



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Lecythis lurida* E AVALIAÇÃO DE SEU
USO PARA CONFECCÃO DE CRUZETAS**

Eduardo Souto Reis

Brasília, 19 de Junho de 2019

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
FACULDADE DE TECNOLOGIA - FT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL - EFL

**CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Lecythis lurida* E AVALIAÇÃO DE SEU
USO PARA CONFECCÃO DE CRUZETAS**

Estudante: Eduardo Souto Reis
Matrícula: 14/0081542

Linha de Pesquisa: Tecnologia da Madeira
Orientador: Dr. Prof. Alexandre Florian da Costa
Coorientador: MSc. Peter Wimmer

Trabalho apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

BRASÍLIA, 19 de junho de 2019

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Caracterização da madeira de *Lecythis lurida* e avaliação de seu uso para a confecção de cruzetas

Estudante: Eduardo Souto Reis; Matrícula: 14/0081542
CPF:038.997.881-76

Menção: 55

Aprovado em: 30/06/2019

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa

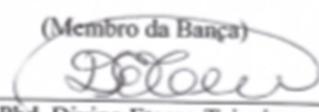
Departamento de Engenharia Florestal

(Orientador)


Msc. Peter Wimmer

Laboratório de Produtos Florestais - LPF/SFB

(Membro da Banca)


Phd. Divino Eterno Teixeira

Laboratório de Produtos Florestais - LPF/SFB

(Membro da Banca)

FICHA CARALOGRÁFICA

SOUTO REIS, EDUARDO

CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Lecythis lurida* E AVALIAÇÃO DE SEU USO PARA CONFECCÃO DE CRUZETAS [Distrito Federal] 2019. 49 p., 210 x 297mm (EFL/FT/UnB, Engenheira, Engenharia Florestal, 2019).

Trabalho de conclusão de curso - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.
Departamento de Engenharia Florestal

1. Propriedades Físicas e Mecânicas
2. NBR 8458/2010
3. Testes não destrutivos

I. EFL/FT/UnB

II. Título(série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Reis, E. (2019). CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Lecythis lurida* E AVALIAÇÃO DE SEU USO PARA CONFECCÃO DE CRUZETAS. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 49 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Eduardo Souto Reis 1

TÍTULO CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Lecythis lurida* E AVALIAÇÃO DE SEU USO PARA CONFECCÃO DE CRUZETAS.

GRAU: Engenheiro em Engenharia Florestal ANO: 2019

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Eduardo Souto Reis
Depto. de Engenharia Florestal (EFL)-FT
Universidade de Brasília (UnB)
Campus Darcy Ribeiro
CEP 70919-970 – Brasília – DF - Brasil

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Cláudia e Maurício, por todo amor, dedicação, ensinamentos e inspiração, que me tornaram essa pessoa que sou hoje, que me mostraram que o melhor é sempre olhar pra frente. Por me inspirarem e sempre ajudarem em todas as minhas dificuldades. Por me proporcionarem a melhor educação e principalmente, por nunca me deixarem desistir. Vocês são minha maior inspiração. Eu amo muito vocês!

Aos meus irmãos, Natália e Gabriel, por estarem também ao meu lado e me aconselhando e querendo sempre o meu melhor. Com vocês eu aprendo muito sobre como as coisas da vida funcionam e me mostram que se correremos atrás dos nossos objetivos conseguimos tudo.

Aos meus avós José Alonso e Maria Amélia por me acolherem durante boa parte do tempo que estive na faculdade, ao meu avô Oswaldo, por todos os conselhos e ensinamentos. Amo vocês!

Aos meus amigos de vida, Ednaldo, Ricardo, Matheus e Felipe, vocês são como uns irmãos para mim, obrigado por todo o apoio, por todos os “roles”, pelas conversas aleatórias e jogos. Mas principalmente pelo que vocês representam pra mim.

Agradeço também a Julia Azambuja por ser a melhor companheira que eu poderia ter, por me aturar, por me aconselhar, por me ajudar a enfrentar muitas das minhas dificuldades. Obrigado por ser essa pessoa maravilhosa que você é, te amo muito!

A todos os meus tios e primos, vocês sempre me passaram todos os conhecimentos e ensinamentos dos melhores jeitos, com conversas sérias e descontraídas, amo todos vocês. Agradeço também a família Azambuja, por me acolherem dentro da família e por serem tão especiais para mim.

Ao meu supervisor Peter Wimmer, por ter me dado à oportunidade de estagiar no Laboratório de Produtos Florestais (LPF), pelos ensinamentos e a todos do LPF das áreas de Anatomia, Produtos, Química, Energia, Biodegradação que me acolheram muito bem. Em especial a área da Engenharia, Luciano, Mario, Cecília e João, também ao Divino que me guiaram em vários projetos e me ensinaram muito.

Aos meus professores, que me mostraram a grandiosidade e importância da Engenharia Florestal e por toda base de conhecimento dividida, principalmente: Alexandre Florian meu orientador e fonte de inspiração com seu vasto conhecimento. À UnB, especificamente ao Departamento de Engenharia Florestal.

Aos meus amigos de curso, desde os mais antigos aos mais recentes. E todos meus amigos desde colégio que por mais que as vezes seja difícil de encontrar, vocês sempre estão presentes.

Obrigado!

RESUMO

Apesar da abundância nas florestas de Rondônia, a madeira de *Lecythis lurida* (Miers.) S. A., conhecida popularmente como Inhaíba, é pouco explorada, sendo eventualmente colhida para finalidades que exigem alta resistência mecânica, porém com baixo valor agregado. Com o objetivo de gerar conhecimento a respeito da espécie, que possa ajudar a inseri-la no mercado, foi realizada uma coleta no ano de 2017, na Floresta Nacional de Jacundá (RO). Entre os possíveis usos cogitados para a espécie está a confecção de cruzetas destinadas a suportar condutores e equipamentos de redes aéreas de distribuição de energia elétrica. Este trabalho apresenta e analisa as propriedades físicas, mecânicas e a trabalhabilidade, da madeira de *L. lurida* assim como avalia a possibilidade do emprego dessa espécie para o uso como cruzeta. Os corpos de prova foram confeccionados e os testes foram realizados nas dependências do Laboratório de Produtos Florestais (LPF). Para os testes de propriedades físicas e mecânicas seguiu-se a norma ASTM D143(2019), utilizando cinco corpos de prova a 12% de umidade e cinco corpos de prova saturados em água. Os ensaios de trabalhabilidade seguiram a norma ASTM D1666 (2019). O teste de mecânico da cruzeta foi realizado segundo a norma NBR 8458/2010 (2019), determinando-se as flechas máximas e residuais e em seguida todas as cruzetas foram levadas à ruptura nas faces que apresentaram maiores deformações (flechas), definindo-se, assim, a carga mínima para ruptura. Como testes suplementares à norma de cruzetas, também foram realizados os testes não destrutivos de Ondas de tensão e de Classificadora mecânica, aparelho desenvolvido no próprio LPF. A madeira de *L. lurida* possui densidade média, e alta instabilidade dimensional, devido ao alto coeficiente anisotrópico, além de possuir boa resistência mecânica. Para a trabalhabilidade a madeira obteve classificação ruim para broca e plaina, com melhora após ser passada no plaina “desengrosso” e boa resposta quando são aplicadas lixa 80 e 120 em sua superfície. Para os testes da norma ABNT NBR 8458:2010 a espécie apresentou excelentes resultados quanto à resistência mecânica, porém com defeitos observados em análise visual como sinuosidades e rachaduras. Os testes não destrutivos mostraram boa correlação com os testes da norma de cruzetas das duas primeiras cruzetas e baixa com a terceira. Sendo assim, a madeira de *L. lurida* pode ser usada com finalidades que demandem alta resistência mecânica, porém seus defeitos a impedem de ser comercializada como cruzetas dentro dos padrões das normas.

Palavras chaves: propriedades físicas e mecânicas, NBR 8458/2010 e Teste não destrutivo.

ABSTRACT

Despite the abundance in the forests of Rondônia, the wood of *Lecythis lurida* (Miers.) S.A, popularly known as Inhaíba, has not been much explored, occasionally being harvested for purposes that require high mechanical resistance, but with low added value. In order to generate knowledge about the specie, which could help to insert it in the wood market, a field trip was held in the year 2017, in the National Forest of Jacundá (RO), to collect wood samples. Among the possible uses considered for the specie is the construction of cross-arms to support conductors and airline networks equipment of electric energy. This work presents and analyzes the physical, mechanical and machining tests, of *L. lurida* wood as well as evaluates the possibility of using this specie as cross-arms. The specimens were prepared and the tests conducted in the Forest Products Laboratory (LPF). For the physical and mechanical properties tests, ASTM D143 (2019) standard was followed, using five specimens at 12% humidity and five water-saturated specimens. The machining tests followed ASTM D1666 (2019) standard. The mechanical test of the cross-arms was performed according to the standard NBR 8458/2010 (2019), determining the maximum and residual deflection and then all the cross-arms were taken to rupture in the sides that presented major deformations, thus defining itself, the minimum breaking strength. Additional non-destructive tests of Stress Waves and of Mechanical Classifier, an apparatus developed at LPF, were done. The wood of *L. lurida* has medium density but besides having good mechanical resistance, it has high dimensional instability, due to the high anisotropic coefficient. Concerning machining tests, the wood was badly classified for drill and planer, with improvement after being passed in the "desengrosso" planer, and good results when sander 80 and 120 were applied on surface. For the tests of the standard ABNT NBR 8458: 2010 the species presented excellent results regarding the mechanical resistance, but with defects observed in visual analysis such as sinuosity and cleavage. The results of the non-destructive tests had a good correlation with the results of the cross-arms standard test for the first two cross-arms, however low correlation for the third one. Therefore, *L. lurida* wood can be used for purposes that require high mechanical strength, but its defects prevent it from being marketed as cross-arms within the standards.

Keywords: Physical and mechanical properties, NBR 8458/2010 and non-destructive test.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Árvore Inhaíba (<i>Lecythis lurida</i>). Fonte: Árvore Brasil. 2019.....	13
Figura 2. Fruto de <i>L. lurida</i> . Fonte: Árvore Brasil. 2019.	14
Figura 3. Floração e folhas de <i>L. lurida</i> . Fonte: Árvore Brasil. 2019.	14
Figura 4. Face Transversal. Fonte: Laboratório de Produtos Florestais. 2019.....	15
Figura 5. Face Tangencial. Fonte: Laboratório de Produtos Florestais. 2019.....	15
Figura 6. Cruzeta de madeira. Fonte: Venteroli; 2019.....	17
Figura 7. Aparelho Stress Wave, marca Metriguard. Fonte: Autor.....	19
Figura 8. Máquina de Classificação Mecânica. Fonte: Autor.	20
Figura 9. Corpos de prova de compressão perpendicular e compressão paralela. Fonte: Autor.	23
Figura 10. Corpos de prova de cisalhamento e de tração perpendicular. Fonte: Autor.....	23
Figura 11. Ensaio mecânico de cisalhamento verde, flexão estática e compressão perpendicular seco. Fonte: Autor.....	24
Figura 12. Cruzeta de 2 metros com detalhe dos orifícios no meio da peça (medidas em milímetros). Fonte: NBR 8458/2010 (2019).	25
Figura 13. Ilustração do bisel nas cruzetas (medidas em milímetros). Fonte: Autor.	26
Figura 14. Confecção das cruzetas na carpintaria do Laboratório de Produtos Florestais. Fonte: Autor.....	26
Figura 15. Confecção dos biseis das cruzetas com o uso da tupa. Fonte: Autor.....	27
Figura 16. Esquema ilustrativo das forças (F1 e F2) aplicados simultaneamente em cada face das cruzetas segundo a NBR 8458/2010. Fonte: NBR 8458/2010 (2019).....	28
Figura 17A. Detalhe do relógio comparador utilizado para medir as deformações; Figura 17B. Montagem do ensaio a ser utilizado pela norma NBR 8458/2010. Fonte: Autor.	29
Figura 18. Cruzeta de Inhaíba ensaiada segundo a norma NBR 8458/2010. Fonte: Autor.	29
Figura 19. Aparelhos Stress-Wave Metriguard Modelo 239 A. Fonte: Autor.	30
Figura 20. Máquina de classificação mecânica desenvolvido no Laboratório de Produtos Florestais (LPF). Fonte: Autor.....	31
Figura 21. Pistão com adaptação. Fonte: Autor.....	32
Figura 22. Tábuas de <i>L. lurida</i> confeccionadas para teste de trabalhabilidade. Fonte: Autor.	37
Figura 23. Ilustração da presença de canais traumáticos. Fonte: Autor.	38
Figura 24. Rachaduras nas cruzetas. Fonte: Autor.	39
Figura 25. Rompimento da cruzeta durante o teste da norma NBR 8458/2010. Fonte: Autor.....	41
Figura 26. Cruzetas após serem levadas ao limite de ruptura. Fonte: Autor.	42
Figura 27. Gráfico de comparação entre os métodos não destrutivos e destrutivos (NBR8458).	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Espécies de uso regulamentado na fabricação de cruzetas segundo a NBR 8458/2010 (<i>ipsis litteris</i>).....	18
Tabela 2. Resistência à flexão para cruzetas segundo a NBR 8458/2010.....	18
Tabela 3. Notas atribuídas às amostras nos ensaios de trabalhabilidade.....	25
Tabela 4. Médias, desvio Padrão e coeficientes de variação das densidades da madeira de <i>L. lurida</i>	33
Tabela 5. Valores médios das contrações radial, tangencial, volumétrica e coef. de anisotropia para a madeira de <i>L. lurida</i>	34
Tabela 6. Valores médios dos ensaios mecânicos para a madeira de <i>Lecythis lurida</i> , no estado verde.	35
Tabela 7. Valores médios dos ensaios mecânicos para a madeira de <i>Lecythis lurida</i> , à 12% de umidade.	35
Tabela 8. Relação da classificação e das notas para os testes de trabalhabilidade.....	37
Tabela 9. Percentual médio de defeitos para as cruzetas de todas as faces.....	38
Tabela 10. Resultados das deformações máximas e residuais em cada face das cruzetas de <i>L. lurida</i>	40
Tabela 11. Teste de resistência à flexão de <i>L. lurida</i> em comparação com a NBR 8458.	41
Tabela 12. Módulos de elasticidade, da classificadora, da onda de tensão e pela norma NBR 8458/2010.	42
Tabela 13. Correlação entre a norma e os métodos não destrutivos.....	43

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVO	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1. Características Gerais da Espécie	12
3.2. Propriedades físicas e mecânicas.....	15
3.3. Trabalhabilidade.....	16
3.4. Cruzetas	16
3.5. Testes não destrutivos.....	19
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
4.1. Local de Coleta.....	20
4.2. Desdobro	20
4.3. Propriedades Físicas	21
4.4. Propriedades Mecânicas.....	22
4.5. Trabalhabilidade.....	24
4.6. Confeção das Cruzetas.....	25
4.7. Análise Visual dos Defeitos das Cruzetas	27
4.8. Resistência à Flexão das Cruzetas	28
4.9. Testes não destrutivos nas Cruzetas.....	30
4.9.1. Ondas de tensão	30
4.9.2. Máquina de classificação mecânica	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1. PROPRIEDADES FÍSICAS	33
5.1.1. Densidade	33
5.1.2. Estabilidade Dimensional	34
5.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS	34
5.3. TRABALHABILIDADE	36
5.4. ANALISE VISUAL DOS DEFEITOS DAS CRUZETAS	38
5.5. RESISTÊNCIA À FLEXÃO.....	39
5.6. TESTES NÃO DESTRUTIVOS.....	42
6. CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1. INTRODUÇÃO

Práticas que buscam amenizar os impactos ambientais têm se tornado cada vez mais urgente em um mundo cada vez mais desenvolvido. Tendo em vista esse propósito, o uso de produtos naturais renováveis como a madeira, no lugar do concreto e do aço, se torna uma alternativa para atender a demanda tecnológica em um contexto de sustentabilidade.

Sendo assim, o Brasil possui uma grande capacidade de produção de artigos madeireiros, tendo em vista que, conta com a segunda maior reserva florestal do mundo, e possivelmente a mais diversa. Estudos estimam que, apenas na Amazônia, existam mais de 11 mil espécies arbóreas (TER STEEGE et al., 2016).

No entanto, poucas espécies têm suas características tecnológicas conhecidas e são comercialmente exploradas, acarretando em uma super-exploração e supressão destas espécies nas florestas. Em função do baixo conhecimento técnico e científico acerca das demais espécies, estas acabam tendo uma destinação de pouca relevância e com baixo valor agregado.

Para promover o uso de novas espécies florestais, é necessário que se faça a caracterização tecnológica. Caracterização tecnológica é o processo para se determinar as principais características anatômicas, químicas, biológicas, energéticas, físicas, mecânicas e de processamento da madeira. Tal caracterização possibilita maior rendimento e segurança em suas aplicações. Deve ser feita de maneira criteriosa, com todo rigor científico e principalmente com embasamento em normas, pois dessa forma ela propicia credibilidade mundo afora.

Lecythis lurida (Miers) S. A. é uma espécie com registros na floresta amazônica e na mata atlântica (MORI, 1995), (IUCN, 2017). É conhecida popularmente como Jarana ou Inhaíba, sendo encontrada abundantemente no estado de Rondônia, onde é eventualmente explorada pelas concessões florestais para finalidades que exigem alta resistência, como pontes.

Apesar disso, a madeira de *L. lurida* está inserida no grupo de menor valor de comercialização da portaria nº 611/2015 da Secretaria da fazenda do estado do Pará: R\$166,93 por m³ de tora e R\$ 492,33 por m³ de madeira serrada, para o mercado interno.

Com o objetivo de agregar valor e pelo fato de *L. lurida* não possuir um mercado consolidado, no ano de 2017, o Laboratório de Produtos Florestais (LPF) foi requisitado pela empresa Madeflona Industrial Madeireira Ltda. para realizar a caracterização tecnológica da madeira desta espécie e, em função do conhecimento empírico que se tem em relação a sua alta resistência, avaliar o potencial de uso dessa espécie como cruzeta.

Segundo a norma NBR 8458:2010 (2019), as cruzetas são definidas como peças de madeira de eixo sensivelmente retilíneo, sem emendas, destinadas a suportar condutores e equipamentos de redes aéreas de distribuição de energia. Devem ser confeccionadas com madeiras de puro cerne e alta densidade.

A madeira coletada na floresta nacional de Jacundá chegou ao LPF no fim de 2017, onde foi desdobrada em corpos de prova para a realização de testes físicos, mecânicos e de trabalhabilidade, para possível utilização como cruzetas, além de ter sido avaliado através de ensaios não destrutivos.

2. OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho foi analisar as propriedades físicas, mecânicas e a trabalhabilidade da madeira de *Lecythis lurida* (Miers.) S. A., bem como a possibilidade do emprego dessa espécie para o uso como cruzeta.

Os objetivos específicos foram:

- Determinar as densidades e retratibilidade da madeira de *L. lurida*.
- Determinar as propriedades mecânicas à 12% de umidade e verde da madeira de *L. lurida*.
- Determinar a trabalhabilidade da superfície da madeira de *L. lurida* quanto a broca, a plaina e a lixa grã 80 e 120.
- Análise visual e resistência à flexão de cruzetas de *L. lurida*.
- Realizar testes não destrutivos em cruzetas de *L. lurida*.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Características Gerais da Espécie

Lecythis lurida (Miers.) S. A. Mori pertence à família das *Lecythidaceae*. Popularmente conhecida como Jarana, Jarana-branca, Jarana-buroja, Inhaúba, Inhaíba, Inhaíba-gigante, Castanha-jarana, Inhaíba-de-rego, Inhaíba vermelha, Jarana-da-folha-grande, Inhaíba-da-folha-miúda ou Sapucaia-vermelha (MORI, 1995; ITTO LESSER USED SPECIES, 2018). É uma espécie muito frequente em florestas de terra firme na Amazônia, cujas características são pouco conhecidas (Figura 1).

Segundo dados do Sistema de Cadeia de Custódia do Serviço Florestal Brasileiro (2019), as árvores inventariadas de *L. lurida* para a região do Jacundá, apresentam altura média

comercial de 20,77 m, para indivíduos com DAP acima de 0,5m. Possui tronco de caráter tortuoso, além de apresentar sapopemas de baixa de altura: até 2,7 m (ITTO, 2018).



Figura 1. Árvore Inhaíba (*Lecythis lurida*). Fonte: Árvore Brasil. 2019.

A espécie é uma arbórea decídua, ou seja, perde todas as folhas antes da floração, possui frutos pixídios (Figura 2) indeiscente e pericarpo coriáceo, além de ser tolerante a lugares abertos e terrenos secos (MORI, PRANCE, 1983; MORI et al., 1990). A Figura 3 mostra as flores e as folhas da espécie.



Figura 2. Fruto de *L. lurida*. Fonte: *Árvore Brasil*. 2019.



Figura 3. Floração e folhas de *L. lurida*. Fonte: *Árvore Brasil*. 2019.

A madeira de *Lecythis lurida* (Miers.) S. A. Mori possui cerne/alburno distintos pela cor. O cerne tem aspecto amarronzado, sem alteração de cor por foto-oxidação. Os limites dos anéis de crescimento são indistintos ou pouco distintos. A madeira não possui brilho nas superfícies longitudinais e apresenta cheiro imperceptível. Dura ao corte transversal manual. Grã direita. Textura média. Figura presente causada por canais traumáticos. (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2018).

As Figuras 4 e 5 representam as faces transversal e tangencial da madeira de *L. lurida*, onde mostram características anatômicas.



Figura 4. Face Transversal. Fonte: Laboratório de Produtos Florestais. 2019.



Figura 5. Face Tangencial. Fonte: Laboratório de Produtos Florestais. 2019.

3.2. Propriedades físicas e mecânicas

As principais propriedades físicas para a madeira são: higroscopicidade, massa específica e retratibilidade. Já dentre as principais propriedades mecânicas destacam-se as seguintes: resistência a esforços de compressão, flexão, tração, cisalhamento e fendilhamento. Para a determinação do uso final específico, há necessidade de certa combinação dessas propriedades. Nas madeiras para uso estrutural, ou seja, aquelas que ficarão submetidas a esforços, as propriedades mais importantes são: as resistências à flexão estática, cisalhamento e compressão paralela e perpendicular à grã (TSOUMIS, 1991).

As propriedades físicas estão altamente correlacionadas com as propriedades mecânicas. Sabe-se que as propriedades mecânicas da madeira são dependentes, principalmente, da

densidade básica, da porcentagem de madeira juvenil, da largura dos anéis, do ângulo das microfibrilas, da inclinação da grã, da quantidade de extrativos, do teor de umidade, da intensidade ao ataque de insetos, do tipo, da localização e da quantidade de nós, dentre outros fatores (EVANS et al., 2000).

A determinação das propriedades físico-mecânicas de madeiras é realizada através de ensaios de laboratório, utilizando equipamentos próprios para essa finalidade e seguindo normas técnicas. (ARAUJO, 2007).

3.3. Trabalhabilidade

O estudo da trabalhabilidade mede o grau de facilidade do processamento da madeira e tem o objetivo de produzir formas e superfícies desejadas e com boa qualidade, tudo isso de maneira mais econômica possível (BURGER E RICHTER, 1991).

Segundo Silva (2005), quando a madeira é destinada para confecção de móveis, assoalhos, esquadrias entre outros usos que demandam alta qualidade da superfície, a usinagem bem executada garante uma melhora no desempenho dos processos de acabamento superficial, o que torna a operação economicamente viável.

3.4. Cruzetas

Linhas de transmissão de energia são usadas para transmitir energia em alta tensão guiada de uma fonte geradora para uma carga consumidora. Nesse sistema são utilizados postes e cruzetas para a sustentação dos cabos de energia (Figura 6).

De acordo com a norma NBR 8458:2010 (2019), as cruzetas são definidas como peças de madeira de eixo sensivelmente retilíneo, sem emendas, destinadas a suportar cargas de condutores e equipamentos de redes aéreas de distribuição de energia.

Entre as principais vantagens do uso de cruzetas de madeira estão: ser um recurso natural renovável, capacidade de fixação de carbono, apresentar alta resistência a esforços normais de compressão e tração, baixo custo energético, menores custos de transporte e instalação, entre outras (BORGES, 2008).



Figura 6. Cruzeta de madeira. Fonte: Ventoroli; 2019.

As especificações de cruzetas de madeira para redes de distribuição de energia elétrica são fixadas pela NBR 8458/2010 (2019), que apresenta as condições exigíveis para a preparação e recebimento de cruzetas de madeira, de seção retangular, destinada a redes aéreas de distribuição.

Segundo a referida norma, as cruzetas devem ser fabricadas a partir de madeira das espécies listadas na Tabela 1, de puro cerne. Entretanto, algumas delas já se encontram protegidas por lei, não sendo permitida sua utilização, como é o caso das espécies Aroeira (*Astronium urundeúva*), Braúna (*Melanoxylon brauna*), Sassafrás (*Ocotea pretiosa*) e Imbuía (*Ocotea porosa*). Outras têm, no mínimo, possibilidade de uso muito mais nobre, como o Ipê (*Tabebuia* sp.), o Roxinho (*Peltogyne* sp.), o Jatobá (*Hymenea* sp.), a Maçaranduba (*Manilka longifolia*), etc (BORGES, 2008).

Tabela 1. Espécies de uso regulamentado na fabricação de cruzetas segundo a NBR 8458/2010 (*ipsis litteris*).

Nome Popular	Nome Científico
Angico vermelho	<i>Piptadenia rigida</i>
Angico preto	<i>Piptadenia macrocarpa</i>
Angelim pedra	<i>Dinizia excelsa Aroeira</i>
Aroeira	<i>Astronium urundeúva</i>
Braúna	<i>Melanoxylon balsamun</i>
Cadriúva Vermelha	<i>Myroxylon brauna</i>
Cadriúva parda	<i>Myrocarpus sp</i>
Faveiro	<i>Pterodon pubescens</i>
Garapa	<i>Apuleia sp</i>
Imbuia	<i>Ocotea porosa</i>
Ipê	<i>Tabebuia sp</i>
Itapirucu	<i>Goniorrachis marginalia</i>
Jatobá	<i>Hymenaea sp</i>
Maçaranduba	<i>Manilka longifolia</i>
Pequi	<i>Cariocar sp</i>
Pau-pereira	<i>Platycyamus regnellii</i>
Roxinho	<i>Peltogyne sp</i>
Sucupira amarela	<i>Ferreirea spectabilis</i>
Sucupira parda	<i>Bowdichia sp e Diplotropis sp</i>
Sucupira vermelha	<i>Lecythis sp</i>
Sassafrás	<i>Ocotea pretiosa</i>

Fonte: ABNT NBR 8458/2010; Ano 2019.

Além dessas, pode-se utilizar outras espécies de madeira como: Peroba, Canafistula, Eucalyptus derivado das espécies *alba* e *tereticornis* e *Corymbia citriodora* (ex *Eucalyptus citriodora*), desde que isentos totalmente de alburno.

As dimensões das cruzetas de madeira são especificadas pela NBR 8459/2011, que padroniza as cruzetas para redes de distribuição. De acordo com essa norma, as cruzetas podem ser de 2,00, 2,40, 5,00 e 6,00 metros de comprimento. No relativo à resistência a flexão, as cruzetas devem satisfazer às exigências de flechas e de cargas de ruptura, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Resistência à flexão para cruzetas segundo a NBR 8458/2010.

Comprimento L (mm)	Descrição do carregamento	Resistência F (daN)	Flecha (mm)	
			Máxima	Residual Mínima
2000	Nominal	400	75	3
	Máximo excepcional	560	100	5
	Mínimo de ruptura	800	-	-
2400	Nominal	400	115	5
	Máximo excepcional	560	163	8
	Mínimo de ruptura	800	-	-
5000	Nominal	400	95	4
	Máximo excepcional	560	132	7
	Mínimo de ruptura	800	-	-
6000	Nominal	400	140	6
	Máximo excepcional	560	200	10
	Mínimo de ruptura	800	-	-

3.5. Testes não destrutivos

Ensaio Não Destrutivo (END) são técnicas utilizadas na inspeção de materiais e equipamentos sem danificá-los. Incluem métodos capazes de proporcionar informações a respeito do teor de defeitos de um determinado produto, das características tecnológicas de um material, ou ainda, da monitoração da degradação em serviço de componentes, equipamentos e estruturas. (ABENDI, 2019).

Os métodos de avaliação não destrutiva da madeira permitem estimar propriedades tecnológicas importantes sem alterar sua estrutura, preservando o material e desta forma não comprometendo seu uso futuro. Os ensaios não destrutivos são baseados no pressuposto de que algumas propriedades físicas simples podem indicar de maneira satisfatória características físicas, mecânicas ou químicas que são determinantes na qualidade da madeira (BUCUR, 2006). Segundo Del Menezzi et al. (2010), as técnicas mais utilizadas são estabelecidas nas características acústicas da madeira, que são: a propagação de ondas de tensão, ondas de ultrassom e vibração transversal.

O método das ondas de tensão (stress wave) consiste na emissão de ondas de tensão por impacto no material (Figura 7). A velocidade de propagação de uma onda de tensão induzida e sua atenuação no material são os principais parâmetros analisados neste método. (TARGA, et al., 2005).



Figura 7. Aparelho Stress Wave, marca Metriguard. Fonte: Autor.

O método de avaliação em máquina de classificação mecânica (Figura 8) desenvolvida pelo LPF/SFB tem toda sua estrutura composta de cantoneiras de aço de 5 cm, sendo a sua parte superior e lateral reforçada com cantoneiras de aço cruzada. O sistema de aplicação de

carga é composto por um macaco hidráulico com capacidade de 6000 kgf, um pistão cilíndrico hidráulico de 3,134 cm de diâmetro e área circular de 7,714 cm², e um manômetro de ponteiro (TELES et, al., 2008).



Figura 8. Máquina de Classificação Mecânica. Fonte: Autor.

As vantagens dos testes não destrutivos em relação a outros métodos tradicionais são relevantes como: o menor tempo na análise, redução de custos, melhor aproveitamento do material, detecção de degradação em caso de análise em indivíduo vivo e a possibilidade de uso posterior (AMODEI, 2011).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Local de Coleta

A madeira utilizada como objeto deste estudo foi coletada no ano de 2017, em área de Concessão Florestal da Floresta Nacional de Jacundá, localizada no Estado de Rondônia, entre os municípios de Porto Velho e Candeias do Jamari.

Após a derrubada na floresta, as toras foram transportadas até a serraria da empresa MADEFLONA Industrial Madeireira Ltda., onde foram desdobradas em pranchas. Em seguida este material foi transportado de caminhão até as dependências do Laboratório de Produtos Florestais, em Brasília.

4.2. Desdobro

O desdobro das peças de madeiras para confecção dos corpos de prova foi feito na carpintaria do LPF. O processo foi feito sempre com acompanhamento para averiguação do cumprimento das medidas especificadas pelas normas.

4.3. Propriedades Físicas

Para determinação das densidades, foram confeccionados 20 corpos de prova conforme a norma ASTM D143 (2019), com dimensões de 2 x 2 x 10 cm. As amostras foram mantidas em uma sala de climatização com temperatura de 22 ± 3 °C e umidade relativa do ar de 63 ± 1 %, até que atingissem umidade de equilíbrio (12% de umidade), obtendo-se assim a densidade aparente. Em seguida, as amostras foram levadas para um balde com água onde foram mantidas submersas até sua completa saturação, o que permitiu calcular a densidade verde. Posteriormente, as amostras foram levadas para uma estufa com temperatura de 103 ± 2 °C e aí permaneceram até atingirem massa constante, para que se pudesse calcular a densidade seca. A densidade básica foi calculada com base nos valores da massa seca e volume verde.

Para o cálculo das densidades, as amostras foram pesadas em uma balança digital com capacidade de até 2100g e resolução de 0,01 g. O volume foi calculado pelo método de imersão em água, conforme a Equação 1.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{Equação 1.}$$

Onde:

m – corresponde a massa em gramas

v - corresponde o volume em cm^3

Dessa amostragem, foram selecionados os 10 que estavam mais bem orientados, segundo os planos anatômicos da madeira, para determinar a estabilidade dimensional.

Para determinação da estabilidade dimensional, durante a determinação das densidades, utilizou-se de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm para realizar a medição das dimensões das amostras saturadas, nas faces transversal, radial e tangencial, em três posições nos corpos de prova. Em seguida os corpos de prova foram levados para estufa à 60 ± 2 °C por 2 dias, elevou-se a temperatura para 80 ± 2 °C por mais 2 dias, e depois 103 ± 2 °C, até as amostras atingirem massa constante. O aumento gradual foi feito tendo em vista a diminuição dos defeitos de rachadura provocados pela secagem. Após estabilização da massa, os corpos de prova foram novamente medidos, com auxílio de um paquímetro digital, nas mesmas posições que haviam sido marcadas. Para a determinação da estabilidade dimensional utilizou-se a Equação 2.

$$\text{Contração dimensional} = \frac{\text{Valor dimensional verde} - \text{valor dimensional seco em estufa}}{\text{Valor dimensional verde}} * 100$$

Equação 2.

4.4. Propriedades Mecânicas

Para a caracterização mecânica da espécie foram feitos testes de:

- Flexão estática;
- Compressão paralela;
- Compressão perpendicular às fibras;
- Cisalhamento;
- Fendilhamento;
- Tração perpendicular;
- Dureza Janka, e;
- Arranque de pregos.

Para cada um dos ensaios foram confeccionados dez corpos de prova, onde, cinco foram para um tanque com água, e ficaram submersos por um período de aproximadamente três meses para saturação completa. Os outros cinco foram para sala de climatização com temperatura de $22 \pm 3^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $63 \pm 1\%$, até que atingissem umidade de equilíbrio (12% de umidade).

As dimensões dos corpos de prova, os testes e as análises foram realizados conforme as normas da ASTM D143 (2019) e foram realizados em uma Máquina Universal de Ensaios, da marca Martins Campelo, modelo USM-600.

As figuras 9 e 10 demonstram alguns exemplos de corpos de prova para as compressões perpendicular e paralela, cisalhamento e tração perpendicular às fibras, já a Figura 11, apresenta como são alguns dos ensaios realizados na Máquina Universal de Ensaios.

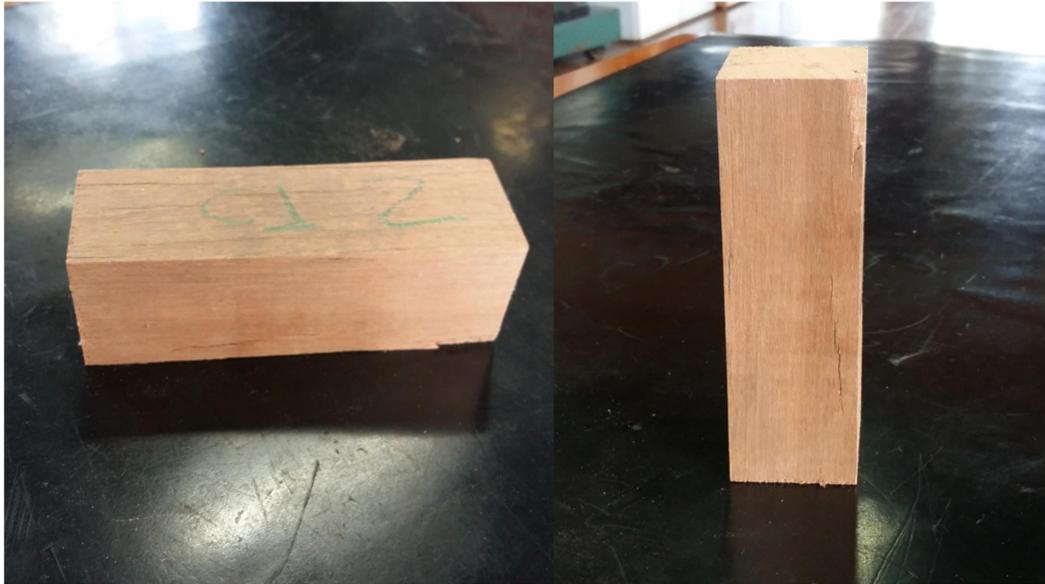


Figura 9. Corpos de prova de compressão perpendicular e compressão paralela. Fonte: Autor.

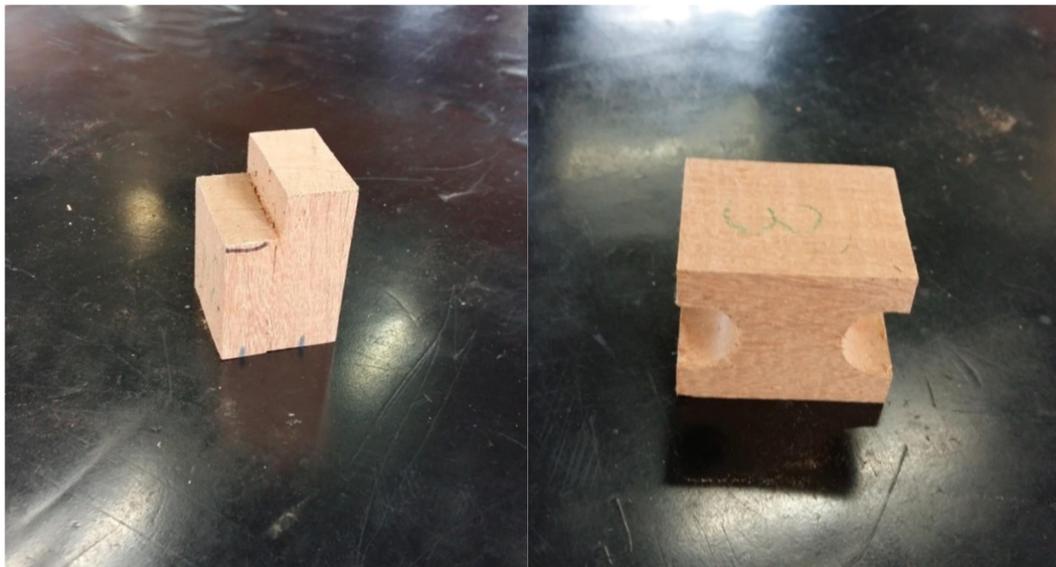


Figura 10. Corpos de prova de cisalhamento e de tração perpendicular. Fonte: Autor.



Figura 11. Ensaio mecânicos de cisalhamento verde, flexão estática e compressão perpendicular seco.
Fonte: Autor.

Após a realização dos testes, os corpos de prova foram levados à estufa à $103 \pm 2^\circ\text{C}$ para determinação da umidade da amostra durante o ensaio. Em função do tamanho dos corpos de prova de flexão estática, foi realizado um corte próximo ao ponto de ruptura para se retirar uma amostra para determinação da umidade, como previsto na norma. Depois da estabilização da massa, foram calculadas as umidades das amostras testadas para que se corrigissem os valores das propriedades para 12%, caso necessário.

4.5. Trabalhabilidade

Para o teste de trabalhabilidade foram realizados os seguintes ensaios:

- Broca;
- Plaina (desempenadeira e de desengrosso);
- Lixa (grã 80 e 120).

Para esses testes, foram confeccionados 10 corpos de prova com dimensões 2 x 10 x 30 cm. Após a execução dos ensaios os corpos de prova foram avaliados por três especialistas em madeira os quais atribuíram nota de 1 a 5, conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Notas atribuídas às amostras nos ensaios de trabalhabilidade.

Notas	Classificação	Defeitos
1	Muito ruim	Defeitos fortes
2	Ruim	Defeitos médios a fortes
3	Regular	Defeitos médios
4	Bom	Defeitos leves
5	Excelente	Ausência de defeitos

As análises e testes foram realizados seguindo a norma norte americana ASTM D 1666 (2019).

4.6. Confeção das Cruzetas

Foram confeccionadas três corpos de prova de cruzetas na Carpintaria do LPF, seguindo a norma NBR 8459:2011. Segundo a norma, as cruzetas de 2 metros devem ser constituídas, em sua maioria, por cerne, além de apresentar faces retangulares, de $112,2 \pm 2,5$ mm e 90 ± 2 mm e conter orifícios no meio da cruzeta com diâmetro de 18 ± 1 mm que permitam a passagem da linha de transmissão da rede de eletricidade, conforme a Figura 12, além da confecção dos biseis nas arestas da cruzeta, como ilustra a Figura 13.

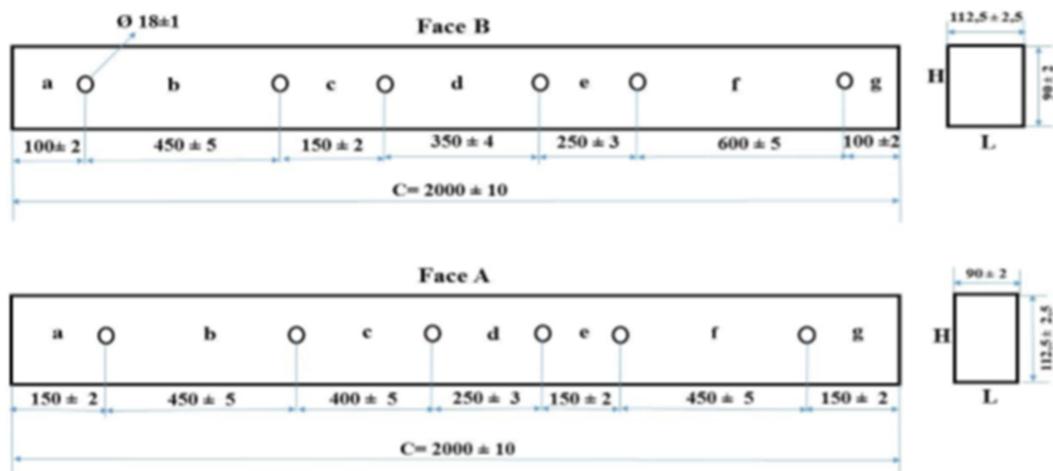


Figura 12. Cruzeta de 2 metros com detalhe dos orifícios no meio da peça (medidas em milímetros). Fonte: NBR 8458/2010 (2019).

As cruzetas foram enumeradas de 1 a 3 e de acordo com as posições dos furos as classificadas faces foram como face A1 ou B1, sendo que as faces contrárias às essas foram classificadas como A2 e B2 respectivamente. A classificação das faces tomou como base o esquema ilustrativo da Figura 12.

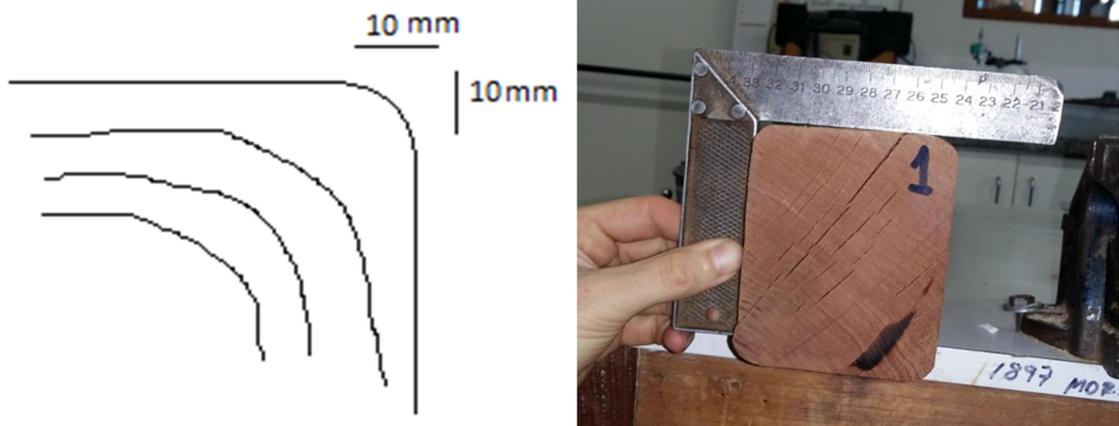


Figura 13. Ilustração do bisel nas cruzetas (medidas em milímetros). Fonte: Autor.

Para a confecção das peças, primeiramente, os blocos de madeira foram serrados na serra circular e em seguida aplainados para novamente serem serrados até atingirem o tamanho necessário da cruzeta, como ilustrado na Figura 14.



Figura 14. Confecção das cruzetas na carpintaria do Laboratório de Produtos Florestais. Fonte: Autor.

Para a realização dos furos, primeiramente foram marcados os pontos com uma caneta marcadora nas posições exigidas pela norma, em seguida a cruzeta foi levada para broca, onde foram realizados os furos. Os biseis foram feitos em uma máquina tupia, conforme a Figura 15.



Figura 15. Confeção dos biseis das cruzetas com o uso da tupia. Fonte: Autor.

4.7. Análise Visual dos Defeitos das Cruzetas

A NBR 8458:2010 apresenta uma lista na seção 4.5 onde as peças a serem testadas devem ser isentas dos seguintes defeitos:

- a) Sinais de deterioração (fungos e insetos);
- b) Avarias provenientes do corte ou transporte;
- c) Fraturas transversais;
- d) Depressões acentuadas;
- e) Orifícios, pregos, cavilhas ou quaisquer peças metálicas não especificamente autorizadas;
- f) Curvaturas;
- g) Sinuosidades em qualquer trecho;
- h) Fendas;
- i) Rachas;
- j) Nós ou orifícios de nós em qualquer trecho;
- k) Veios inclinados ou espiralados;
- l) Fibras reversas.

Para tal análise foram atribuídos os seguintes valores: (1) quando se notasse a presença do defeito, e (0) quando houvesse a ausência do defeito, sendo inspecionada cada face individualmente.

4.8. Resistência à Flexão das Cruzetas

Os testes de resistência à flexão das cruzetas foram realizados na máquina universal de ensaios da marca Martins Campelo, modelo USM-600 do LPF estando de acordo com a norma NBR 8458:2010. Tais testes consistem na aplicação de duas cargas iguais (F), aplicados simultaneamente em dois pontos ao longo da cruzeta. As cargas (F) foram aplicadas a uma distância de 150 mm do topo da peça, e devem ser ensaiadas todas as quatro faces, como ilustrado na Figura 16.

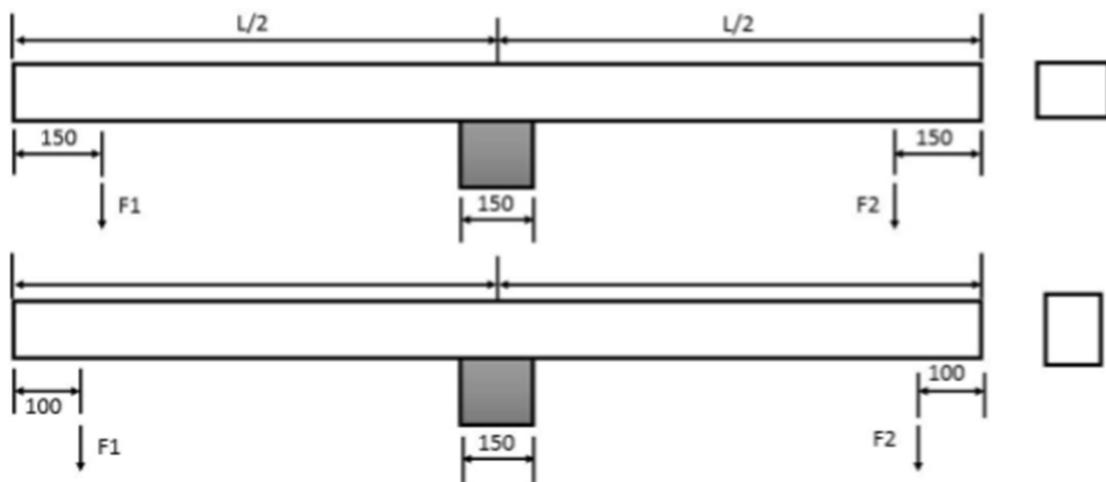


Figura 16. Esquema ilustrativo das forças (F_1 e F_2) aplicados simultaneamente em cada face das cruzetas segundo a NBR 8458/2010. Fonte: NBR 8458/2010 (2019).

De acordo com a citada norma, as cruzetas de 2000 mm devem ser testadas com dois tipos de carregamentos. O primeiro carregamento denominado carregamento nominal, onde é aplicada uma carga de 400 daN em cada uma das faces e podem ter flecha máxima de 75 mm, depois a carga é retirada e obtendo-se uma flecha residual, de no máximo 3 mm.

Em seguida é aplicado um segundo carregamento, chamado de máximo excepcional, no qual é aplicada uma carga de 560 daN, podendo atingir flecha máxima de até 100 mm e novamente se retira a carga e a flecha residual máxima pode ser de até 5 mm.

A norma não especifica a velocidade de carregamento, sendo assim, foi utilizada uma velocidade de 5 mm/min, conforme os estudos realizados por Borges (2008) e por Coelho (2014).

Os equipamentos utilizados para medir a deformação foram os relógios comparadores digitais da marca Mitutoyo e Mahr, que ficaram apoiados em suportes logo abaixo do ponto da aplicação de carga (Figura 17A). As deformações foram medidas na linha neutra das faces de cada cruzeta, como ilustrado na Figura 17B. As leituras foram registradas de forma manual, determinando-se a média das deformações.

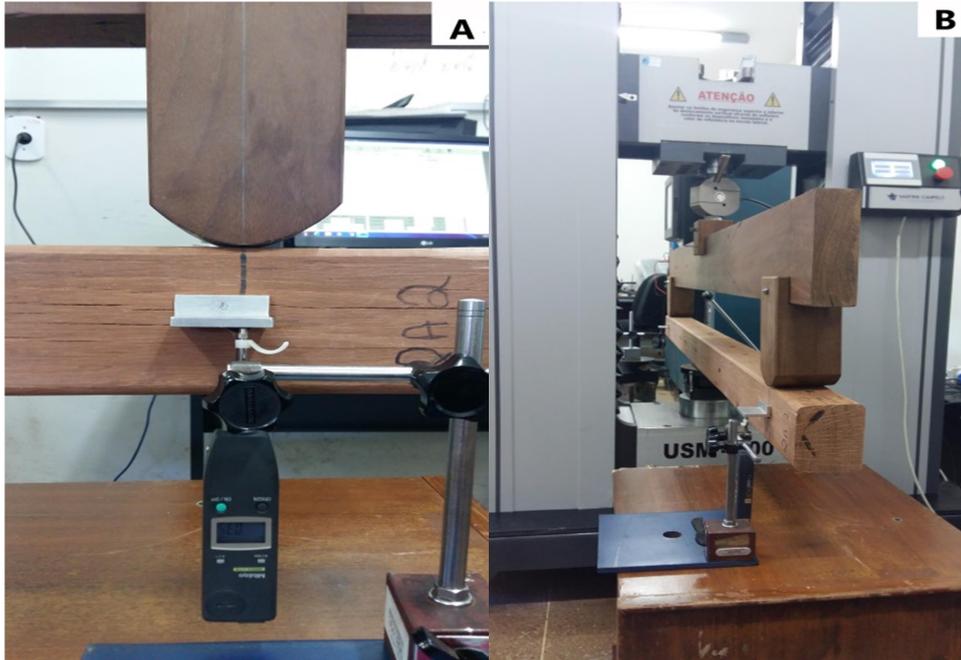


Figura 17A. Detalhe do relógio comparador utilizado para medir as deformações; **Figura 17B.** Montagem do ensaio a ser utilizado pela norma NBR 8458/2010. Fonte: Autor.

Após a aplicação das cargas nas quatro faces da cruzeta, foi selecionada, para cada cruzeta, a face que apresentou maior flecha de deformação para ser levada a ruptura, com o intuito de verificar a carga máxima de ruptura, bem como se a madeira resistiu a carga mínima de 800 daN estabelecida pela norma (Figura 18).



Figura 18. Cruzeta de Inhaíba ensaiada segundo a norma NBR 8458/2010. Fonte: Autor.

4.9. Testes não destrutivos nas Cruzetas

Aproveitando os corpos de prova das cruzetas, e antes do teste de flexão nas cruzetas, foram realizados, os testes não destrutivos de onda de tensão e classificação mecânica.

4.9.1. Ondas de tensão

Para o teste de ondas de tensão foi utilizado o equipamento Stress Wave Timer 239A da marca Metriguard Inc. (Figura 19). O equipamento é constituído por dois transdutores acelerômetros colocado nas extremidades da cruzeta e um timer, que mede o tempo de propagação, em microssegundos, de uma onda de tensão gerada a partir do impacto de um dos acelerômetros na forma de martelo em uma das extremidades da peça de madeira.

Para cada cruzeta foram realizadas três medidas variando-se a posição do receptor e induzindo a onda na outra extremidade da cruzeta, com uma martelada. Os tempos de deslocamento da onda de tensão foram registradas em microssegundos e anotadas manualmente. Para a realização dos cálculos utilizou-se a média das três medidas.



Figura 19. Aparelhos Stress-Wave Metriguard Modelo 239 A. Fonte: Autor.

Após o cálculo da densidade da madeira e com a leitura do tempo e da distância percorrida, foi determinada a velocidade de propagação da onda (V) e o Módulo de Elasticidade Dinâmico por onda de tensão (Stress Wave), de acordo com as equações 3 e 4.

$$V = \frac{d}{t}$$

Equação 3.

Onde:

V = velocidade de propagação da onda (m/s)

d = distância entre os sensores (m)

t = tempo de propagação da onda (s)

$$MOE_{dsw} = \frac{V^2 \times \rho}{g} \times 10^{-5}$$

Equação 4.

Em que:

MOE_{DSW} = Módulo de elasticidade dinâmico do Stress Wave (MPa)

V = velocidade de propagação da onda (m/s)

ρ = densidade aparente (kg/m^3)

g = aceleração gravitacional ($9,804 \text{ m/s}^2$)

4.9.2. Máquina de classificação mecânica

A Figura 20 ilustra a máquina de classificação mecânica, desenvolvido pelo LPF/SFB o qual foi desenvolvido com material disponível no mercado local, de fácil execução e baixo custo (COELHO, 2014).



Figura 20. Máquina de classificação mecânica desenvolvido no Laboratório de Produtos Florestais (LPF).
Fonte: Autor.

A máquina de classificação é composta por: um macaco hidráulico, que tem capacidade de 6.000 kgf e possui a função de aplicação de carga em um pistão cilíndrico de 3,205 cm de diâmetro e $8,0676 \text{ cm}^2$ de área circular, com três roletes de tubo de aço de 3 polegadas para a alimentação do material, além de uma estrutura de aço de cantoneira de 2 polegadas.

Apresenta um vão livre (L) de 1,92 m, com um pistão localizado no centro do equipamento. A carga é aplicada no sentido “flatwise” da peça, ou seja, em relação ao eixo de menor inércia da peça. O manômetro possui capacidade de carga de 40 Bar sendo posicionado de forma que o operador consiga visualizar o valor da pressão que está sendo aplicada (TELES, 2008).

Após o posicionamento da cruzeta no sentido de menor inércia sobre a classificadora, o macaco hidráulico é acionado, movimentando o pistão adaptado contra a cruzeta no sentido “flatwise” até que o manômetro registre uma pressão de 10 bar. Neste momento, a carga aplicada é mantida e a flecha gerada é registrada por um relógio comparador, da marca MARH modelo MILLI-LAST 1082 com precisão de 0,01 mm.

Devido às dimensões das peças de madeira testadas, foi realizada uma adaptação no conjunto do pistão para aumentar a área de contato da pressão com a cruzeta, como ilustrado na Figura 21.



Figura 21. Pistão com adaptação. Fonte: Autor.

Para o cálculo do Módulo de elasticidade utilizou-se a face que obteve maiores deformações na classificadora em conjunto com a Equação 5.

$$MOE_{dc} = \frac{P \times Ac \times L^3}{4 \times b \times h^3 \times d}$$

Equação 5.

Onde:

MOEdc = Módulo de Elasticidade Dinâmico da Classificadora (MPa)

P = Carga aplicada (kgf/cm²)

Ac = Área de contato (32,3584 cm²)

L = Vão livre (cm);

b = base (cm)

h = altura (cm)

d = deformação em (cm)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. PROPRIEDADES FÍSICAS

Os resultados das propriedades físicas de densidade aparente, verde, seca e básica, como também os valores encontrados para as contrações e o coeficiente anisotrópico da madeira de *L. lurida* estão expressos a seguir.

5.1.1. Densidade

A Tabela 4 apresenta as densidades encontradas para a madeira de *L. lurida*, com destaque para a densidade básica que é considerada uma das propriedades físicas mais importantes na madeira, já que se relaciona diretamente com outras propriedades como a resistência mecânica e a estabilidade dimensional.

Tabela 4. Médias, desvio Padrão e coeficientes de variação das densidades da madeira de *L. lurida*.

	Densidades			
	Aparente	Verde	Seca	Básica
Médias (g/cm ³)	0,88	1,14	0,84	0,67
Desvio Padrão	0,04	0,02	0,02	0,01
Coef. de Variação(%)	4,12	1,37	2,72	2,02

O valor de densidade básica encontrado neste trabalho é um pouco inferior ao valor de 0,76 g/cm³ encontrado por Oliveira et al. (2016) em um estudo feito para *L. lurida* no estado do Para, podendo ser devido a diferença de manejo, uso do solo, clima, quantidade de nutrientes disponíveis, entre outros fatores. De acordo com a classificação desenvolvida por de Melo et al. (1990), a madeira de *L. lurida* é de média densidade (densidade básica entre 0,550 e 0,720 g/cm³). Os valores encontrados são comparáveis à espécie *Goupia glabra* Aubl.,

conhecida popularmente por Cupiúba (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2018), espécie comumente encontrada nos mercados madeireiros.

5.1.2. Estabilidade Dimensional

A Tabela 5 apresenta os valores das contrações dimensionais e do coeficiente anisotrópico. As alterações dimensionais no sentido tangencial foram aproximadamente o dobro da contração no sentido radial.

Tabela 5. Valores médios das contrações radial, tangencial, volumétrica e coef. de anisotropia para a madeira de *L. lurida*.

	Radial	Tangencial	Volumétrico	Coef. Anisotrópico (Tan./Rad.)
Médias (%)	8	15	22	2
Desvio Padrão (%)	0,34	0,36	0,53	0,08
Coef. de Variação (%)	4,55	2,27	2,41	3,98

Os valores das contrações dimensionais determinadas para *L. lurida* podem ser consideradas extremamente altas quando comparados a outras espécies, inclusive do gênero *Eucalyptus* que comumente apresentam valores elevados (SILVA et al. 2006; OLIVEIRA et al, 2010; FREITAS et al. 2016).

O coeficiente anisotrópico calculado neste estudo foi muito próximo ao valor de 1,9 apresentado no banco de dados “Lesser Used Species” da ITTO (2018). Para classificar a madeira quanto a sua estabilidade dimensional, Durlo e Marchiori (1992) elaboraram um critério de classificação quanto ao coeficiente anisotrópico. Madeiras com excelente estabilidade dimensional apresentam valores entre 1,2 a 1,5, madeiras normais de 1,5 a 2,0 e acima de 2,0 são classificadas como madeiras dimensionalmente ruins. Dentro deste critério, a madeira de *L. lurida* pode ser considerada instável, tendendo a apresentar defeitos como rachaduras, fendilhamento e empenamentos.

5.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS

A Tabela 6 apresenta os valores obtidos nos ensaios mecânicos para os corpos de prova que estavam submersos em água (verdes), já a Tabela 7, os resultados obtidos para os ensaios nos corpos de prova que estavam na sala de climatização, sendo feita a correção para 12% de umidade.

Tabela 6. Valores médios dos ensaios mecânicos para a madeira de *Lecythis lurida*, no estado verde.

	Flexão estática		Comp. Paral. MOR	Comp. Perp. MOE	Cisalhamento Tensão Ruptura	Dureza		Fendilhamento MOR	Tração MOR	Arranque de Pregos	
	MOE	MOR				MOR	MOR			LONG	TOPO
Médias	9665,85 (MPa)	71,29 (MPa)	36,87 (MPa)	7,53 (MPa)	6,58 (MPa)	72,57 (Kgf)	125,17 (Kgf)	6,46 (MPa)	3,45 (MPa)	7,93 (Kgf)	5,06 (Kgf)
Desv. Padrão	220,75	5,57	3,43	0,55	1,75	5,42	44,31	3,08	3,02	0,49	2,08
Coef. Variância(%)	2,28	7,81	9,31	7,26	26,61	7,47	35,40	47,63	87,69	6,14	40,98

Tabela 7. Valores médios dos ensaios mecânicos para a madeira de *Lecythis lurida*, à 12% de umidade.

	Flexão estática		Comp. Paral. MOR	Comp. Perp. MOE	Cisalhamento Tensão Ruptura	Dureza		Fendilhamento MOR	Tração MOR	Arranque de Pregos	
	MOE	MOR				MOR	MOR			LONG	TOPO
Médias (MPa)	14011,04 (MPa)	127,57 (MPa)	56,14 (MPa)	12,84 (MPa)	10,22 (MPa)	122,03 (Kgf)	151,35 (Kgf)	8,70 (MPa)	5,03 (MPa)	16,23 (Kgf)	10,82 (Kgf)
Desv. Padrão	928,74	7,90	4,08	0,85	2,38	22,46	65,55	4,91	2,12	1,90	4,55
Coef. Variância(%)	6,63	6,20	7,27	6,66	23,29	18,40	43,31	56,38	42,18	11,72	42,04

Para o ensaio de flexão estática, os resultados alcançados são considerados altos, similares ao encontrado para madeira de Angelim vermelho (*Dinizia excelsa Ducke.*) (Serviço Florestal Brasileiro, 2018), que possui valores de MOE e MOR de 14340,12 e 143,57 MPa respectivamente, permitindo que estas espécies sejam utilizadas como vigas de sustentação.

Para os testes de compressão paralela, que é um indicador da possibilidade de uso da espécie em posicionamento vertical (coluna) na construção civil, a espécie *L. lurida* apresentou valores medianos, ficando pouco abaixo de espécies como Angelim da mata (*Hymenolobium excelsum Ducke.*) (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2018).

A espécie apresentou resistência considerada média no teste de compressão perpendicular, comparável à espécie Cupiúba (*Goupia glabra Aubl.*) (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2018), indicando que pode ser utilizada na construção civil, em encaixes, como suporte para outras estruturas, como dormentes e como vigas posicionadas horizontalmente.

Para o teste de cisalhamento, a espécie apresentou valores considerados médios, indicando que a mesma não deve ser sobrecarregada em situações de conexões, encaixes, treliças e principalmente na sobreposição de peças.

Os valores de tração perpendicular de 5,03 MPa de *L. lurida* são comparáveis a 5,20 MPa encontrados para o Angelim vermelho (*Dinizia excelsa Ducke.*) (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2018).

Com relação ao teste de fendilhamento a madeira de *L. lurida* apresentou um valor médio de 8,70 MPa, demonstrando ser mais resistente do que espécies como Jatobá (*Hymenaea courbaril*) (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2018) que obteve 7,45 MPa.

Para o teste de dureza, a espécie apresentou valores considerados altos, com média acima de 78,65 MPa, sendo muito similar à espécie Tanimbuca (*Buchenavia sp.*) (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2018).

Os resultados dos testes mecânicos obtidos sugerem que a espécie pode ser usada na construção civil. Estes resultados são corroborados por EMBRAPA (2015), a qual constatou o uso dessa espécie para a confecção de mata-burros, cabos de ferramenta, mangueiras, pontes e mourões.

5.3. TRABALHABILIDADE

A Tabela 8 apresenta a média das notas aplicadas pelos especialistas que avaliaram a superfície da madeira de *L. lurida*.

Tabela 8. Relação da classificação e das notas para os testes de trabalhabilidade.

	Dens. Básica (g/cm ³)	Plaina		Lixa 80	Lixa 120	Broca
		Desempenadeira	Desengrosso			
Classificação	-	Ruim	Regular	Bom	Bom	Ruim
Nota Média	0,67	2,27	2,67	3,73	4,03	2,43
Coef. Variância (%)	-	36,52	31,66	19,81	17,81	35,28

A madeira de *L. lurida* apresentou um desempenho considerado ruim para a broca, que apresentaram sinais de queimadura, e plaina desempenadeira, pois ao passar a madeira na plaina, pequenos pedaços acabam sendo arrancados. Quanto a plaina desengrosso, a superfície da mesma madeira apresentou uma pequena melhora, mas também apresentou sinais de cavaco e grã arrancada. A superfície da madeira de *L. lurida* apresentou notas boas para as lixas. Porém pode-se observar a presença de alguns defeitos, como ilustrado na Figura 22.

Dentre os defeitos apresentados podem ser destacados:

- a) Queimadura - queima da madeira provocada pela rotação do aparelho, broca;
- b) Grã arrancada - ruptura da madeira que se prolonga abaixo da superfície usinada da peça, nos testes de broca e plainas;
- c) Cavaco - marcas em forma de cavidades pouco profundas, deixadas na superfície usinada de uma peça de madeira, em função de sua compressão por cavacos, nos testes de plainas;
- d) Grã felpuda - condições da superfície usinada da peça de madeira, onde pequenas partículas ou grupo de fibras permanecem salientes, por não terem sido cortadas durante a usinagem, nos testes de plaina e lixa.



Figura 22. Tábuas de *L. lurida* confeccionadas para teste de trabalhabilidade. Fonte: Autor.

5.4. ANÁLISE VISUAL DOS DEFEITOS DAS CRUZETAS

A Tabela 9 apresenta a quantificação dos defeitos das três cruzetas, sendo o valor igual a um, quando o defeito ocorre em todas as faces de todas as cruzetas, e valor zero, quando há completa ausência de defeitos em todas as faces das cruzetas.

Tabela 9. Percentual médio de defeitos para as cruzetas de todas as faces.

Defeitos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Cruzeta 1	0	0	0	0	0	0	1	0,75	0	0,5	0	0
Cruzeta 2	0	0	0	0	0	0	0,75	0,75	0	0,5	0	0
Cruzeta 3	0	0	0	0	0	0	1	0,75	0	0,75	0	0
Média (%)	0	0	0	0	0	0	0,92	0,75	0	0,58	0	0

As cruzetas apresentaram os seguintes defeitos: sinuosidades em qualquer trecho, fendas e nós ou orifícios de nós.

As Figuras 23 e 24 apresentam dois tipos de fendas possíveis de serem observados nas cruzetas de *L. lurida*, sendo a primeira causada pelo canal traumático e a segunda, rachaduras causadas pela alta instabilidade dimensional da madeira.



Figura 23. Ilustração da presença de canais traumáticos. Fonte: Autor.



Figura 24. Rachaduras nas cruzetas. Fonte: Autor.

A madeira de *L. lurida* apresentou como característica natural a presença de canais traumáticos, o que pode diminuir a resistência da peça sendo um facilitador para agentes xilófagos. Como essa característica não está prevista na norma, classificou-se este defeito como fenda.

Sinuosidades e fendas são causadas pela alta instabilidade dimensional e são características que a espécie de *L. lurida* apresentou quando submetidas à secagem em estufa.

Nós ou orifícios de nós são características naturais, porém nas amostras analisadas, por serem pequenos podem ser considerados como de pouca gravidade.

A seção 4.5 da norma ABNT NBR 8458:2010 explicita que as cruzetas devem ser isentas de qualquer um dos defeitos citados na lista apresentada no item 2.4.

Conforme apresentado na Tabela 9, a madeira de *L. lurida* apresentou diversos defeitos, em especial a sinuosidade e as rachaduras que estão presentes em praticamente todas as faces das amostras. Sendo assim, cruzetas confeccionadas com madeira desta espécie têm alta probabilidade de serem rejeitadas na análise visual.

5.5. RESISTÊNCIA À FLEXÃO

A Tabela 10 apresenta os valores das flechas máximas e residual para as cargas nominal, 400 daN, e máximo excepcional, 560 daN, aplicados em cada uma das faces de cada cruzeta.

Tabela 10. Resultados das deformações máximas e residuais em cada face das cruzetas de *L. lurida*.

		Face A1			Face A2		Face B1		Face B2			
		Força F daN	Força F Kgf	Força F Real Kgf	Flexa Máx. (mm)	Residual (mm)	Flexa Máx. (mm)	Residual (mm)	Flexa Máx. (mm)	Residual (mm)		
Cruzeta 1	Média	400	407	403	6,18	1,04	5,55	0,85	3,06	0,03	3,47	0,14
	F1 e F2	560	571	564	8,11	1,09	7,47	0,83	4,28	0,05	4,7	0,21
Cruzeta 2	Média	400	407	403	5,32	0,27	6,81	1,82	3,29	0,01	4,33	0,61
	F1 e F2	560	571	564	7,33	0,47	8,79	1,88	4,6	0,04	5,77	0,73
Cruzeta 3	Média	400	407	403	6,21	0,55	5,82	0,09	5,02	0,73	3,87	0,07
	F1 e F2	560	571	564	8,49	1,32	8,19	0,13	6,61	1,38	5,34	0,13

A Tabela 11 apresenta a média das flechas máximas e residuais nas situações de carga nominal (400 daN) e carga do máximo excepcional (560 daN) para *L. lurida* além da carga de ruptura, em comparação com os parâmetros previstos na norma NBR 8458.

Tabela 11. Teste de resistência à flexão de *L. lurida* em comparação com a NBR 8458.

		Inhaíba	NBR 8458
Nominal	Flecha Máxima (mm)	4,53	Máximo 75
	Flecha Residual (mm)	0,48	Máximo 3
Máximo excepcional	Flecha Máxima (mm)	6,13	Máximo 100
	Flecha Residual (mm)	0,63	Máximo 5
Ruptura	Carga (daN)	2451,34	Mínimo 800

As cruzetas de *L. lurida* apresentaram valores médios de flechas máxima e residual, tanto para a faixa nominal quanto para de máximo excepcional, bem menores dos valores exigidos pela norma da ABNT NBR 8458:2010 (2019), a partir dos quais essa espécie pode ser provada quanto as deformações permitidas.

Ainda segundo a mesma norma o esforço mínimo exigido para ruptura deve ser maior do que 800 daN. Conforme apresentado na Tabela 11, a média obtida pelas cruzetas ficou acima do exigido.

As Figura 25 e 26 ilustram o resultado das cruzetas ensaiadas após serem levadas ao limite de ruptura.



Figura 25. Rompimento da cruzeta durante o teste da norma NBR 8458/2010. Fonte: Autor.



Figura 26. Cruzetas após serem levadas ao limite de ruptura. Fonte: Autor.

5.6. TESTES NÃO DESTRUTIVOS

A Tabela 12 apresenta os valores dos módulos de elasticidade calculados a partir dos métodos de classificação mecânica, pelo método de ondas de tensão, com o equipamento *Stress Wave*, e pelo teste de resistência mecânica da norma NBR8458/2010.

Tabela 12. Módulos de elasticidade, da classificadora, da onda de tensão e pela norma NBR 8458/2010.

	MOEdc (MPa)	MOEsw (MPa)	MOE NBR 8458 (MPa)
Cruzeta 1	16011,44	14335,99	12177,37
Cruzeta 2	15494,74	13955,42	11448,90
Cruzeta 3	13927,89	13773,79	15155,53
Média	15144,69	14021,73	12927,27

Onde: MOEdc: Módulo de elasticidade da classificadora mecânica; MOEsw: Módulo de elasticidade do Stress Wave; MOE_{NBR}: Módulo de elasticidade de acordo com a norma ABNT NBR 8458/2010.

Foi possível observar que a Classificadora apresentou o maior valor médio do módulo de elasticidade entre os três testes, sendo seguida pelo método que utiliza o equipamento Stress Wave e, por último, com menor valor médio ficou a norma brasileira ABNT NBR 8458/2010.

Observou-se que as cruzetas 1 e 2 apresentaram um decaimento em todos os testes,

sendo assim os testes não destrutivos conseguiriam prever os valores do ensaio realizado de acordo com a norma. Contudo para a cruzeta três (3) era esperado um decaimento conforme ocorrido nos testes não destrutivos, visto que era uma cruzeta que apresentava a maior quantidade de defeitos, mas apresentou um valor alto e discrepante pelo teste de flexão realizado de acordo com a norma (Figura 27).

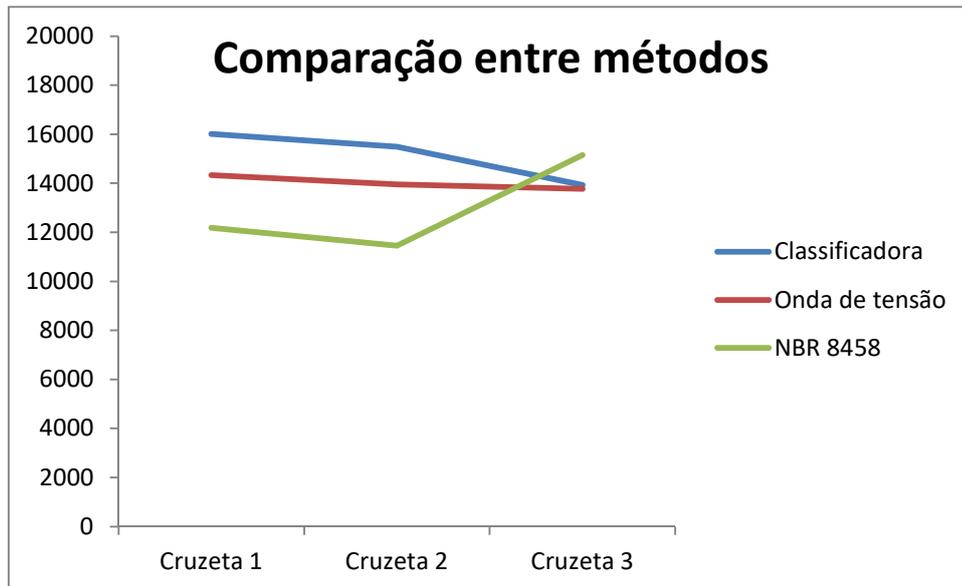


Figura 27. Gráfico de comparação entre os métodos não destrutivos e destrutivos (NBR8458).

Tabela 13. Correlação entre a norma e os métodos não destrutivos.

	<i>NBR 8458</i>	<i>Ondas de tensão</i>	<i>Classificadora</i>
<i>NBR 8458</i>	1		
<i>Ondas de tensão</i>	-0,61241834	1	
<i>Classificadora</i>	-0,910221718	0,884813355	1

Após feita a correlação de Pearson, pode-se observar que a máquina classificadora mecânica apresentou boa correlação com o método de ondas de tensão, onde apresentou correlação de 0.885, que é classificada como alta. A partir da Figura 27 pode-se deduzir que as cruzetas um (1) e dois (2) tiveram boa correlação entre os métodos não destrutivos e o destrutivo indicado pela norma, contudo para a cruzeta três (3) a correlação não foi boa, pelo fato desta ter apresentado alto valor inesperado. Pois, ficou muito acima do que foi previsto pelos métodos não destrutivos e era a que apresentava maior quantidade de defeitos.

Tendo em vista a baixa quantidade de dados, não é possível, gerar equações precisas, porém, pode-se afirmar que os testes não destrutivos são métodos práticos e com rápida obtenção de dados.

6. CONCLUSÃO

A madeira de *L. lurida* possui uma densidade básica média e um alto coeficiente anisotrópico, que lhe confere elevada instabilidade dimensional. A espécie possui boa resistência mecânica, similar a espécies encontradas no mercado, destinadas à construção civil. No entanto, a instabilidade dimensional dificulta sua utilização para usos refinados como movelaria, esquadrias e pisos.

A madeira apresentou um desempenho considerado ruim para a plaina, onde foi notada a presença de grã arrancada e marcas de cavaco, que pode ter sido influenciado pela presença de fibra reversa, e para a broca, onde foi observado a queima da madeira pelo aparelho. A peça apresentou notas consideradas regulares para o teste de desengrosso. A superfície da madeira de *L. lurida* apresentou notas boas para as lixas grã 80 e 120, mesmo apresentando grã felpuda.

Em relação ao ensaio específico para cruzetas segundo a norma ABNT NBR 8458:2010, a espécie apresentou bons resultados quanto à resistência mecânica. Contudo, possui diversos defeitos detectados na avaliação visual como sinuosidades, rachaduras e fendas, além de já poder apresentar canais traumáticos, que é um defeito inerente da espécie, o que possivelmente levariam à rejeição das peças.

Devida à pequena quantidade de amostras, não foi possível afirmar a precisão do método não destrutivo, porém estes se mostraram uma boa alternativa para obtenção de dados com maior rapidez e praticidade.

Portanto, a madeira de *L. lurida* pode ser empregada na construção civil, visto que obteve bons resultados para as propriedades mecânicas, porém, a alta instabilidade dimensional e a baixa classificação dos testes de trabalhabilidade dificulta seu emprego em usos refinados como movelarias e pisos. Já para as cruzetas a madeira obteve ótimos resultados mecânicos, porém devido a presença de canais traumáticos que são inerentes à espécie e defeitos como rachas e sinuosidade, pode ser rejeitada na análise visual.

RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que seja realizado um programa de secagem específico para a espécie, com o intuito de reduzir de forma significativa os defeitos decorrentes da instabilidade dimensional, possibilitando a inserção desta espécie em outros mercados de produtos madeireiros, agregando maior valor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABENDI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO. Ensaios Não Destrutivos. Disponível em: <<http://www.abendi.org.br/abendi/>>. Acesso em: 5 maio de 2019.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. ASTM D143: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. Philadelphia, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. ASTM D1666-87: Standard Method for Conducting Machining Test of Wood and Wood-Base Materials (reapproved 1999). Philadelphia, 2000.

AMODEI, J. B. Avaliação da qualidade da madeira de *Tectona grandis* L. f. por meio de análise tomográfica, microdensitométrica e anatômica. 2011. 50p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

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

ARVORES DO BRASIL. Disponível em: <https://www.arvores.brasil.nom.br/new/inuiba/index.htm>. Acesso em 15 de Março de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NBR 8458- Cruzetas de madeira para redes de distribuição de energia elétrica- especificação. Dezembro de 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NBR 8459- Cruzetas de madeira- dimensões. Junho de 2011.

BORGES, C. C. Potencialidade do uso de cruzetas de madeira tratada. 2008. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

BUCUR V. *Acoustics of Wood*. 2nd ed. Berlin, Heidelberg: Springer- Verlag; 2006. 298p.

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

COELHO, Marina Ulian. *Avaliação da madeira de Mora Paraensis (Pracuúba) para utilização em cruzetas de redes de distribuição de energia elétrica*. 2014. Xii, 52 f, il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

DEL MENEZZI, C. H. S.; SILVEIRA, R. R.; SOUZA, M. R. Estimativa das propriedades de flexão estática de seis espécies de madeiras amazônicas por meio da técnica não-destrutiva de ondas de tensão. *Acta Amazonica*, v. 40, n. 2, p. 325-332, 2010.

DURLO, M. A.; Marchiori, J. N. C. *Tecnologia da madeira: retratibilidade*. Santa Maria: UFSM, CEPEF/FATEC, 33p (Série Técnica, 10). 1992.

EMBRAPA. *Uso de espécies arbóreas nativas para a propriedade rural e mercado regional na região de Sooretama, ES*. Comunicado Técnico 368. (2015).

EVANS, J.L.W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. *Forest Products Journal*, v.50, n.7/8, p.75-87, 2000.

FREITAS, D. L.; CARVALHO, D. E.; BELTRAME, R.; DOS SANTOS, G. A.; GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R. Estabilidade dimensional da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. *Sci. Agrar. Parana.*, v. 15, n. 4, out./dez., p. 435-439, 2016.

ITTO. *Lesser Used Species*. Banco de Dados [online]. 2018. [citado 25 abril 2018]. Disponível em: <http://www.tropicaltimber.info/pt-br/specie/jarana-lecythis-lurida/#lower-content>

IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species(tm); Banco de Dados [online]. 2017. [citado 25 abril 2018]. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org/details/34420/0>

LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS – Madeiras Comerciais do Brasil – Chave interativa de identificação baseada em características gerais e macroscópicos. 2018. <http://www.florestal.gov.br/component/content/article/85-laboratorio-de-produtos-florestais-lpf/367-madeiras-comerciais-do-brasil-chave-interativa-de-identificacao-baseada-em-caracteres-gerais-e-macroscopicos>. Acesso em: 12 de Janeiro de 2019.

MELO, J. E.; Coradin, V. R.; Mendes, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: Congresso Florestal Brasileiro, Campos do Jordão. Anais. Campos do Jordão, 1990. v. 3. p. 695-705. 1990.

MORI, S.A.; PRANCE, G.T. Lecitidaceas: família da castanha-do-pará. Boletim técnico, v. 116, p. 3-35, 1983.

MORI, S.A.; PRANCE, G. T. Lecythydaceae - Part II: The zygomorphic-flowered New World genera (*Bertholletia*, *Corythophora*, *Couratari*, *Couroupita*, *Eschweilera*, and *Lecythis*). *Flora Neotropica Monographs*, v. 21, n. 2, p. 1-376, 1990

MORI, S. A. 1995. Observações sobre as espécies de Lecythydaceae do leste do Brasil. *Boletim de Botânica, Universidade de São Paulo* 14: 1–31.

OLIVEIRA, J. T. S; FILHO, M. T.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*; *Revista Árvore*, v.34, n.5, p.929-936, 2010.

OLIVEIRA, G. S. et al. Análise da densidade básica da madeira das espécies florestais *Ocotea sp* e *Lecythis lurida* (miers) s.a. Mori. In: Congresso Nacional de Botânica, Vitória. Anais. 2016.

SECRETARIA DA FAZENDA DO ESTADO DO PARÁ – portaria n° 611/2015 da [online]. www.sefa.pa.gov.br/legislacao/interna/portaria/ps2015_00611.pdf. Acesso em: 13 de Abril de 2019.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO – SFB. Sistema de Cadeia de Custodia. Dados internos do Serviço Florestal Brasileiro. 2019.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO – SFB. LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS – LPF. Banco de Dados de Madeiras Brasileiras [online]. Brasília 2018. <http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/caracteristicas.php?ID=41&caracteristica=64>. Acesso em: 25 de Dezembro de 2018

SILVA, J.R.M. Influência da morfologia das fibras na usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill em Maiden. Revista *Árvore*. V29, n. 3, p.479-487, 2005.

SILVA, J. C. et al. Variação da retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, em função da idade e da posição radial no tronco. Revista *Árvore*, v.30, n.5, p.803-810, 2006.

TARGA, L.A; BALLARIN, A.W.; BIAGGIONI, M.A.M.; Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não-destrutivo de vibração transversal. Engenharia Agrícola, v.25, n.2, p.291-299, 2005

TELES, R. F.; SOUZA, M. R.; MENEZZI, C. H. S. Viabilidade técnica de um equipamento de classificação mecânica de madeira para fins estruturais. In: XI Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas de Madeira, 2008, Londrina. Anais, 2008. v. 1. p. 1-15.

TER STEEGE, H. et al. The discovery of the Amazonian tree flora with an updated checklist of all known tree taxa. Sci. Rep. 6, 29549; doi: 10.1038/srep29549, 2016.

TSOUMIS,G. Science and technology of wood: structure, properties and utilization. New

York: V.N. Reinold, 1991. 494 p.

VENTOROLI, Postes, Cruzetas e dormentes, disponível em:
<http://www.venturoli.com.br/postes-cruzetas-e-dormentes/>. Acesso em: 20 de Abril de 2019.