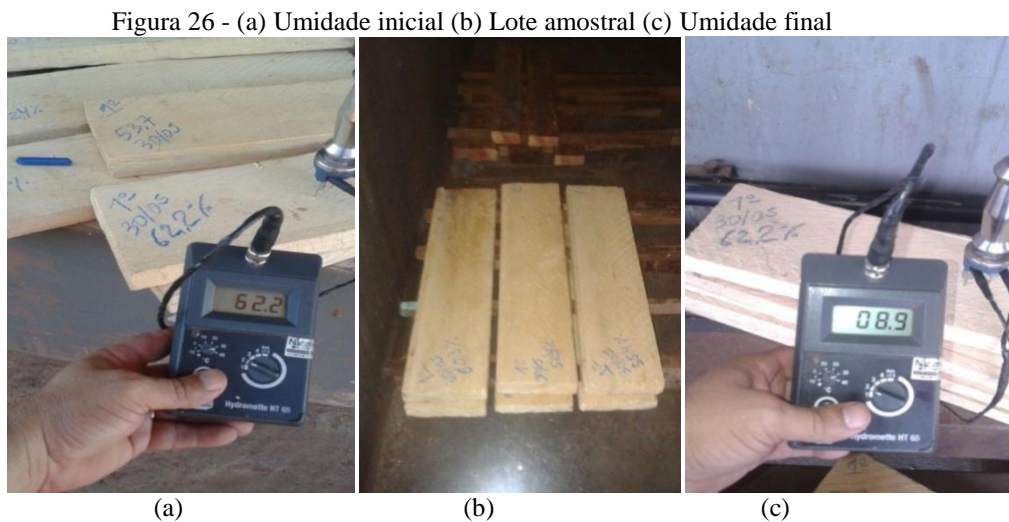
(a) (b) (c)  
Fonte: Gerrit Rietveld, Butzke (Adirondack Michigan), 1955.

O conceito atribuído à cadeira se deu por ser um símbolo de acomodação, de descanso e de ser um dos mobiliários primordial para o ser humano, além de que é o ponto focal e elo da pesquisa por se tratar de um mobiliário, sobre o qual estará contida uma força aplicada. A cadeira tem por finalidade de simbologia dois fatores expressivos às ondas proveniente do fenômeno “Pororoca”. O termo pororoca é derivado do Tupi que designa “estrondo”, corresponde a um fenômeno natural onde acontece o encontro das águas de um rio com o oceano. Assim, a ideia é associar conceitos de praia ao movimento retrô.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Umidade e densidade da madeira

A madeira Marupá é considerada de baixa densidade, pois possui poros mais abertos e menos fibras entrelaçadas, o que facilita a sua absorção maior de água; ao secar seu comportamento é bastante brusco, haja vista sua retratabilidade e perda de água. Na referida análise da secagem da madeira, a proporção de umidade encontra-se em 62,2 %, chegando a secar na temperatura de 60 °C, em torno de 8,9% de umidade.



Fonte: Secagem amostral do Marupá empresa Robert Brasil, 2019.

Apesar da análise amostral ao final da secagem apresentar 8,9% de umidade, verificou-se que o tempo de secagem foi superior ao tempo especificado pela espécie de madeira utilizada, o Marupá, com isso reduziu-se o tempo de secagem de 10 dias para 8 dias, obtendo assim a umidade de referência: 12%.

Ao secar em secadores convencionais, as observações práticas têm mostrado que condições muito drásticas de secagem podem ocasionar endurecimento superficial, se o grau de temperatura se eleva, o comportamento da mesma se altera.

A Tabela 5 apresenta os resultados dos ensaios ao teor de umidade de referência de 12%. Nesta tabela, também são apresentados os comportamentos da secagem, que correspondem a intervalos de umidade relativa (UR) e a umidade específica (EU), e os valores característicos quanto à elevação da temperatura, quando for o caso, sempre em acordo com a NBR 7190/97.

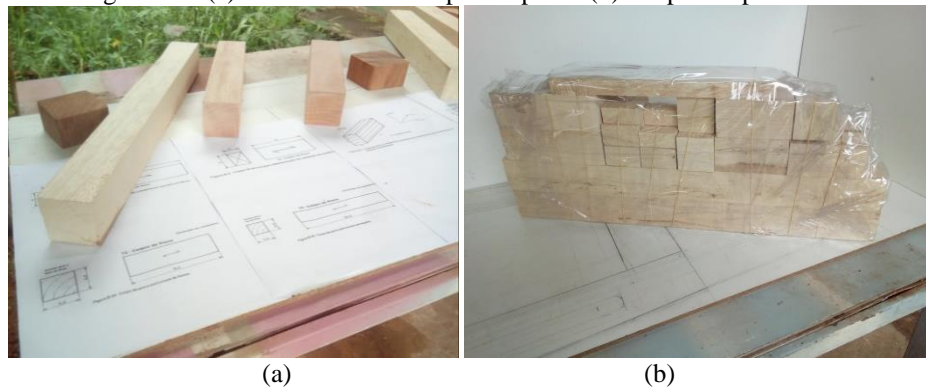
Tabela 6 - Comportamento da secagem

<b>Comportamento da Secagem da Madeira Marupá</b>					
<b>Umidade</b>	<b>Ts (°C)</b>	<b>Tu (°C)</b>	<b>UR (%)</b>	<b>UE (%)</b>	<b>Potencial</b>
Aquecimento	40,0	39,0	94	21,6	--
Até 50	40,0	38,5	91	19,8	2,5
50	40,0	38,0	88	18,3	2,7
40	40,0	37,5	85	17,0	2,4
30	45,0	41,0	79	14,2	2,1

Fonte: Autor, 2019.

Na referida análise, foram utilizados 36 corpos de provas, nas dimensões de dimensões 50 x 50 x 550 milímetros para os ensaios de flexão estática perpendicular às fibras, e nas dimensões de 50 x 50 100 milímetros para compressão longitudinal e radial às fibras. Figura 26.

Figura 27 - (a) Dimensões dos corpos de prova (b) Corpos de prova seco



Fonte: Autor – Laboratório de Ensaios Mecânicos do IFPA, 2019.

## 4.2 Ensaios de Compressão e Flexão

### 4.2.1 Ensaio de Compressão Longitudinal e Transversal às Fibras

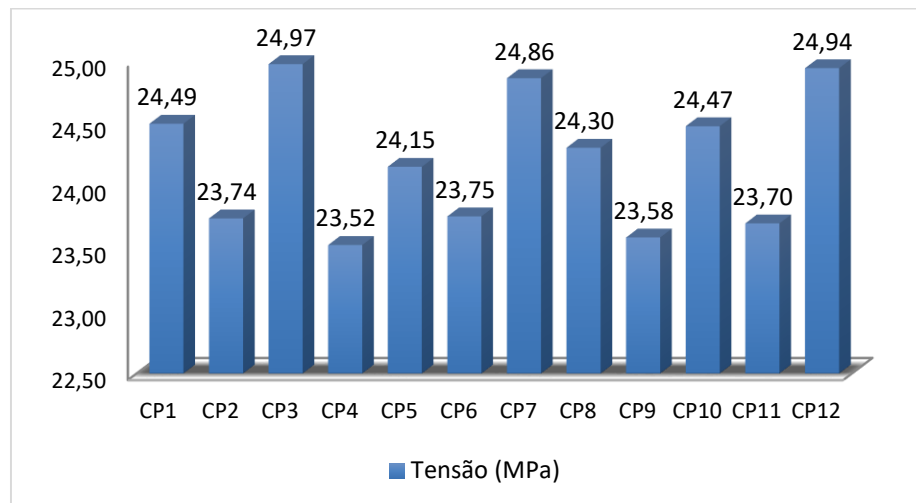
Foram realizados um total de 12 ensaios de compressão longitudinal às fibras nos corpos de prova de Marupá, cujos resultados da resistência à compressão longitudinal são apresentados na Tabela 7 e no Gráfico 1. Ressalta-se que a resistência média encontrada foi de 24,49 MPa, e que a resistência longitudinal tem como objetivo identificar a resistência real da matéria prima, sob o posicionamento longitudinal às fibras da madeira, para servir como base estrutural de móveis e para outras aplicações da madeira Marupá para fins de fabricação de mobiliários. A linha grifada se refere à Figura 20 CP2.

Tabela 7 - Valores Obtidos nos Ensaios de Resistência à Compressão Longitudinal

<b>VALORES DE ENSAIO DE COMPRESSÃO LONGITUDINAL ÀS FIBRAS</b>			
<b>N° CP</b>	<b>CARGA (kn)</b>	<b>ÁREA (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>TENSÃO (MPa)</b>
CP 1	61,23	2500	24,49
CP 2	59,34	2500	23,74
CP 3	62,42	2500	24,97
CP 4	58,81	2500	23,52
CP 5	60,37	2500	24,15
CP 6	59,38	2500	23,75
CP 7	62,14	2500	24,86
CP 8	60,75	2500	24,30
CP 9	58,96	2500	23,58
CP 10	61,18	2500	24,47
CP 11	59,24	2500	23,70
CP 12	62,34	2500	24,94

Fonte: Autor – Laboratório de Ensaios Mecânicos do IFPA, 2019.

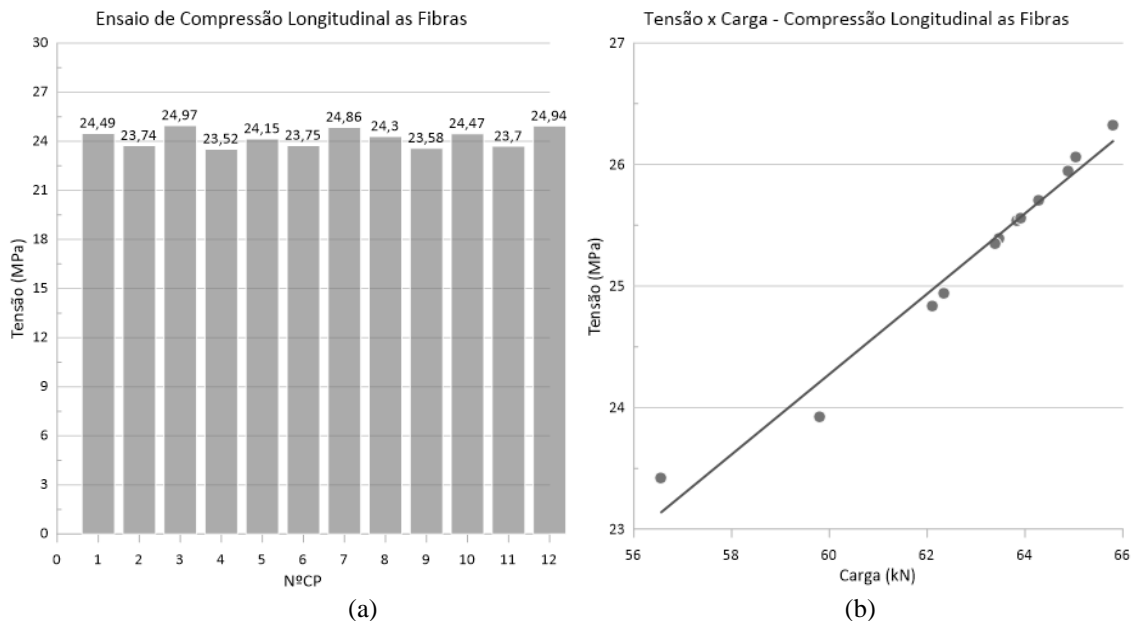
Gráfico 1 - Marupá: Resistência à compressão longitudinal às fibras



Fonte: Autor – Plailha de Excel (2019).

Outras análises foram compiladas no *software Grapher* para que cruzamentos de informações fossem obtidas, a partir de uma interpretação mais criteriosa sobre as reais tensões e possibilidades de validação do uso da matéria prima para fins comerciais e estruturais: Gráfico 2 (a) e (b).

Gráfico 2 - (a) Ensaio tensão X CPs (b) Gráfico dispersão tensão X carga



Fonte: Autor – Software Grapher –Shareware, 2019.

A média retirada no ensaio de compressão longitudinal às fibras em Carga (KN) foi de 60,51 em uma Área (mm<sup>2</sup>) de 2500 mm<sup>2</sup> em uma Tensão (MPa) 24,21. Os valores obtidos referentes ao desvio padrão das análises de Carga (kN) é de 1,36 e das tensões é de 0,54. Percebe-se que há uma tendência linear acompanhando à resistência mecânica, proporcionando uma análise na qual os dados obtidos não foram dispersos e contribuindo com a validação dos ensaios mecânicos realizados.

#### 4.2.2 Ensaio de Compressão Radial às Fibras

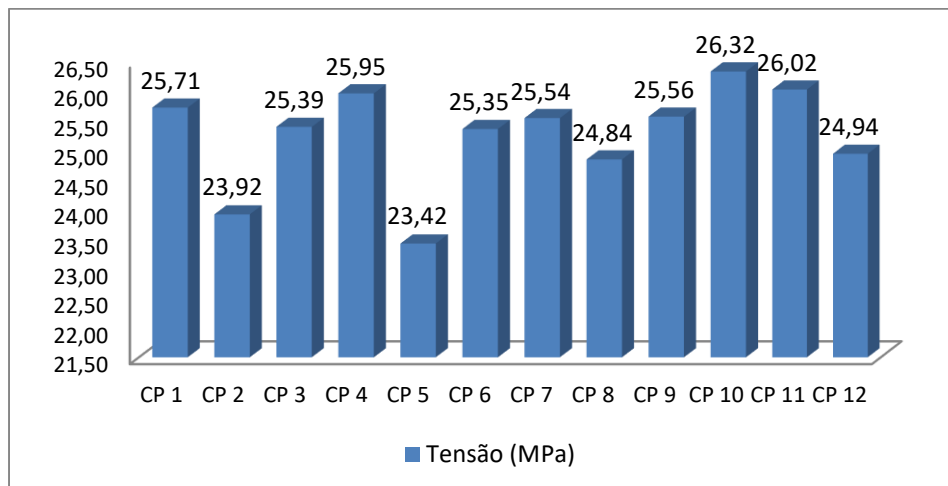
Foram realizados um total de 12 ensaios de compressão radial às fibras nos corpos de prova de Marupá, cujos resultados da resistência são apresentados na Tabela 8 e no Gráfico 3. Ressalta-se que a resistência média encontrada é de 25,25 Mpa e que as análises neste referido ensaio têm como objetivo identificar a resistência real da matéria prima, sob o posicionamento radial às fibras da madeira de Marupá, para servir como base de dados futuros para aplicação da espécie para fins de fabricação de mobiliários, os quais podem receber cargas de tensões. A linha sublinhada se refere à Figura 21 CP11.

Tabela 8 - Valores Obtidos nos Ensaios de Resistência à Compressão Radial

VALORES DE ENSAIO DE COMPRESSÃO RADIAL ÀS FIBRAS			
Nº CP	CARGA (kn)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )	TENSÃO (MPa)
CP 1	64,28	2500	25,71
CP 2	59,79	2500	23,92
CP 3	63,47	2500	25,39
CP 4	64,88	2500	25,95
CP 5	58,56	2500	23,42
CP 6	63,38	2500	25,35
CP 7	63,84	2500	25,54
CP 8	62,1	2500	24,84
CP 9	63,9	2500	25,56
CP 10	65,8	2500	26,32
CP 11	65,04	2500	26,02
CP 12	62,34	2500	24,94

Fonte: Autor – Laboratório de Ensaios Mecânicos do IFPA, 2019.

Gráfico 3 - Marupá: Resistência à compressão radial às fibras

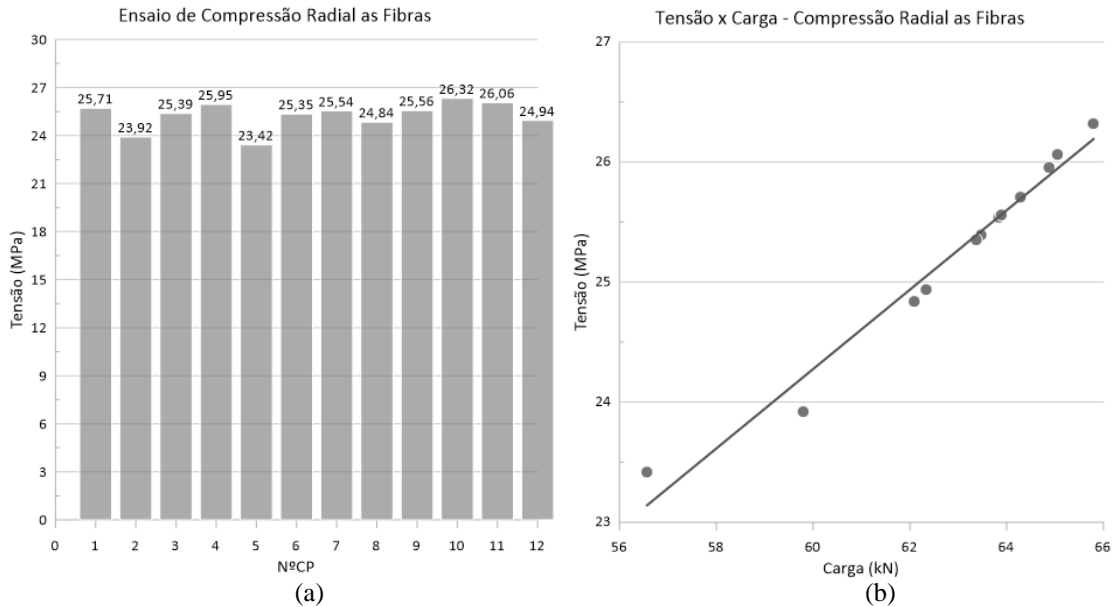


Fonte: Autor Planilha de Excel (2019).

Outras análises foram compiladas no *software Grapher* para que cruzamentos de informações fossem obtidas, a partir de uma interpretação mais criteriosa sobre as reais tensões e possibilidades de validação do uso da matéria prima para fins comerciais e estruturais (Gráfico 4 (a) e (b)).



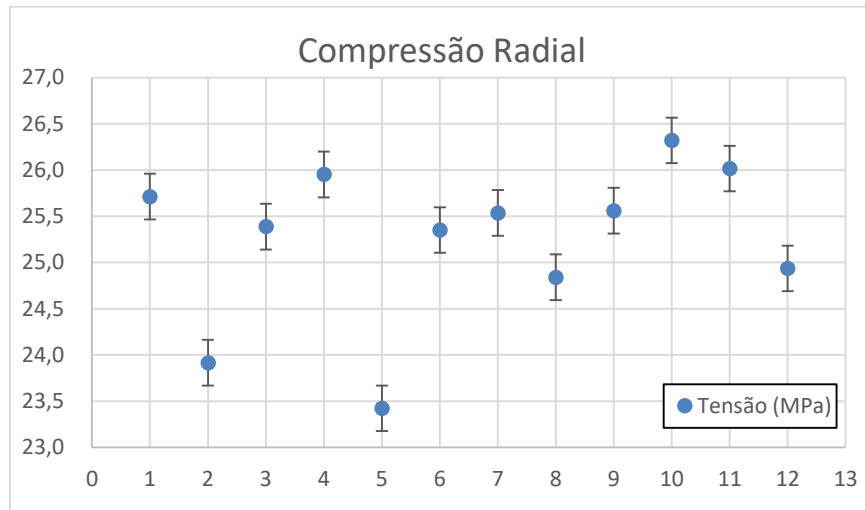
Gráfico 4 - (a) Gráfico Ensaio tensão X CPs (b) Gráfico dispersão tensão X carga



Fonte: Autor – Software Grapher –Shareware, 2019.

As análises dos ensaios tiveram a intenção de avaliar a média de tensões suportadas pela mateéia prima Marupá, que nete referido ensaio foi de 25,25 e a tensão amostral de 12 corpos de prova da espécie Marupá, com um desvio padrão de 0,85 e um erro padrão de 0,25 por corpo de prova. Conforme o Gráfico 5, pode-se conforntar os desvios padrão do ensaio de compressão radial às fibras.

Gráfico 5 - Análise do desvio padrão do ensaio tensão X carga



Fonte: Autor – Software Excel dados do desvio padrão, 2019.

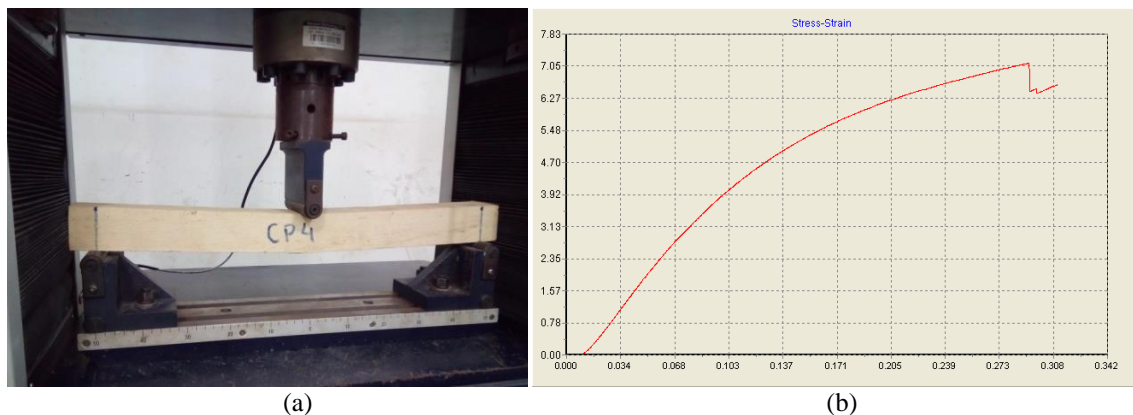
### 4.2.3 Ensaio de Flexão Estática Paralelo às Fibras

O ensaio de resistência à flexão estática paralelo às fibras ocorreu por meio de ensaios de flexão com carregamento concentrado e aplicado no meio do vão do corpo de prova no comprimento longitudinal de 550 mm entre as pontas de apoio, onde a peça foi flexionada em uma velocidade de 5 mm/min.

Os modos de ruptura previstos pela norma para o ensaio de flexão (por tensões normais de tração e por cisalhamento ao longo do comprimento do corpo de prova, na altura próxima à linha neutra da seção) foram observados nos ensaios realizados, neste caso, com madeira Marupá.

O carregamento da carga, neste ensaio, também foi aplicado em um único ciclo de carregamento até a sua ruptura. Os parâmetros (a e b) são, respectivamente, o comprimento e a altura do corpo de prova de flexão, e assim para os demais corpos de provas, totalizando os 12 ensaios previstos. Conforme Figura 28 (a) Corpo de Prova CP 4 e (b) Gráfico detector de carga flexão estática.

Figura 28 - (a) Corpo de Prova CP 4 (b) Gráfico detector de carga flexão estática

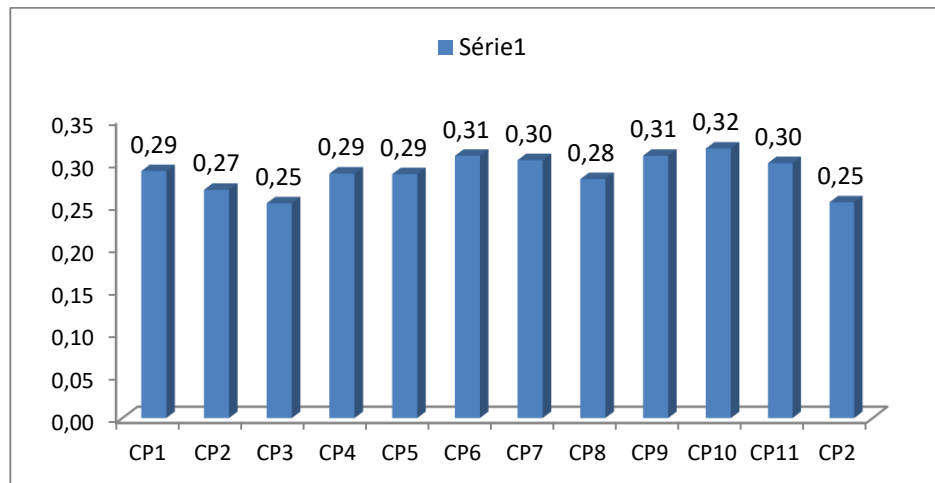


Fonte: Autor - Laboratório de Ensaos Mecânicos do IFPA, 2019.

As médias de resistência à flexão paralela às fibras dos corpos de provas, para cada ensaio de resistência, encontram-se no gráfico 6, e extraído da tabela 9. Verificar a análise do corpo de prova CP 11. Dos valores abaixo representados, foram estratificados a média e o desvio padrão de erro.

Vale ressaltar que as análises neste referido ensaio tem como objetivo de identificar a resistência real da matéria prima, sob o posicionamento paralelo às fibras da madeira, para servir como base de dados futuros para aplicação da madeira Marupá, para fins de fabricação de mobiliários, os quais receberão carga de tensões de peso. As dimensões dos corpos de provas foram modificadas para atender uma necessidade de um móvel como uma cadeira.

Gráfico 6 - Gráfico de Excel Tensão MPa x Deformação – Flexão estática



Fonte: Autor – Dados Excel Ensaio de Resistência, 2019.

Os resultados obtidos através do ensaio de tração foram “plotados” (fornecidos pela própria máquina de ensaio) em um gráfico chamado de tensão x deformação ( $\sigma \times \epsilon$ ) – Compressão. A tabela 9 abaixo estratifica os valores obtidos nos ensaios de flexão estática paralela às fibras da madeira Marupá. Na análise do corpo de prova CP4, a carga (kn) foi de 7,156, para uma área de 25000mm<sup>2</sup>, o qual gerou a tensão (MPa) de 0,29. A linha sublinhada se refere à Figura 22 CP4.

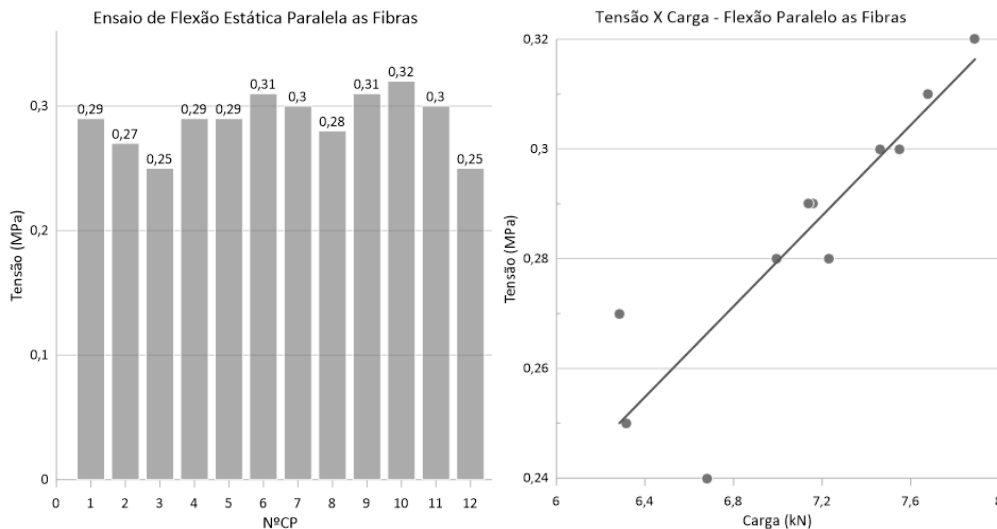
Tabela 9 - Valores Obtidos nos Ensaio de Resistência a Flexão Estática

<b>VALORES DE ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA PARALELO AS FIBRAS</b>			
<b>Nº CP</b>	<b>CARGA (kn)</b>	<b>ÁREA (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>TENSÃO (MPa)</b>
CP 1	7,23	25000	0,29
CP 2	6,68	25000	0,27
CP 3	6,284	25000	0,25
CP 4	7,156	25000	0,29
CP 5	7,14	25000	0,29
CP 6	7,676	25000	0,31
CP 7	7,55	25000	0,30
CP 8	6,994	25000	0,28
CP 9	7,678	25000	0,31
CP 10	7,89	25000	0,32
CP 11	7,464	25000	0,30
CP 12	6,314	25000	0,25

Fonte: Autor – Laboratório de Ensaio Mecânicos do IFPA, 2019.

A média retirada no ensaio de Flexão paralelo às fibras Carga (KN) foi de 7,17 em uma Área (mm<sup>2</sup>) de 2500mm<sup>2</sup> em uma Tensão (MPa) 0,29. E os dados obtidos referentes ao desvio padrão das análises de Carga (KN) foi de 0,53. Sendo que na análise das Tensões (MPa) foi de 0,020. Outras análises foram compiladas no software Grapher, para que cruzamentos de informações fossem obtidas, a partir de uma análise mais criteriosa sobre as reais tensões e possibilidades de validação do uso da matéria prima para fins comerciais e estruturais. Neste estudo foram cruzados os dados de Carga (kN) X Tensão em MPa e se gerou um gráfico de dispersão, como mostra o gráfico 6 (b) abaixo.

Gráfico 7 - (a) Ensaio tensão X CPs (b) Gráfico dispersão tensão X carga



Fonte: Autor – Software Grapher –Shareware, 2019

Uma análise dos resultados obtidos neste trabalho corroboram com as análises dos resultados físico e mecânicas obtidos em pesquisas referentes à madeira Cedro e o Marupá, ambas possuem retratibilidade linear e volumétrica baixa, propriedades mecânicas entre baixa e média e classificam-se entre as madeiras médias quanto à densidade, já a resistência natural contra insetos é pequena (CRUZ et al., 2006).

Os autores citam que os resultados indicam que a madeira de Marupá possui baixa resistência mecânica, mas pode ser utilizada em estruturas de madeira de pequeno porte, pois o valor característico da resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c0,k} = 27,29$  MPa), a posiciona na classe de resistência C 20, menor entre as classes de resistência definidas pela NBR 7190, da ABNT(1997), para as dicotiledôneas.

Os resultados encontrados neste trabalho estão de acordo com Cruz e colaboradores (2006) e nos indicam a espécie Marupá tem baixa densidade e podem ser utilizadas para o desenvolvimento de móveis com baixa capacidade de carga, pois os valores de resistência

longitudinal às fibras ( $f_{c0,k} = 24,21$  MPa) e radial às fibras ( $f_{c90,k} = 25,25$  MPa) posicionam-se na classe de resistência C20 da ABNT NBR 7190:1997.

Para cálculo de estruturas de madeira, executadas com Marupá, podem ser utilizados os valores característicos e médios, apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Dados Físicos e Mecânico da Madeira Marupá

PROPRIEDADE FÍSICO MECÂNICA DA MADEIRA MARUPÁ			
Massa Específica		g/cm <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>
Aparente (15% de umidade)		0,50	500
Básica		0,40	400
Retração Total	Radial	Tangencial	Volumétrica
(%)	2,6	5,9	8,8
Índice Tangencial/Radial =			1,85
Resistência Mecânica (kgf/cm <sup>2</sup> )		Madeira Verde	A 12% de Umidade
Compressão Axial		207	337
Flexão Estática		441	583

Fonte: Autor – Planilha Excel (2019).

Os resultados indicam que a madeira de Cedro-Rosa possui mediana resistência mecânica e pode ser utilizada em estruturas de madeira de pequeno a médio porte, pois o valor característico da resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c0,k} = 30,53$  MPa) a posiciona na classe de resistência C 30, entre as classes de resistência definidas pela NBR 7190, da ABNT (1997), para as dicotiledôneas (CRUZ et al., 2006). Para cálculo de estruturas de madeira executadas com Cedro-Rosa, podem ser utilizados os valores característicos e médios, apresentados na Tabela 11 abaixo.

Tabela 11 - Dados Físicos e Mecânico da Madeira Cedro

PROPRIEDADE FÍSICO MECÂNICA DA MADEIRA CEDRO			
Massa Específica		g/cm <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>
Aparente (15%de umidade)		0,53	530
Básica		0,44	440
Retração Total	Radial	Tangencial	Volumétrica
(%)	4,0	6,2	11,6
Índice Tangencial/Radial =			1,55
Resistência Mecânica (kgf/cm <sup>2</sup> )		Madeira Verde	A 12% de Umidade
Compressão Axial		286	399
Flexão Estática		640	828

Fonte: Autor – Planilha Excel (2019)

Ao se retirar os dados físicos e mecânicos das duas espécies, publicados em um artigo e analisados com os respectivos ensaios executados neste estudo, vimos a semelhança nos dados, mas para tal comparação resolvemos equalizar os dados numa planilha para análise dos desvios padrões e coeficiente de variações referentes aos principais ensaios executados neste trabalho (Tabela 12).

Tabela 12 - Coeficiente de Variação dos Ensaios da Madeira Cedro e Marupá

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO MECÂNICA				
ENSAIO DE COMPRESSÃO				
Madeira	Dados	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
Cedro	286	246,5	39,5	16,02%
Marupá	207			
ENSAIO DE FLEXÃO				
Madeira	Dados	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
Cedro	640	540,5	99,5	18,41%
Marupá	441			

Fonte: Autor – Laboratório de Ensaios Mecânicos do IFPA, 2019.

Os resultados obtidos na Tabela 12 foram satisfatórios levando em consideração o coeficiente de variação do ensaio de flexão que foi de 18,41%, e para os ensaios de

compressão foi de 16,02%. Segundo análises verificadas, os percentuais de variação não são tão distantes entre as propriedades físico mecânicas das duas espécies.

A relação  $f_{v0,k}/f_{c0,k}$  avaliada para madeira Marupá, correlacionada à madeira Cedro, indicou ser boa para utilização em mobiliários com maior potencial de resistência no módulo de compressão normal às fibras do que em flexão paralelo às fibras.

### 4.3 Protótipo Proposto

Utilizou-se do conhecimento de metodologia projectual para o desenvolvimento de um protótipo em escala reduzida com a madeira Marupá, pois esta matéria prima não é utilizada para a fabricação de mobiliários pelas indústrias locais de pequeno e médio porte. Nesta etapa, foi confeccionado um protótipo em escala reduzida seguindo a metodologia de projeto voltada para o desenvolvimento de produto. Segundo Fiod (1993), o processo de projeto engloba as fases de: a) Informacional; b) Conceitual; c) Preliminar; d) Detalhado, e e) Final. A primeira fase, Planejamento, envolve as atividades de estudo da sequência a ser obedecida no processo de projeto.

As especificações do produto estão descritas como de ótima função adequando-se conforme necessidade do cliente, servindo como peça atrativa, utilitária dentro da decoração de um ambiente, seja para sala, quarto ou áreas externas como piscina e varanda. Levou-se em consideração neste projeto critérios e padrões ergonômicos, de sustentabilidade, de modularidade e de viabilidade econômica, bem como um design atraente. Com isso, foi desenvolvido um modelo reduzido do produto numa *escala* (cm): 1:20 e modelos volumétricos de representações tridimensionais de rascunhos e desenhos ainda em fase conceitual, onde não existem muitas dimensões fechadas ou restrições de materiais e fabricação. O modelo reduzido desenvolvido foi com a madeira citada neste trabalho, baseado nos arquivos 3D preliminares e modelos existentes.

A modelagem tridimensional da cadeira foi desenvolvida no software Inventor da Autodesk e permite criar protótipos virtuais tridimensionais. A licença utilizada neste projeto foi a Educacional da Autodesk no link de acesso gratuito fase experimental <https://www.autodesk.com.br/education/free-educational-software>.

Vale ressaltar que no produto analisado foi feita busca de anterioridade, no site do INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial, e a composição de sua produção está na norma da ABNT NBR – 14006/2008. A figura 29 demonstra o modelo em realidade visual 3D da cadeira denominada “Pororoca”.

Figura 29 - (a) Prototipagem Modelagem 3D (b) Prancha 3D



Fonte: Autor – Software Inventor 3D – Cadeira Pororoça, 2019

Como exposto, foi desenvolvido um modelo reduzido do produto numa escala de (cm): 1:20 com a madeira citada neste trabalho, baseado nos arquivos 3D preliminares e modelos existentes. Na figura 30 (a) e (b), estão as imagens do modelo reduzido na proporção da escala citada, assim como um POP – Procedimento operacional padrão das etapas de construção desse modelo reduzido que está na Figura 32.



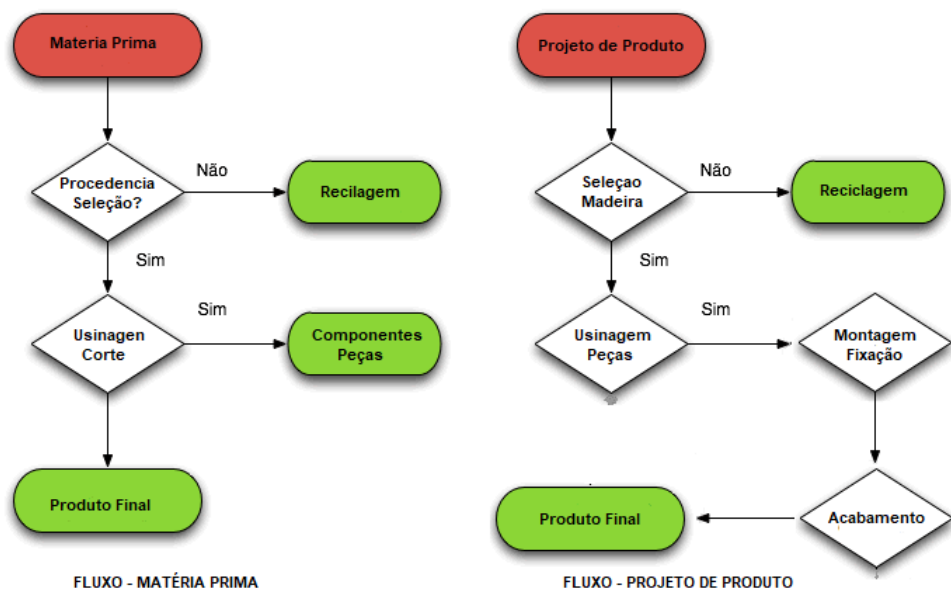
Figura 30 - (a) – Prototipagem de peças (b) -Modelo reduzido escala 1:20



Fonte: Autor – Empresa Moveis Souza 2019

O processo de fabricação da cadeira se constituirá pelo desenho técnico com suas respectivas dimensões e detalhamento das execuções de tarefas a serem executadas, com máquinas e equipamentos adequados de fácil usinagem, trababilidade e acabamento. Com base na análise do estudo do fluxo do processo de fabricação do protótipo na Figura 30.

Figura 31 - Fluxograma de Processo da Cadeira









Fonte: Autor – Sheawre Bizagi, 2019.

Para o processo de fabricação do protótipo da cadeira foi necessário fazer uma fluxo de processo conforme Figura 32. Procedimento Operacional Padrao: **Op1** (Corte das peças), **Op2** (Aplainamento), **Op3** (Furadeira), **Op4** (Montagem- engradamento), **Op5** (Montagem), **Op6** (Acabamento).

Figura 32 - Procedimento operacional padrão – Confeção do protótipo

POP- Procedimento Operacional Padronizado para Fabricação de uma Cadeira Norma ABNT NBR 14006		
Produto: Cadeira		Modelo: Poltrona
		Lote: 01
Item	Elementos de Trabalho	Procedimentos Operacionais
1	Op1 (Componente do Acento), Separar	Separar madeiras nas dimensões do projeto
2	Op2 (Componente da Perna) Usinagem	Aplainamento das peças na espessura
3	Op3 (Componente do Encosto) Usinagem	Cortar as peças de acordo com os gabaritos
4	Op4 (Estrutura da montagem) Manipular	Montar a cadeira conforme descritivo técnico
6	Op5 (Acabamento – Pintura) das Peças	Liixar, limpar e aplicar produto químico
7	Op6 (Embalagem da Cadeira) das Peças	Encaixar e fixar os moldes na embalagem
8	Op7 (Expedição e Entrega) Cliente Final	Deslocar para o local de expedição.

<b>1 - Corte Peças</b>	<b>2 - Aplainamento</b>	<b>3 - Furadeira</b>
		
<b>4 - Montagem</b>	<b>5 - Montagem</b>	<b>6 - Acabamento</b>
		
<i>Elaborado por: Marcos Martins</i>		<i>Validado por: Móveis Souza</i>

Fonte: Autor – Móveis Souza - Procedimento Operacional Padrão, 2019.

Outros projetos foram propostos neste trabalho no mesmo contexto que o designer tem seu papel fundamental. A Mesa Paraora – madeira marupá e cedro (Figura 33) mostra a identidade amazônica dos móveis propostos de forma conceitual, metodológica e de processamento propostos por outros autores (GUI BONSIPE, 1982; BAXTER, 1998; AZEREDO, 2006; SOUZA, 2008; PERRÉ, 2016).

Figura 33 - Mesa Paraoara – Madeira Marupá e Cedro



Fonte: Autor - Móveis Souza, 2018.

## 5 CONCLUSÃO

Podemos concluir no presente trabalho que, por análises dos ensaios mecânicos, a madeira Marupá se aproxima da característica física e mecânica da madeira nobre Cedro, pois ambas são consideradas espécies leves, a estabilidade dimensional durante a secagem foi satisfatória, com baixa suscetibilidade de ocorrer defeitos durante o processo de secagem. A sua trabalhabilidade referente ao manuseio, processos de usinagem, colagem e acabamento é excelente.

A comparação em análises de resistência mecânica mostrou que ambas as madeiras são aproximadas conforme os gráficos apresentados nos resultados de seus desvios padrão. Logo, o coeficiente de variação nos leva a caracterizar a madeira Marupá viável como fonte de suprimento para o setor moveleiro para fabricação de móveis com baixa capacidade de carga, móveis finos, esquadrias e aparelhos musicais, levando em consideração normas e processos de fabricação de produtos.

## 6 TRABALHOS FUTUROS

As análises citadas neste trabalho geram inúmeras oportunidades de análise da matéria-prima estudada, haja vista que há estudos físicos sobre a madeira Marupá, porém existem poucas análises mecânicas para viabilidade da matéria prima no desenvolvimento de produtos.

Levando em consideração que existam inúmeras espécies de madeiras consideradas “Alternativas,” ou mesmo que estejam em mutações ao longo do tempo, faz-se necessário ampliar os estudos para novas oportunidades de viabilidade como:

- Aumentar o número de espécies a serem estudadas consideradas madeiras alternativas.
- Ampliar estudos que venham a contribuir para inserção da matéria prima no mercado.
- Simular e fazer ensaios mecânicos no produto confeccionado com a madeira marupá.
- Estudos de viabilidade de reflorestamento com a espécie de madeira marupá.
- Análise de engenharia reversa com o produto confeccionado com a madeira estudada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). **NBR 7190** – Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, ABNT. 107p.
- AZEREDO, Maurício. **A construção da identidade brasileira no mobiliário**. Pontos sobre o Brasil. São Paulo: Instituto Lina Bo e P.M.Bardi, 1999.
- BAXTER, M. **Projeto de Produto**. São Paulo: Edgard Blucher, 2011. 3º edição.
- BRAND, M. A.; KRAMBECK, L. B. P.; SIMAO R. L. **Ensaio Experimental de espécies do gênero Pinus na avaliação das propriedades mecânicas da madeira**: In: III Encontro de ciência e tecnologia, p. 1-15, Lages, Nov. 2004.
- CALIL JR., C. O potencial do uso da madeira de pínus na construção civil. **RevistaTéchne**, São Paulo, n. 60, p. 44-48, mar. 2002.
- CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica**: Processos de fabricação e tratamento. 2. ed. Volume III – São Paulo, 1986.
- CRUZ, M. L. R.; PENNA, E. S.; FINGER, Z.; S.R JÚNIOR, M.; LOGSDON, N. B. **Marupá**: caracterização mínima de resistência e simplificada da rigidez. Anais do 10º encontro brasileiro em madeiras e em estruturas de madeiras, Agosto de 2006, SP.
- DEAN, Warren. **A Ferro e Fogo** – A história e a devastação da Mata Atlântica brasileira. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. p. 150-155.
- DETF. **PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DA MADEIRA**. 1ª. edição: fevereiro/ 2.005; 4ª edição: novembro/ 2.012 – atualização: setembro/ 2014 Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR Prof. Dr. João Carlos Moreschi.
- FRANÇA, F. M.; FRAZÃO, F. S.; KORASAKI, V.; LOUZADA, J. Identifying thresholds of logging intensity on dung beetle communities to improve the sustainable management of Amazonian tropical forests. **Biological Conservation**, v. 216, p. 115-122, 2017.
- HARA, M. M. **Proposta de método de ensaio para determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de madeiras mediante esforço induzido por punção do corpo de prova**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil/UTFPR, Curitiba, PR, 2011.
- HAMMER, Michael; CHAMPY, James. **Reengenharia**: Revolucionando a Empresa. 3. ed. Rio de Janeiro. Campus. 1994.
- IBAMA. **Madeiras brasileiras**. 2019. Disponível em: <<http://ibama.gov.br>>. Acesso em: 08 março 2019.
- IBF. Instituto Brasileiro de Florestas. **Mogno Africano *Khayaivorensis*, *senegalensis* e *anthoteca***. Londrina: IBF, 200. 28 slides, color.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Informações sobre madeiras**. 2019. Disponível em: <<http://ipt.br>>. Acesso em: 08 março 2019.

JR ELEOTÉRIO; REICHERT, D.; HORNBURG, K. F.; MENEGUELLI, I. **Massa específica e retratibilidade da madeira de seis espécies de eucalipto cultivadas no litoral de Santa Catarina**, 2014.

KRAUSE, C.; BOUCHARD, A. D. P.; PLOURDE, D. Y.; MAILLY. Compression Wood and stem horizontal displacement in Black spruce and Jack pine plantations in the boreal Forest. **For. Ecol. Manage.** V. 302, p.154-162, 2013.

KOTLER, P. **Administração de Marketing**: análise, planejamento, implementação e controle. 5 ed. São Paulo, 1998.

LA ROVERE, R. L. **As pequenas e médias empresas na economia do conhecimento: implicações para políticas de inovação**. In: LASTRES, H. M. M., e ALBAGLI, S. Informação e globalização na era do conhecimento. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

LOGSDON, N.B. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. São Carlos, SP. 174p. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. 1998.

LOGSDON, N. B. Variação da densidade aparente da madeira com sua umidade, modelagem teórico experimental. **Madeira: Arquitetura e Engenharia**, ano 4, n. 12. CDROM (Arquivos\Art 05 revista 12.pdf). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 2004.

MATTOS, J. C.; TOLEDO, J. C. Custos da qualidade: diagnóstico nas empresas com certificação ISO 9000. **Gestão&Produção**, v. 5, n .3, p. 312-324, 1998.

McMILLEN, J. M. **Stresses in wood during drying**. Madison: Forest Products Laboratory, 1958, 52 p. (FPL Report, 1652, reissued 1963).

MOREIRA, Luís Eustáquio; RIPPER, José L. M. **Métodos de Ensino de Design de Produtos e sua Aplicação às Estruturas da Engenharia Civil**. Belo Horizonte, 2004.

PAULA-FILHO, P. L. **Reconhecimento de Espécies Florestais Através de Imagens Macroscópicas**. PhD thesis, Universidade Federal do Paraná. 2012.

PENNA, E. S.; FINGER, Z.; S.R JÚNIOR, M.; LOGSDON, N. B. **Cedro-rosa**: caracterização mínima de resistência e simplificada da rigidez. Anais do 10º encontro brasileiro em madeiras e em estruturas de madeiras, Ago 2006, SP.

PERRÉ, G.; ALMEIDA, M.; AYOZ, X. New modelililing approaches to predict Wood properties from its cellular structure: image-based representation and meshess methods. **Ann. For. Sci**, v. 73, p. 147 -162, 2016.

PERUZZI, J. **Manual sobre a Importância do Design no Desenvolvimento de Produtos**. SENAI – CETEMO, RS 1998.

- PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. 6.ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2003. 224p.
- PIKUL, J. H. **Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics**. University of Pennsylvania, Philadelphia, PA, United States; © Copyright 2019 Elsevier B.V., All rights reserved.
- RAVEN, P.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. 2007. **Biologia Vegetal**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 830 p.
- RITTER, M. A. **Timber Bridges: Design, Construction, Inspection, and Maintenance: manual**. 1 ed. Washington, Forest Service USA. 1990.
- RIZZINI, Carlos Toledo. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira**. 2. ed. São Paulo. Ed. Edgard Blücher, 1971.
- RODRIGUES, R. A. D. **Variabilidade de propriedades físico mecânicas em lotes de madeira serrada de eucalipto para a construção civil**. Dissertação de Mestrado. Ciência e Tecnologia da Madeira/USP, Piracicaba, SP, 2002.
- ROTHWELL, R.; DODGSON, M. **Technology based SME's: their role in industrial and economic change**. Buckinghamshire, UK: InderscienceEnterprises, 1993.
- ROVERE, R. L. **Perspectivas das micro, pequenas e médias empresas no Brasil**. Grupo de Economia da Inovação – Instituto de Economia da UFRJ, 2004.
- SCHERER, F. L.; MUSSI, C. W. Comportamento estratégico: um estudo na indústria de plásticos de Santa Catarina. **Revista de Ciências da Administração**, p. 65-75, 2008.
- SOUZA, Maria Helena de. **Madeiras tropicais brasileiras**. 2.ed. Brasília. Edições Ibama, 2002.
- SOUZA, Marcos Martins. **Desenvolvimento de Produtos a Partir de Resíduos de Madeiras: A Importância do Design na Sustentabilidade do Setor Moveleiro**. Instituto de Estudo Superior da Amazônia. Curso de Bacharelado em Design Projeto Produto. Belém, 2008.
- SILVA, J. C. **Anatomia da madeira e suas implicações tecnológicas**. Viçosa, 2005.
- TAKESHITA; JANKOWSKY. **Redução na higroscopicidade e na movimentação dimensional da madeira de folhosas submetida a tratamentos térmicos**, 2011.
- XAVIER, J. M. C. **Caracterização do comportamento ao corte da madeira usando o ensaio de iosipescu**. Dissertação de Mestrado. Tecnologias das Engenharias/Universidade de Trás-os-montes e Alto Douro, Vila Real, 2003.
- ZENID, G. J.; CECCANTINI, G. C. T; CHIMELO, J. P. **Identificação Botânica de Madeiras**. São Paulo: IPT – Curso de Educação Continuada – Laboratório de Anatomia e Identificação de madeiras, Divisão de Produtos Florestais, 2005. 67p.
- ZIECH, R. Q. S. **Características tecnológicas da madeira de cedro australiano**



**(*Toonaciliata* M. Roem) produzida no sul do Estado de Minas Gerais.** 2008. 91 f.  
Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) Universidade Federal de Lavras,  
Lavras.