

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**Avaliação da Madeira de *Mora paraensis* (pracuúba) para Utilização
em Cruzetas de Redes de Distribuição de Energia Elétrica**

Marina Ulian Coelho; matrícula: 09/0010892

Orientador: Mario Rabelo de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa

Brasília- DF, junho de 2014

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Avaliação da Madeira de *Mora paraensis* (pracuúba) para Utilização em Cruzetas de Redes de Distribuição de Energia Elétrica

Estudante: Marina Ulian Coelho; matrícula: 09/0010892

Linha de pesquisa: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais

Orientador: Mario Rabelo de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa

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

Brasília- DF, junho de 2014

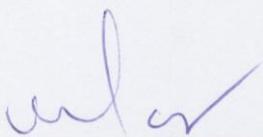
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**Avaliação da Madeira de *Mora paraensis* (pracuúba) para Utilização em Cruzetas
de Redes de Distribuição de Energia Elétrica**

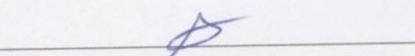
Estudante: Marina Ulian Coelho; matrícula: 09/0010892
CPF: 035.869.351-96

Menção: SS

Aprovado por:



Mario Rabelo de Souza
Laboratório de Produtos Florestais- LPF/SFB
(Orientador)



Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa
Departamento de Engenharia Florestal
(Membro da banca)



Prof. Dr. Ricardo Faustino Teles
Instituto Federal de Brasília- IFB
(Membro da banca)

Brasília- DF, 27 de junho de 2014

FICHA CATALOGRÁFICA

COELHO, MARINA ULIAN

Avaliação da Madeira de *Mora paraensis* (pracuúba) para Utilização em Cruzetas de Redes de Distribuição de Energia Elétrica [Distrito Federal], 2014.

EFL/FT/UnB- Universidade de Brasília- Faculdade de Tecnologia

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

COELHO, M.U. (2014). **Avaliação da Madeira de *Mora paraensis* (pracuúba) para Utilização em Cruzetas de Redes de Distribuição de Energia Elétrica.** Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF 65 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: MARINA ULIAN COELHO

TÍTULO: Avaliação da Madeira de *Mora paraensis* (pracuúba) para Utilização em Cruzetas de Redes de Distribuição de Energia Elétrica.

Ano: 2014.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa monografia pode ser reproduzida sem autorização por escrito da autora.

Marina Ulian Coelho

“Mesmo quando tudo parece desabar,
cabe a mim decidir entre rir ou chorar,
ir ou ficar, desistir ou lutar; porque
descobri, no caminho incerto da vida,
que o mais importante é o decidir. ”

Cora Coralina

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Luiz e Suzana, por todo amor, paciência, dedicação, ensinamentos e cultura, que me tornaram a pessoa que sou hoje. Ao meu pai agradeço por ser meu melhor amigo e ouvinte e por sempre me tranquilizar. A minha mãe agradeço por todo apoio, por acreditar no meu potencial e investir sempre em mim e, principalmente, por nunca me deixar desistir. Vocês são minha maior inspiração. Eu amo muito vocês!

Às minhas irmãs, Ana e Beatriz, por sempre estarem ao meu lado. É indescritível o amor e orgulho que sinto por vocês, muito obrigada por serem as melhores amigas que eu poderia ter! À Frida, Moira e Kiara, por serem minhas melhores amigas caninas e alegria diária.

Aos meus avós, José e Yara, por me ensinarem a importância da união familiar e da educação, pelo apoio financeiro e por despertarem em mim a vontade de viajar e conhecer coisas novas. Aos meus tios: Paulo, Isabela, Márcia, Graça e Jovino.

Ao meu orientador e chefe Mario Rabelo, por ter me dado a oportunidade de estagiar no Laboratório de Produtos Florestais (LPF), pelos ensinamentos e paciência. Muito obrigada por tudo! A todo pessoal do LPF, em especial ao Mario Siqueira, João, Divino e Ricardo.

Aos meus professores, que me mostraram a grandiosidade e importância da Engenharia Florestal e por toda base de conhecimento dividida, principalmente: Alexandre Florian, Eraldo Matricardi, Renato Castro, Reuber Brandão e Henrique Chaves. À UnB, especificamente ao Departamento de Engenharia Florestal por ter me proporcionado adquirir experiências únicas que mudaram minha vida.

Aos meus amigos de curso, desde os mais antigos aos mais recentes. À Luísa, por sempre me entender, dividir as angústias e sonhos pro futuro, por sempre estar presente mesmo estando longe. À Ana Braga, por ter sido uma das minhas primeiras amigas na UnB e continuar sendo uma pessoa insubstituível em minha vida. À Maíra, por ter vivido momentos muito especiais não só na UnB, como fora e por dividir comigo a paixão pela fotografia. À Maísa, por acreditar no meu potencial e ser um dos meus maiores exemplos durante minha formação. À Juliana, pelo companheirismo no desespero do último semestre e por permitir que a nossa amizade crescesse.

Agradeço em especial, também, a todas as meninas Thayane, Elian, Renata, Emanuela e Carol. Sem vocês os últimos tempos não teriam sido tão divertidos. Aos amigos mais antigos, mas que fizeram parte de momentos únicos e de crescimento: Ana Lyz, Amanda, Paulo, Clemente e Ligia. Muito obrigado por esses 5 anos.

Às minhas amigas/irmãs de vida: Mariane, Rosana, Giovana e Rafaela, obrigada por não me deixarem esquecer da minha essência e pelos tantos anos de amizade, me orgulho muito de vocês! Ao Marcelo, por dividir comigo muitas risadas e momentos especiais.

Muito obrigada a todos que passaram pela minha formação, não só acadêmica, mas de vida. Agradeço a todos que acreditaram e continuam acreditando em mim.

RESUMO

Cruzetas de madeira são peças de eixo retilíneo, sem emendas, destinadas a suportar condutores e equipamentos de redes aéreas de distribuição de energia elétrica. A adequação das madeiras a serem utilizadas como cruzetas pode ser feita de acordo com as NBR 8459/2011 e NBR 8458/2010 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). No entanto, tais normas possuem algumas inconsistências, como é o caso do teste mecânico sugerido pelas normas NBR 8458/2010. O objetivo principal do presente trabalho consiste em estudar 10 cruzetas de madeira da espécie *Mora paraensis* (pracuúba) quanto aos requisitos exigidos pela NBR 8459/2011 e NBR 8458/2010, como também propor uma metodologia mais simples e rápida de se avaliar cruzetas de madeira quanto a sua resistência mecânica. Os testes alternativos realizados para se propor uma nova metodologia foram: flexão em 3 pontos, teste de classificação mecânica hidráulica e “stress-wave”. Além disso, como não se tinha conhecimento a respeito das características físico-mecânicas da espécie de *Mora paraensis*, um estudo quanto a caracterização da mesma também foi feito. Primeiramente, se realizou o ensaio segundo o teste sugerido pela NBR 8458/2010, determinando-se as flechas máximas e, após a realização dos testes complementares, cada uma das 10 cruzetas foi levada à ruptura nas faces aonde apresentaram maiores deformações (flechas), definindo-se, assim, a carga mínima de ruptura. Também foram analisadas as medidas de cada amostra de cruzeta recebida, quanto a posição e diâmetro dos furos, seção transversal e teor de umidade. Para se comparar os resultados e analisar se o teste mecânico da norma poderia ser substituído por uma das metodologias alternativas, foram comparados os resultados de módulo de elasticidade calculados. Os corpos de prova para caracterização físico-mecânica da espécie de *Mora paraensis* foram confeccionados a partir de cada uma das 10 cruzetas. Os resultados mostraram que 80% das cruzetas atingiram a carga mínima de ruptura, mas que as amostras de cruzetas recebidas não se enquadraram completamente às NBR 8459/2011 e NBR 8458/2010, principalmente em relação as medidas feitas e ao teor de umidade. As amostras não apresentaram defeitos eliminatórios em sua estrutura. 80% das cruzetas atingiram a carga mínima de ruptura. Estatisticamente, pelo teste de Tukey, concluiu-se que não havia diferença significativa nos resultados obtidos pelo teste da NBR 8458/2010 com o teste de 3 pontos e o teste de classificação mecânico hidráulico, podendo-se assim substituir tal teste por essas metodologias alternativas (para a espécie de *Mora paraensis*). A quantidade de corpos de prova utilizada para a caracterização físico-mecânica foi o suficiente para se obter bons resultados.

Palavras-chave: Cruzeta de madeira, NBR 8458/2010, Módulo de elasticidade.

ABSTRACT

Wood cross-arms are pieces with rectilinear axis, without amendments, destined to support conductors and airline network equipment. The adequacy of wood that could be used as cross-arms can be done according with these two standards: NBR 8459/2011 and NBR 8458/2010 from “Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). However, such standards have some inconsistencies, especially in the mechanical test suggested by NBR 8458/2010. The main objective of this paperwork consists in the adequacy of 10 wood cross-arms of *Mora paraensis* (pracuúba) wood species in relation to the requirements from NBR 8459/2011 and NBR 8458/2010, as well as to propose a simpler and faster methodology to evaluate wood cross-arms regarding the mechanical resistance. The alternative tests realized to propose a new methodology was: three points bending, classification hydraulic mechanical test and stress-wave test. Moreover, there was no knowledge about the physical-mechanical properties of *Mora paraensis*. Because of that, a study about these characteristics was also done. The alternative tests realized to propose a new methodology was: three points bending, classification hydraulic mechanical test and stress-wave test. Firstly, the test suggested by the NBR 8458/2010 was carried, determining the maximum deflection and, after the realization of the complementary tests, each of the 10 cross-arms was taken to the ultimate strength in the face that presented highest deflection, thereby defining, the minimum breaking strength. Also, it was analyzed the measures of each cross-arm received in relation to the hole position and diameter, profile and moisture content. To compare the results and analyze if the standard mechanical test could be replaced by one of the alternative methodology, the results were compared with the calculated modulus of elasticity. The samples used in the physical-mechanical characterization of *Mora paraensis* was made from the 10 cross-arms. According to the results, the samples received did not suit completely to the NBR 8459/2011 and NBR 8458/2010, especially in relation to the measures and moisture content. The samples did not present eliminative defects in their structure. 80% of the cross-arms obtained the minimum breaking strength. Statistically, accordingly to the Tukey test, it was concluded that there was no significant difference between the results from the test of NBR 8458/2010 with the three points bending and the classification hydraulic mechanical test, what means that the standard test could be replaced by one of these alternative methodologies (to *Mora paraensis* species). The amount of samples used was enough to do the physical-mechanical characterization and to obtain good results.

Keywords: wood cross-arm, NBR 8458/2010, modulus of elasticity

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	2
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	3
3.1. Cruzetas de madeira	3
3.2. Propriedades fundamentais da madeira	6
3.2.1. Massa Específica.....	6
3.2.2. Teor de umidade	7
3.2.3. Propriedades mecânicas.....	7
3.3. <i>Mora paraensis</i>	8
3.4. Testes não destrutivos.....	8
4. MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1. Identificação da espécie	10
4.2. Determinação do teor de umidade e da massa específica aparente das amostras de cruzetas.....	10
4.3. Análise visual das amostras.....	11
4.4. Resistência Mecânica	12
4.5. Testes complementares ao sugerido pela NBR 8458/2010.....	15
4.6. Caracterização físico-mecânica da <i>Mora paraensis</i>	18
4.7. Análise dos resultados	20
4.7.1. Adequação da espécie à NBR 8458/2010	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
5.1. Caracterização físico-mecânica da <i>Mora paraensis</i>	23
5.2. Estudo das cruzetas de <i>Mora paraensis</i>	26
5.2.1. Teor de umidade e massa específica aparente inicial	26
5.2.3. Avaliação dos defeitos nas amostras de cruzetas	28
5.2.4. Análise da resistência à flexão estática segundo a NBR 8458/2010.....	29
5.3. Metodologias alternativas sugeridas ao teste da NBR 8458/2010	33
5.4. Discussão sobre a NBR 8458/2010	37
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resistência à flexão para cruzetas segundo a NBR 8458/2010	5
Tabela 2. Espécies de uso regulamentado na fabricação de cruzetas segundo a NBR 8458 (2010)	5
Tabela 3. Notas atribuídas para avaliação o quanto a trabalhabilidade	20
Tabela 4. Requisitos exigidos para uso de madeira como cruzeta, segundo ABNT NBR 8458/2010	20
Tabela 7. Comparação entre Mora paraensis e espécies comerciais de madeira	23
Tabela 8. Comparação entre Mora paraensis e as espécies regulamentadas para produção de cruzetas (NBR 8458/2010)	24
Tabela 9. Resultados da trabalhabilidade para Mora paraensis	24
Tabela 5. Resultados dos testes físicos para Mora paraensis	25
Tabela 6. Resultados dos testes mecânicos para Mora paraensis	25
Tabela 10. Teor de umidade e massa específica das amostras de cruzetas recebidas	26
Tabela 11. Dimensões das amostras de cruzetas	27
Tabela 12. Percentual de defeitos para as 4 faces das amostras	28
Tabela 13. Resultados das deformações (flechas) e cargas mínimas de ruptura	30
Tabela 14. Resumo dos resultados das 10 cruzetas	33
Tabela 15. Valores de MOE para os testes realizados	34
Tabela 16. Análise estatística descritiva para os diferentes testes	35
Tabela 17. Análise de Variância dos parâmetros de MOE dos diferentes testes	35
Tabela 18. Teste de Tukey para os parâmetros de MOE dos diferentes testes	36
Tabela 19. Resultado para a correlação de Pearson para os diferentes MOE	36
Tabela 20. Resumo dos dados analisados- com outliers (SPSS)	43
Tabela 21. Análise estatística descritiva (com outliers)	43
Tabela 22. Valores extremos (com outliers)	46
Tabela 23. Valores de outliers para cada tratamento	48
Tabela 24. Resumo dos dados analisados- sem outliers (SPSS)	49
Tabela 25. Análise estatística descritiva (sem outliers)	49
Tabela 26. Teste entre os tratamentos	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cruzeta de madeira. Fonte: Ivo Madeiras (http://ivomadeiras.com.br/?pagina=produtos&sub=civil&tipo=9).....	3
Figura 2. Lote de cruzetas de madeira devidamente identificadas. Fonte: http://www.dormentesecruzetas.com/cruzetas-de-madeira/	4
Figura 3. Cruzetas comerciais recebidas	10
Figura 4. Cruzeta de 2 metros (medidas em milímetros).	11
Figura 5: Classificação das faces A e B.....	12
Figura 6. Montagem do ensaio a ser utilizado pela norma NBR 8458/2010.	13
Figura 7. Esquema ilustrativo dos dois esforços (F1 e F2) a serem aplicados simultaneamente em cada face nas cruzetas de 2 metros segundo a NBR 8458/2010...	13
Figura 8. Detalhe do relógio comparador utilizado para medir as deformações.....	14
Figura 9. Amostra levada à ruptura na face menos resistente	15
Figura 10. Teste de flexão estática em 3 pontos	16
Figura 11. Aparelho Stress-Wave Metriguard Modelo 239 A.	16
Figura 12. Esquema ilustrativo da aplicação das ondas de impacto na face transversal da cruzeta.....	17
Figura 13. Aparelho de classificação mecânica desenvolvida no Laboratório de Produtos Florestais (LPF).....	17
Figura 14. Esquema do aparelho de classificação mecânica.	18
Figura 15. Esquema da confecção dos corpos de prova para os testes mecânicos.....	19
Figura 16. Detalhe do defeito de depressão acentuada na amostra 4	28
Figura 17. Resultado dos “outliers” para cada um dos testes.....	34
Figura 18. Resultados sem outliers.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS

b- largura da seção transversal da peça;

d- espessura da seção transversal da peça;

daN- decanewtons

f_m - resistência da madeira à flexão estática;

Kgf- quilograma-força;

Kv- quilowatt;

L- distância entre os apoios- vão;

MOE- módulo de elasticidade;

MOR- módulo de ruptura;

P- carga aplicada;

V- velocidade;

y- deformação

ρ - massa específica aparente;

μ s- microssegundo.

1. INTRODUÇÃO

É cada vez mais crescente a necessidade de uso de materiais alternativos aos tradicionalmente usados para fabricação de peças estruturais, como o concreto e aço, tendo em vista que eles demandam muita energia para serem confeccionados, possuem matéria prima não renovável e causam grandes danos ao meio ambiente na sua fabricação. Nesse sentido, o uso da madeira é uma excelente alternativa. Entre os possíveis usos desse material, encontram-se as cruzetas de madeira.

Cruzetas de madeira são peças de eixo retilíneo, sem emendas, destinadas a suportar condutores e equipamentos de redes aéreas de distribuição de energia elétrica. O seu uso possui muitas vantagens como, por exemplo, menores custos de fabricação e implantação e facilidade de transporte. A utilização de postes e cruzetas teve seu início com o uso da energia elétrica e do telégrafo. Devido à necessidade de se fazer a distribuição de energia gerada e a transmissão de mensagens entre localidades diferentes, foi necessária a utilização de cabos e, para a sustentação deles, postes e cruzetas (DALFRÉ,2007).

A utilização de madeira como cruzetas é muito vantajosa por ser um material com alta resistência quando submetido a esforços de compressão, tração e flexão, além de ser um material 100% renovável. Estudos realizados comprovaram que muitas espécies de madeiras brasileiras apresentaram-se extremamente duráveis à exposição ao meio ambiente, com base em estudos laboratoriais e em campo (GONZALEZ, 2005). Além disso, em lugares em que há abundância de madeira, como a Amazônia, o uso de cruzetas fabricadas a partir desse material é mais vantajoso do que cruzetas de aço e concreto.

Na produção de cruzetas de madeira, é preferível a utilização do material retirado do cerne, isentos de defeitos como fendas, sinais de deterioração por fungos e insetos, curvaturas, rachaduras e fibras reversas. O material deve ainda passar por secagem natural ou artificial durante tempo necessário até atingir o teor de umidade aceitável (abaixo de 20%). Quanto as dimensões, deve-se seguir um padrão sugerido pela norma escolhida pelo fabricante.

A adequação das madeiras a serem usadas como cruzetas pode ser feita de acordo com as Normas NBR 8459/2011 e NBR 8458/2010 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A primeira tem como objetivo padronizar as cruzetas quanto ao comprimento, dimensões seccionais, tamanho, localização dos orifícios por onde passam os cabos da rede elétrica e a forma correta da identificação do produto final.

Já a NBR 8458/2010 determina o teste mecânico a ser realizado, que consiste em uma “flexão de 3 pontos invertida”. Os valores máximos das resistências à flexão variam de acordo com o comprimento da cruzeta a ser utilizada. Ainda, são fornecidas também as flechas máxima e máxima residual as quais a madeira testada deve apresentar. No entanto, tal teste apresenta alguns problemas em relação ao custo de execução, além de ser um teste demorado e de difícil montagem. Levando em consideração os avanços tecnológicos observados atualmente, o teste em questão poderia ser substituído por um não destrutivo da madeira e de mais fácil realização.

Além das normas sugeridos pela ABNT, existe ainda a norma americana ANSI O5.3.2008 (American National Standards Institute, Inc), em que se utiliza principalmente de madeira de pinus e as normas elaboradas pelas empresas interessadas na utilização de cruzetas de madeira (CEB, EDP, AES Sul, entre outras) que consistem basicamente em compilação das NBR 8458/2010 e NBR 8459/2011.

A NBR 8458/2010 abrange espécies nativas ditas madeiras de lei e algumas espécies de eucalipto, com o requisito do material a ser utilizado ser retirado apenas do cerne. Entre as possíveis espécies a serem utilizadas em cruzetas, mas que ainda não possuem estudo na área, encontra-se a *Mora paraensis*, conhecida popularmente como “pracuúba”. No entanto, não se tem muitos estudos no que diz respeito a caracterização físico mecânica dessa espécie.

2. OBJETIVO

O objetivo geral do trabalho é o estudo da adequação de 10 cruzetas de *Mora paraensis* segundo a NBR 8459/2011 e NBR 8458/2010.

Os objetivos específicos são:

- Comparar resultados de testes não destrutivos da madeira (ondas de tensão e classificação mecânica hidráulica) com o teste destrutivo sugerido pela NBR 8458/2010.
- Comparar resultados do teste de flexão em 3 pontos com o sugerido na NBR 8458/2010.
- Caracterização- físico- mecânica da espécie de *Mora paraensis*.
- Propor renovação quanto a metodologia utilizada.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Cruzetas de madeira

Linhas de transmissão de energia fornecem conexão entre locais de geração de alta tensão para os usuários residenciais e industriais. Cruzetas de aço são as estruturas mais comuns utilizadas para esse fim, principalmente em áreas urbanas onde uma falha de transmissão de energia poderia gerar consequências catastróficas. No entanto, em áreas remotas onde não há tanta pressão na transmissão de energia, estruturas de madeira são comumente usadas, suportando no máximo 230 Kv (MCCARTHY, 2005).

Segundo a NBR 8458/2010, cruzetas são peças de madeira de eixo sensivelmente retilíneo, sem emendas, destinadas a suportar condutores e equipamentos de redes aéreas de distribuição de energia elétrica (Figura 1).

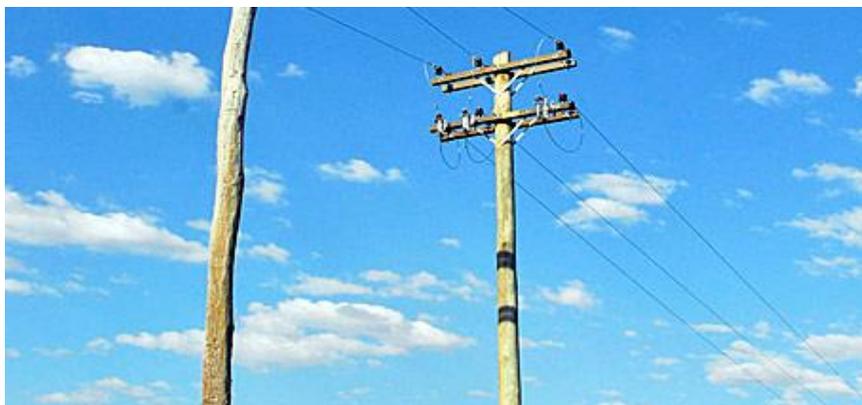


Figura 1. Cruzeta de madeira. Fonte: Ivo Madeiras (<http://ivomadeiras.com.br/?pagina=produtos&sub=civil&tipo=9>)

Entre as principais vantagens do uso de cruzetas de madeira estão: ser um recurso 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).

Os requisitos para preparação e recebimento de cruzetas de madeira estão especificados na NBR 8459/2011, que estabelece cruzetas de madeira de seção retangular, não preservadas, destinadas a redes aéreas de distribuição de energia (Figura 2).



Figura 2. Lote de cruzetas de madeira devidamente identificadas. Fonte: <http://www.dormentesecruzetas.com/cruzetas-de-madeira/>

A referida norma estabelece requisitos específicos quanto aos comprimentos das cruzetas, que podem ser de 200, 240, 500, e 600 centímetros, como também especifica as dimensões e a localização dos furos a serem feitos ao longo da cruzeta.

De acordo com o comprimento escolhido, os valores referentes à resistência a flexão, flecha máxima e flecha residual máxima são estabelecidos conforme a Tabela 1. Os esforços F estabelecidos devem ser iguais e aplicados simultaneamente em cada face da cruzeta. Os valores das flechas devem ser lidos simultaneamente nas extremidades das cruzetas.

A NBR 8458/2010 estabelece que as cruzetas devem ser fabricadas de madeira de lei, puro cerne das espécies listadas na Tabela 2. Outras espécies são aceitas mediante testes.

Tabela 1. Resistência à flexão para cruzetas segundo a NBR 8458/2010

Comprimento L (mm)	Descrição do carregamento	Resistência F (daN)	Flecha (mm)	
			Máxima	Residual Máxima
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	-	0
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	-	-

Tabela 2. Espécies de uso regulamentado na fabricação de cruzetas segundo a NBR 8458 (2010)

Nome popular	Abreviatura	Nome Científico
Angico vermelho	AG	<i>Piptadenia rigida</i>
Angico preto	AE	<i>Piptadenia macrocarpa</i>
Angelim pedra	AP	<i>Dinizia excelsa</i>
Aroeira	AR	<i>Astronium urundeúva</i>
Braúna	BR	<i>Melanoxylon balsamun</i>
Cadriúva		
Vermelha	CV	<i>Myroxylon brauna</i>
Cadriúva parda	CP	<i>Myrocarpus</i> sp
Faveiro	FV	<i>Pterodon pubescens</i>
Garapa	GP	<i>Apuleia</i> sp
Imbuia	IB	<i>Ocotea porosa</i>
Ipê	IP	<i>Tabebuia</i> sp
Itapirucu	IT	<i>Goniorrachis marginalia</i>
Jatobá	JB	<i>Hymenaea</i> sp
Maçaranduba	MB	<i>Manilka longifolia</i>
Pequi	PQ	<i>Cariocar</i> sp
Pau-pereira	PR	<i>Platycyamus regnellii</i>
Roxinho	RX	<i>Peltogyne</i> sp
Sucupira amarela	SA	<i>Ferreirea spectabilis</i>
Sucupira parda	SP	<i>Bowdichia</i> sp e <i>Diploctropis</i> sp
Sucupira vermelha	SV	<i>Lecythis</i> sp
Sassafrás	SS	<i>Ocotea pretiosa</i>

3.2. Propriedades fundamentais da madeira

A madeira é um dos materiais mais antigos e comuns usados em elementos estruturais. É um valioso material de engenharia, com elevada proporção de resistência para esforços e notável desempenho como material de construção. É um excelente substituto para o concreto e aço por apresentar baixos preços de instalação, facilidade de manuseio e estocagem, baixa condutividade elétrica e compatibilidade ambiental (TALLAVÓ, 2009).

A madeira apresenta grande variabilidade em suas propriedades, o que é resultado, em parte, da condição de crescimento das árvores. As propriedades físicas da madeira também são influenciadas pela sua estrutura interna complexa, resultando em um comportamento anisotrópico. Além da variabilidade natural e anisotropia, a madeira também apresenta como característica a porosidade e a não homogeneidade (MINA et al., 2004).

O comportamento físico-mecânico da madeira está intimamente relacionado à sua estrutura celular, afetando processos de secagem, colagem, trabalhabilidade, entre outros. Através do estudo da anatomia da madeira, é possível diferenciar espécies, identificando suas potencialidades e fraquezas, podendo-se assim indicar seu melhor tipo de utilização (PEREIRA, 2008).

3.2.1. Massa Específica

A massa específica reflete a quantidade de matéria lenhosa por unidade de volume. Assim, deve-se observar que a avaliação da qualidade da madeira com base na massa específica é bastante útil, do ponto de vista tecnológico, sendo um indicador das propriedades da madeira (VALE et al., 1999).

De acordo com Busnardo et al. (1987), é uma característica bastante complexa, resultante da combinação de caracteres anatômicos, físicos e químicos. A respeito da variabilidade da massa específica básica, deve-se considerar as variações existentes entre gêneros, entre espécies pertencentes ao mesmo gênero, bem como entre árvores.

A massa específica determinada a um dado teor de umidade (sempre deverá ser especificada) é denominada massa específica aparente da madeira. São estabelecidos como referências os teores de umidade fixos de 0%, 12% e 15% de umidade, correspondendo o primeiro ao teor de umidade da madeira seca em estufa; o segundo ao teor de umidade de equilíbrio da madeira seca em condições climáticas padronizadas, a 20°C e 65% de umidade relativa do ar; e o terceiro ao teor de umidade de equilíbrio aproximado da madeira, que ocorre espontaneamente em muitas situações geográficas do Brasil (BORGES, 2008).

3.2.2. Teor de umidade

O teor de umidade é inversamente proporcional à massa específica da madeira, ou seja, quanto maior a quantidade de água, menor a quantidade dos outros elementos químicos da madeira – celulose, hemicelulose e lignina (FOELKEL, et al. 1971).

A determinação do teor de umidade e de sua variação no tronco das árvores ou das peças de madeira é de extrema importância no seu desempenho e utilização. Os elevados gradientes de umidade da madeira constituem-se em uma das causas de defeitos de secagem, notadamente os caracterizados por empenamentos e fendilhamentos. As informações relativas à distribuição da umidade no interior da madeira são de grande importância na segregação das peças em teores de umidade mais uniformes, de modo a facilitar a secagem tanto no que diz respeito à minimização de defeitos quanto à obtenção de menor variabilidade em torno do teor de umidade médio pretendido. A umidade da madeira na árvore pode variar de 31 a 249% no cerne e de 40-213% no alburno (FOREST USDA, 1987).

Quanto aos esforços mecânicos, os valores obtidos para a investigação da resistência devem ser corrigidos para o teor de 12 %. Assim sendo, os valores da rigidez da madeira (E_{M0}) e resistência da madeira à flexão (f_M) devem ser multiplicados por um fator de correção (NBR 7190, 1997). Os valores das propriedades mecânicas (módulo de elasticidade, módulo de ruptura, compressão paralela e perpendicular) da madeira aumentam quando a madeira seca a partir do ponto de saturação das fibras para 10 a 15% de teor de umidade (TELES,2006).

3.2.3. Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas da madeira são fortemente influenciadas por fatores diversos, como idade da árvore, ângulo da grã, teor de umidade, temperatura, constituintes químicos, fadiga, apodrecimento, massa específica, constituição anatômica, duração da tensão e da deformação, radiação nuclear, falhas na madeira, presença de nós e outros defeitos (KOLLMANN, et al., 1968).

De acordo com Tsoumis (1991), a massa específica, a retrabilidade e a resistência aos esforços de flexão estática (MOE e MOR) são considerados os mais importantes para a madeira sólida, entre os parâmetros físico-mecânicos utilizados. Os seus valores expressam a combinação de diversos fatores, incluindo a constituição morfológica, anatômica e química da madeira.

O ensaio de flexão estática se presta à determinação da resistência e da rigidez da madeira à flexão de um lote considerado homogêneo. A resistência da madeira à flexão (f_M) é um valor convencional dado pela máxima tensão que pode atuar em um corpo no ensaio de flexão simples, calculado com a hipótese de a madeira ser um material elástico, sendo expressa através da Equação 1 (NBR 7190, 1997):

$$f_m = \frac{M_{max}}{W_e} \quad (1)$$

Em que M_{max} é o máximo momento aplicado ao corpo de prova (Newtons-metro); W_e é o módulo de resistência elástico da seção transversal do corpo de prova (dado por $bh^2/6$).

O módulo da ruptura (MOR) e o módulo da elasticidade (MOE) são dois parâmetros normalmente determinados em testes de flexão estática e são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira, porque ambos estimam a resistência do material submetido a uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal da peça (JUNIOR et. al.; 2004).

3.3. *Mora paraensis*

Mora paraensis (Ducke) Ducke pertencente à subfamília *Caesalpinioideae* DC. da família *Fabaceae* Lindl, é nativa da região Amazônica, conhecida popularmente como pracuúba e ocorre nos estados do Amapá, Amazonas, Roraima e Pará (MISSOURI BOTANICAL GARDEN, 2013). É também popularmente conhecida como pracuúba branca, pracuúba vermelha, nato e nato rojo. Ocorre em ambiente de várzea.

Árvore do dossel atingindo até 40 metros de altura, possui tronco com mais de um metro de diâmetro, sustentado por sapopemas. Folhas com pecíolo canaliculado na parte superior, frequentemente semi-alados, folíolos ovados-oblongos de 8-14 cm de comprimento por 3,5 cm de largura, com a parte inferior venicosa e a inferior sub-opaca, ferrugínea, de base aguda ou longo-acuminada. Flores em espigas brancas, aromáticas, sésseis, cálice com 4 mm de comprimento, glabro, pétalas com cerca de 6 mm de comprimento, estamos com filetes achatados; androceu no botão completamente revestido por pelos brancos, tornando-se glabro logo após a antese (DUCKE, 1949; LOUREIRO, SILVA, 1968).

A madeira de *Mora paraensis* é pesada, possui densidade média de 1,015 kg.m⁻³. Apresenta albúno amarelo-marrom distinto do cerne castanho avermelhado, grã irregular, textura média grossa, aparentando aspecto fibroso, sabor ligeiramente amargo. Possui resistência à ataque de insetos e alta durabilidade. É usada em marcenaria, como dormentes, esteios, tacos para assoalhos, vigamentos, carpintaria, mourões, estacas, construções civil e naval (THE WOOD DATABASE, 2013).

3.4. Testes não destrutivos

É possível uma caracterização eficaz da madeira por meio de métodos não destrutivos, nos quais não é necessária a extração de corpos-de-prova, uma vez que a avaliação é feita sem prejuízo para a peça. Outra vantagem desse método é que ele pode ser aplicado mesmo quando a peça já se encontra em utilização estrutural. A avaliação não destrutiva é definida como sendo a ciência de identificar as propriedades físicas e mecânicas de uma peça de determinado material sem alterar suas capacidades de uso final (ROSS et al.; 1998).

Segundo Ross (1999), várias tecnologias são usadas para avaliar a madeira de modo não destrutivo, tais como: raio-x, análise química, propriedades vibracionais e transmissão de ondas sonoras.

Entre as diversas técnicas empregadas de classificação de madeira, destaca-se o *Stress-Wave*, que é um método de emissão de ondas de tensão (impacto). A velocidade de propagação de uma onda de tensão induzida e sua atenuação no material são os principais parâmetros analisados nesta técnica (TARGA, et al., 2005).

Segundo Emerson et al. (1998), a variação no tempo percorrido pela onda revela as condições do material, uma vez que na madeira sadia, esse tempo é mais curto, enquanto na madeira deteriorada, o tempo será mais longo.

De acordo com Ross et al. (1994), ao monitorar o movimento de uma seção transversal até a proximidade do final do comprimento do corpo de prova, em resposta à uma tensão gerada por *stress-wave*, tem-se como resultado uma série de ondas, igualmente espaçadas, com magnitude de pulsação decrescendo exponencialmente. A velocidade de propagação (C) das ondas podem ser determinadas pela medição do tempo entre os pulsos ao longo do comprimento (L) do corpo de prova, conforme expressa na Equação 2.

$$C = \frac{L}{t} \quad (2)$$

O módulo de elasticidade (MOE), pode ser expresso através da Equação 3, usando-se a velocidade “C” e a massa específica (ρ) do corpo de prova utilizado:

$$MOE = C^2 * \rho \quad (3)$$

Já o método de avaliação mecânica não destrutiva, baseia-se na correlação entre o módulo de ruptura na flexão e o módulo de elasticidade. Nesse método, a peça de madeira (viga ou tábua) é flexionada por poucos instantes na máquina de classificação por classes de resistência (*stress grade machine*), o necessário para medir seu valor de rigidez, o qual permite estimar a resistência à flexão da peça pela correlação entre MOE e MOR. O parâmetro não destrutivo mais utilizado tem sido o MOE, algumas vezes associado à massa específica aparente (MEA) como outra variável independente na mesma equação (COSTA, 2007).

De acordo com McDonald et al. (1990), altas correlações têm sido observadas entre os módulos de elasticidade obtidos a partir das técnicas de ondas acústicas (E_d) e flexão estática (MOE). É mais difícil relacionar MOR com E_d , pois a presença de defeitos e a inclinação das fibras têm efeito mais significativo no MOR do que na velocidade longitudinal da onda. Como os defeitos na madeira afetam a inclinação das fibras, qualquer método que seja sensível a isso terá alto potencial para determinar a resistência da madeira.

Ross et.al. (2000), investigaram o uso da emissão acústica para avaliar o módulo de elasticidade dinâmico de postes de pequeno diâmetro. Os resultados dessa pesquisa mostraram fortes correlações entre as propriedades determinadas pelos métodos de emissão acústica e flexão estática, indicando a eficácia da utilização dessa técnica não destrutiva na avaliação de postes de madeira.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho, 10 cruzetas comerciais de *Mora paraensis* (Figura 3) foram fornecidas por uma empresa ao Laboratório de Produtos Florestais- LPF, do Serviço Florestal Brasileiro, com o intuito de se analisar a adequação dessa espécie de madeira para a confecção de cruzetas.



Figura 3. Cruzetas comerciais recebidas

4.1. Identificação da espécie

A identificação da espécie foi realizada no Setor de Anatomia da Madeira do Laboratório de Produtos Florestais- Serviço Florestal Brasileiro por análise visual de corpos de prova e comparação.

4.2. Determinação do teor de umidade e da massa específica aparente das amostras de cruzetas

O teor de umidade das amostras de cruzetas foi determinado, primeiramente, pelo método direto, utilizando-se o medidor de umidade capacitivo Klonteser KT-50B (posição 4). Após a realização dos testes de resistência mecânica, amostras de aproximadamente 9 x 9 x 5 cm foram retiradas próximas a linha de ruptura e submetidas ao método gravimétrico. As amostras foram então levadas à secagem em estufa (103 ± 2°C) até atingirem massa constante. A determinação do teor de umidade foi realizada através da Equação 4.

$$U(\%) = \frac{Mu - Ms}{Mu} \quad (4)$$

Sendo:

U (%): teor de umidade em %;

Mu: massa úmida da madeira;

Ms: massa seca em estufa.

A massa específica aparente das amostras foi determinada antes da realização dos testes mecânicos. A medição da massa foi realizada no teor de umidade do lote de amostras recebidas, em balança de 20 kg, com precisão $\pm 200\text{g}$. As medidas das dimensões das cruzetas foram realizadas utilizando régua metálica (1 metro). Para a determinação da massa específica úmida utilizou-se da Equação 5. No cálculo do volume das amostras, desconsiderou-se os espaços vazios representados pelos 12 furos.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (5)$$

Em que:

ρ : massa específica aparente em g/cm^3 ;

m : corresponde à massa úmida da madeira em gramas;

v : corresponde ao volume em cm^3 .

4.3. Análise visual das amostras

Conforme a NBR 8459/2011, as cruzetas de 200 cm, devem apresentar seção regular de 90 ± 2 mm por $112,5 \pm 2,5$ mm, constituído em sua maioria por cerne. Ainda segundo essa norma, as amostras devem conter os orifícios para a passagem da linha de transmissão da rede de, conforme a Figura 4.

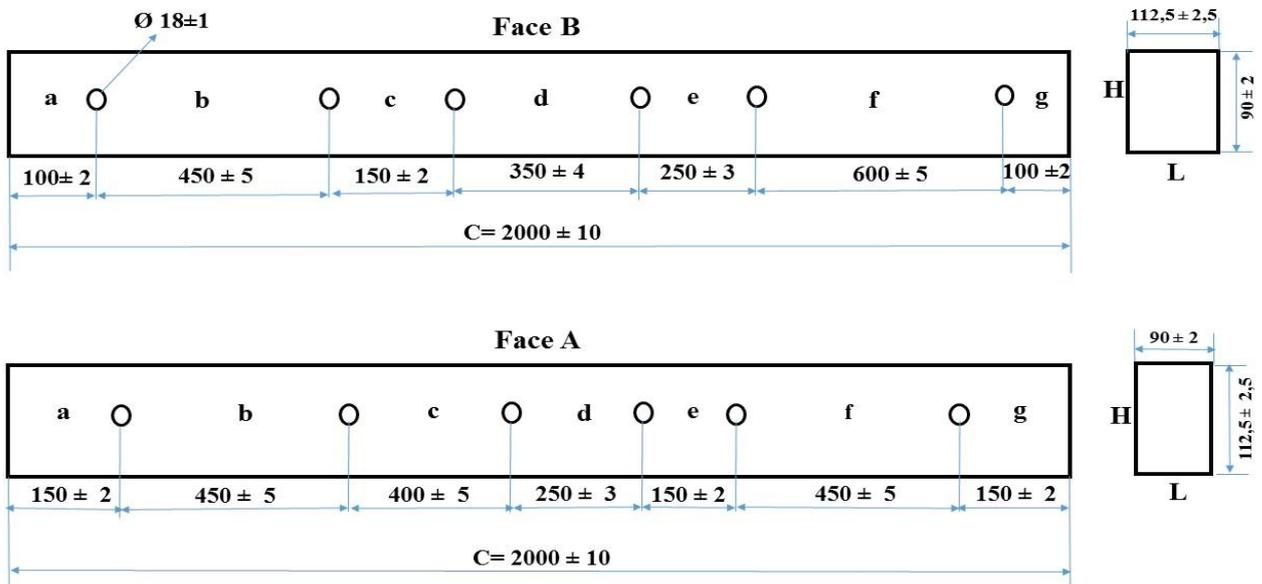


Figura 4. Cruzeta de 2 metros (medidas em milímetros).

As amostras de cruzetas foram numeradas de 1 a 10 e, conforme a posição dos furos, foram classificadas como face A1 ou face B1 (Figura 5), sendo que as faces contrárias às essas foram classificadas como A2 e B2, respectivamente.



Figura 5. Classificação das faces A e B

Após a verificação dos itens citados anteriormente, foi feita a análise visual das 4 faces quanto aos defeitos. Segundo a seção 4.5 da NBR 8459/2010, prevê-se que 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.

4.4. Resistência Mecânica

Os testes de resistência mecânica foram realizados de acordo com a NBR 8458/2010. O teste consiste na aplicação simultânea de duas forças em dois pontos ao longo da cruzeta, nas 4 faces respectivamente, medindo-se as flechas nos topos da cruzeta (Figuras 6 e 7). Tais testes foram realizados no Laboratório de Produtos Florestais (Setor de Engenharia e Física da madeira) do Serviço Florestal Brasileiro.

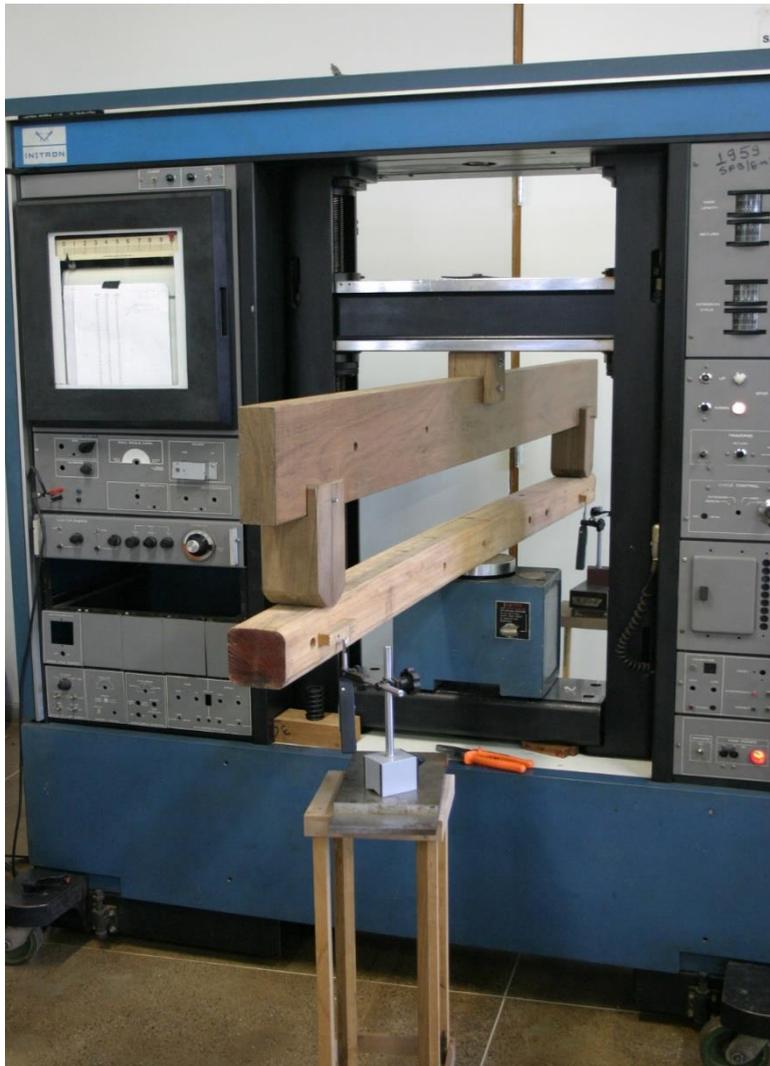


Figura 6. Montagem do ensaio a ser utilizado pela norma NBR 8458/2010.

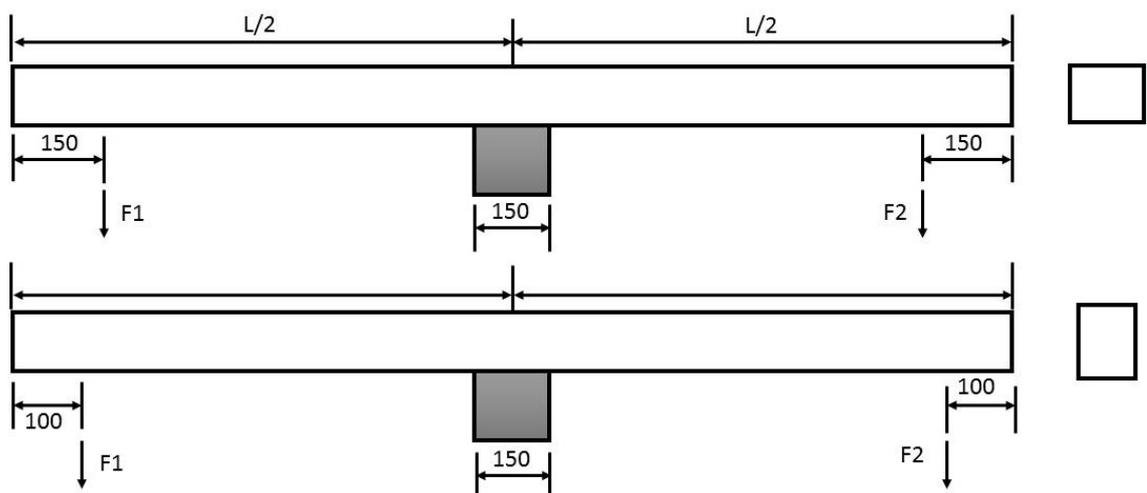


Figura 7. Esquema ilustrativo dos dois esforços (F1 e F2) a serem aplicados simultaneamente em cada face nas cruzetas de 2 metros segundo a NBR 8458/2010

Os testes de resistência mecânica foram realizados na máquina universal de teste “Instron- modelo 1115”. Na NBR 8458/2010 não há especificação quanto à velocidade de carregamento. Utilizou-se, então, a velocidade de carregamento correspondente a 5 mm/minuto, conforme estudo realizado por BORGES (2008). As cruzetas recebidas apresentavam seção transversal retangular, sendo que a distância escolhida para a aplicação das forças foi de 150 centímetros, conforme o primeiro esquema ilustrativo da Figura 7.

A carga central aplicada variou entre 810 e 1140 Kgf (valores reais de carga) para as quatro faces das cruzetas. Nos resultados finais, as cargas foram convertidas para daN, que corresponde a 1,02 Kgf, facilitando assim a comparação com os valores exigidos pela norma.

As deformações foram medidas nos topos de cada cruzeta, com relógios comparadores digitais da marca Mitutoyo, apoiados em dois suportes. As leituras foram registradas de forma manual (Figura 8).



Figura 8. Detalhe do relógio comparador utilizado para medir as deformações

As faces que apresentaram maiores deformações nominais foram levadas à ruptura com o intuito de se verificar a carga máxima de ruptura e comparar os valores com os estabelecidos pela NBR 8458/2010 (Figura 9).



Figura 9. Amostra levada à ruptura na face menos resistente

4.5. Testes complementares ao sugerido pela NBR 8458/2010

Com o intuito de sugerir testes mais simples, de mais fácil acesso e menos inconsistentes que o informado pela NBR 8458/2010, três testes complementares diferentes foram realizados: flexão em 3 pontos e os testes não destrutivos – ondas de tensão (*Stress-Wave*) e classificação mecânica hidráulica.

Foi realizado o teste de flexão estática em 3 pontos nas peças de cruzeta antes de serem levadas a ruptura, na face que apresentou a maior flecha nominal pelo teste sugerido pela NBR 8458/2010. Cada uma das cruzetas foi apoiada nos extremos e aplicou-se uma carga central. A execução do teste foi feita na máquina universal “Instron- modelo 1115”. Os resultados foram registrados graficamente e a carga máxima aplicada encontrou-se no regime elástico da peça (Figura 10).



Figura 10. Teste de flexão estática em 3 pontos

Para o teste de ondas de tensão, utilizou-se do aparelho Metriguard Modelo 239 A, (Figura 11) que é constituído por dois transdutores acelerômetros colocados em cada extremidade do material a ser medido e um timer. Três medidas foram feitas com o receptor nas faces transversais de cada cruzeta, sendo que o impacto foi realizado em três posições, variando a posição do martelo e do receptor transversalmente (Figura 12). O tempo de deslocamento das ondas de tensão foram registradas em μs (microssegundos) e anotado manualmente.



Figura 11. Aparelho Stress-Wave Metriguard Modelo 239 A.

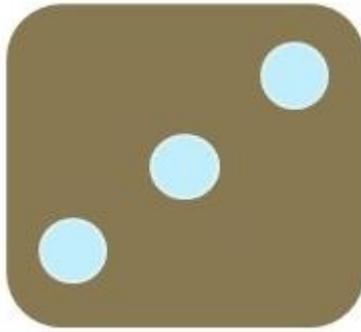


Figura 12. Esquema ilustrativo da aplicação das ondas de impacto na face transversal da cruzeta

O aparelho de classificação mecânica desenvolvido pelo Laboratório de Produtos Florestais- Serviço Florestal Brasileiro, é construído com material disponível no mercado local, de fácil execução e baixo custo. O teste realizado pelo aparelho consiste em uma flexão em 3 pontos, com flecha fixa, onde se mede a pressão hidráulica do sistema (Figura 13).



Figura 13. Aparelho de classificação mecânica desenvolvida no Laboratório de Produtos Florestais (LPF).

O equipamento foi elaborado com o intuito de classificar as madeiras de forma rápida, direta e objetiva. Nesse sentido, utilizou-se dessa metodologia visando simplificar os testes para cruzetas também.

O aparelho de classificação é composto por macaco hidráulico, que tem a função de aplicação de carga a um pistão cilíndrico de 3,134 cm de diâmetro e área circular de 7,714 cm², com capacidade de 6.000 kgf; 3 roletes de tubo de aço de 3” para a alimentação do material, e estrutura de aço de cantoneira de 2”. Apresenta um vão livre

(L) de 1,92 m, sendo o pistão localizado no centro do equipamento (Figura 14). 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 20 kgf/ cm² e fica posicionado de forma que o operador consiga visualizar o valor da pressão que está sendo aplicada (COSTA, 2007).

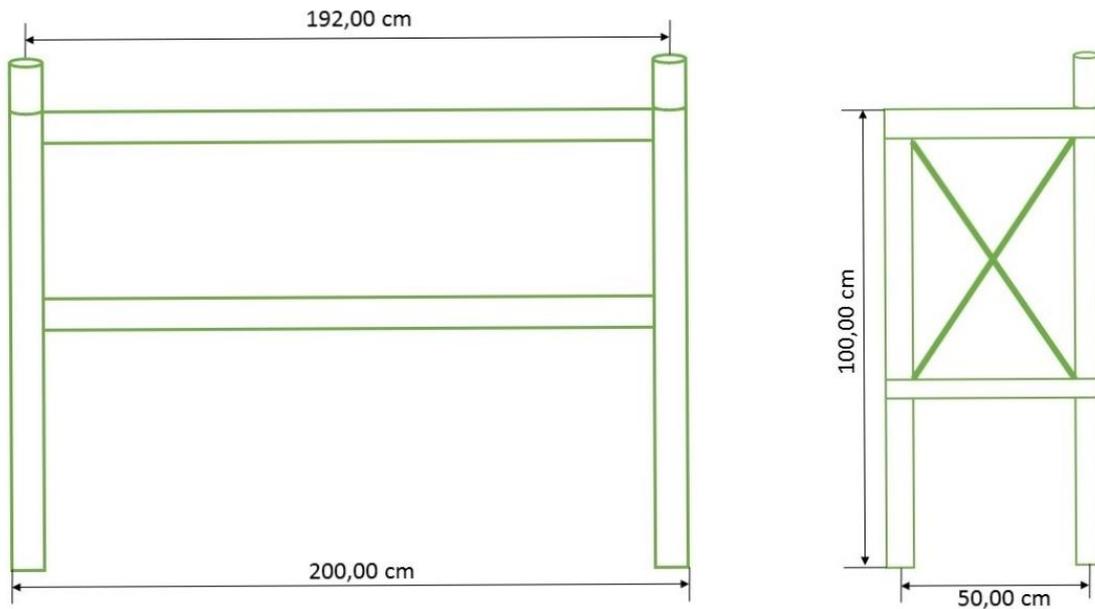


Figura 14. Esquema do aparelho de classificação mecânica.

4.6. Caracterização físico-mecânica da *Mora paraensis*

Após a realização do teste mecânico sugerido pela NBR 9458/2010, as 10 amostras de cruzetas foram partidas ao meio a partir da linha de ruptura. Esse procedimento foi realizado visando a confecção de corpos para a caracterização físico-mecânica da espécie de *Mora paraensis*. Assim, metade das cruzetas cortadas, correspondente a cada árvore, foram destinadas à confecção de corpos de prova saturados, sendo depositados em tanque de água por 5 meses. A outra metade, foi submetida à secagem ao ar livre, até que atingissem teor de umidade de aproximadamente 12%, durante 5 meses, destinando-se à confecção dos corpos de prova secos (Figura 15).



Figura 15. Esquema da confecção dos corpos de prova para os testes mecânicos

A confecção dos corpos de prova e os procedimentos a serem seguidos nos testes físico-mecânicos foram realizados seguindo-se as Normas COPANT (Comissão Panamericana de Normas Técnicas), baseadas na Norma ASTM D143.

- COPANT 464 - compressão paralela às fibras;
- COPANT 466 – compressão perpendicular às fibras;
- COPANT 465- dureza janka;
- COPANT 463- cisalhamento;
- COPANT 555- flexão estática;
- COPANT 743- tração perpendicular;
- COPANT 744- extração de pregos;
- COPANT 462- contração;
- COPANT 461- peso específico aparente;
- COPANT 460- umidade.

O teste de flexão estática foi realizado em corpo de prova reduzido de 2 x 2 x 30 cm. Os testes mecânicos foram realizados na máquina universal de teste “Instron-modelo 1115”, no Setor de Engenharia e Física da Madeira, Laboratório de Produtos Florestais (LPF.) Apenas o teste de compressão paralela às fibras foi realizado no Laboratório de Tecnologia da Madeira e Derivados, do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, utilizando-se a Máquina Universal de Ensaio (EMIC DL 30000).

Ao fim de cada teste, determinou-se o teor de umidade pelo método gravimétrico afim de se fazer a correção dos resultados finais calculados para cada teste para o teor de umidade de 12%. Para tal, amostras de 5 x 5 x 2 cm foram cortadas e colocadas em estufa a $103 \pm 2^\circ \text{C}$ de circulação forçada.

Além disso, a espécie de *Mora paraensis* foi analisada quanto a trabalhabilidade, isso é, quanto ao seu comportamento quando está sendo processada (dificuldade de se trabalhar a madeira). Nessa etapa, o teste foi realizado com as cruzetas ainda inteiras, sendo que primeiramente foi feito o aplainamento das 10 amostras e em seguida se fez o acabamento com lixa (lixa nº 100). A avaliação dos testes foi realizada visualmente e manualmente por 3 marceneiros do LPF, que atribuíram notas para cinco classes de qualidade (Tabela 3).

Tabela 3. Notas atribuídas para avaliação o quanto a trabalhabilidade

Classe	Nota	% Livre de Defeito
Excelente	5	80-100
Bom	4	60-79
Razoável	3	40-59
Ruim	2	20-39
Muito ruim	1	0-19

4.7. Análise dos resultados

4.7.1. Adequação da espécie à NBR 8458/2010

Primeiramente, analisou-se se a madeira de *Mora paraensis* pode ser usada como cruzeta. Para tal, verificaram-se os valores das flechas máximas e residuais (medidas em mm), quando submetidas aos valores de cargas sugeridos pela NBR 8458/2010. Além disso, verificou-se a resistência mínima de ruptura (em daN), conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Requisitos exigidos para uso de madeira como cruzeta, segundo ABNT NBR 8458/2010

Comprimento L (mm)	Descrição do Carregamento	Resistência F (daN)	Flecha (mm)	
			Máxima	Residual máxima
2000	Nominal	400	75	3
	Máximo excepcional	560	100	5
	Mínimo de ruptura	800	-	-

O valor de resistência nominal equivalente a 400 daN corresponde ao valor de resistência indicada e garantida pelo fabricante, que a peça deve suportar continuamente, na direção e sentido indicados, no plano de aplicação e passando pelo eixo da peça, de grandeza tal que não produza, em nenhum plano transversal, momento fletor que prejudique a qualidade dos materiais, trincas, exceto as capilares. Em se tratando de limite de carregamento excepcional, é o correspondente a uma sobrecarga de 40% sobre a resistência nominal (NBR 8458/2010).

Já a carga de ruptura corresponde a no mínimo igual a 2 vezes a resistência nominal, que provoca a ruptura de uma peça em uma seção transversal. A ruptura é

definida pela carga máxima indicada no aparelho de medida dos esforços, carregando-se a peça de modo contínuo e crescente (NBR 8458/2010).

4.7.2. Comparação entre os testes

A comparação do teste mecânico sugerido pela NBR 8458/2010 com os testes complementares, fez-se a partir dos valores calculados de módulo de elasticidade (MOE). Para o teste de stress-wave, utilizou-se da Equação 6 e para os demais testes, a Equação 7 para o cálculo de módulo de elasticidade (MOE).

$$V = \sqrt{\frac{MOE}{\rho}} \quad (6)$$

Em que:

V: velocidade em cm/s;

MOE: módulo de elasticidade em kgf/cm²

ρ : massa específica aparente em g/cm³

$$MOE = \frac{P * L^3}{4 * b * d^3 * y} \quad (7)$$

Em que:

P: carga aplicada em Kgf;

L: vão livre da máquina em cm;

b: largura da seção transversal da peça em cm;

d: espessura da seção transversal da peça em cm;

y: deformação, medida em cm.

Visando ter mais um valor de comparação, calculou-se o MOE do teste mecânico sugerido pela ABNT 8458/2010 com os valores obtidos a partir do deslocamento do travessão, ou seja, utilizando-se as flechas das pontas medidas pelo centro, sendo denominado MOE_{ABNT-M}. Além desse valor, se obteve o valor calculado de MOE a partir das deformações medidas pelos relógios (MOE_{ABNT}).

Para análise estatística do trabalho, foram considerados 6 parâmetros (tratamentos) de comparação:

- MOE_{3PTS} - correspondente ao valor calculado pelo teste de flexão estática em 3 pontos, graficamente;
- MOE_{ABNT-M} - calculado a partir do deslocamento do travessão, utilizando-se as médias das pontas medidas pelo centro;
- MOE_{ABNT} - correspondente ao valor calculado com os valores registrados pelos relógios comparadores;
- MOE_{HID} - correspondente ao valor calculado para a classificadora mecânica (hidráulica);
- MOE_{S-WAVE} - correspondente ao valor calculado para o teste de stress-wave;
- $MOE_{PEQUENO}$ - correspondente ao MOE calculado em teste de flexão estática em corpos pequenos (COPANT 555)

Os tratamentos foram analisados estatisticamente com o auxílio do software SPSS versão 22 da empresa IBM, por meio da estatística descritiva, análise de variância, teste de Tukey com 5% de significância e Correlação de Pearson.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização físico-mecânica da *Mora paraensis*

As Tabelas 5 e 6 trazem os resultados, respectivamente, das propriedades físicas e mecânicas da espécie de *Mora paraensis*.

Melo et.al. (1990) determinaram que madeiras que possuem massa específica básica acima de 0,72 g/cm³ é considerada como alta, caracterizando madeiras pesadas. Infere-se, portanto, que a madeira em questão é considerada pesada ($\rho_{\text{básica}}$ 0,79 g/cm³). Ainda segundo os mesmos autores, madeiras que apresentam contração volumétrica acima de 14%, são classificadas como madeiras de alta contração volumétrica, como é o caso da *Mora paraensis* (16%).

O teor de umidade de teste determinado foi de 11,5 %, não sendo necessária assim a correção dos resultados obtidos para o teor de umidade de 12 %.

Os dados utilizados para as comparações a seguir foram extraídos do Banco de Dados Madeira do Brasil do Laboratório de Produtos Florestais (LPF). Para se ter maior entendimento a respeito da *Mora paraensis*, foram comparados os resultados dos módulos de ruptura e módulo de elasticidade em flexão estática na condição seca dessa espécie com espécies comercialmente mais usadas e conhecidas no mercado (Tabela 7). Ainda, foram comparadas as massas específicas básicas, que segundo Melo et. al (2008), é o parâmetro que possui maior correlação com a maioria das propriedades físicas e mecânicas das espécies. Quanto a resistência à ruptura, tal espécie é a menos resistente entre todas. No entanto, em relação ao módulo de elasticidade, a prauúba apresentou resultados semelhantes aos do Ipê.

Tabela 5. Comparação entre *Mora paraensis* e espécies comerciais de madeira

Nome Comum	Nome científico	Massa específica básica (g/cm ³)	Flexão estática	
			MOR seco (kgf/cm ²)	MOE seco (kgf/cm ²)
Pracuúba	<i>Mora paraensis</i>	0,79	1221	133697
Angelim Vermelho	<i>Dinizia excelsa</i>	0,83	1600	173000
Ipê	<i>Handroanthus serratifolius</i>	0,89	1726	131000
Jatobá	<i>Hymenaea parvifolia</i>	1,05	1732	173000
Cumaru	<i>Dipteryx odorata</i>	0,91	1764	183000

Fonte: Banco de Dados Madeiras do Brasil- LPF

Observando-se a Tabela 8, em que as propriedades de flexão estática na condição seca são comparadas com 7 das 21 espécies regulamentadas para fabricação de cruzetas de acordo com a NBR 8458/2010, conclui-se que a de *Mora paraensis* possui

as características físico-mecânicas necessárias para ser utilizadas como cruzeta de madeira. As espécies selecionadas para serem usadas como cruzetas, em sua maioria, possuem alta massa específica básica. Entre as espécies analisadas, a *Mora paraensis* se assemelha à *Apuleia* sp. e *Hymenaea* sp no que diz respeito aos módulos de ruptura e elasticidade. Segundo Melo et. al. (2008), uma das características fundamentais para a escolha de uma espécie para uso em cruzetas, é apresentar massa específica básica alta, contribuindo para maior resistência natural e resistência mecânica.

Tabela 6. Comparação entre *Mora paraensis* e as espécies regulamentadas para produção de cruzetas (NBR 8458/2010)

Nome Comum	Nome científico	Massa específica básica (g/cm ³)	Flexão estática	
			MOR seco (kgf/cm ²)	MOE seco (kgf/cm ²)
Pracuúba	<i>Mora paraensis</i>	0,79	1221	133697
Angelim pedra	<i>Dinizia excelsa</i>	0,83	1600	173000
Garapa	<i>Apuleia</i> sp	0,75	1272	129000
Ipê	<i>Tabebuia</i> sp	0,82	1770	168000
Jatobá	<i>Hymenaea</i> sp	0,76	1399	159000
Maçaranduba	<i>Manilka longifolia</i>	0,89	1729	142000
Roxinho	<i>Peltogyne</i> sp	0,81	1908	181000
Sapucaia vermelha	<i>Lecythis</i> sp	0,84	1529	151000

Fonte: Banco de Dados Madeiras do Brasil- LPF

A trabalhabilidade da espécie, avaliada por notas, foi considerada boa, tanto para o teste de plaina como o de lixa de cinta (Tabela 9). O acabamento não foi melhor avaliado devido a presença de grã reversa, característico da espécie.

Tabela 7. Resultados da trabalhabilidade para *Mora paraensis*

Resultados	Plaina Moldureira	Lixa de Cinta
Nº de amostras	10	10
Acabamento superficial	Bom	Bom

Vale ressaltar que existem duas espécies diferentes com nomes populares semelhantes: pracuúba (*Mora paraensis*) e pracuúba da terra firme (*Trichila lecointei*), essa última com mais estudos quanto as características anatômicas e físico-mecânicas. Deve-se, assim, se ter atenção ao analisar as duas já que ocorrem em ambientes diferentes, a primeira em locais de várzea e a segunda em floresta densa de terra firme, apresentando características distintas.

Tabela 8. Resultados dos testes físicos para *Mora paraensis*

Massa específica básica (g/cm ³)	Massa específica seca (g/cm ³)	Massa específica verde (g/cm ³)	Massa específica aparente (g/cm ³)	Contração tangencial-CT (%)	Contração radial-CR (%)	Razão CT/CR	Contração volumétrica (%)
0,79* 0,07** 7***	0,97* 0,06** 6***	1,24* 0,03** 7***	1,01* 0,08** 10***	9,24* 2,1** 7***	7,27* 1,20** 7***	1,27* 0,55** 7***	16,93* 0,51** 6***

Os valores em cada célula correspondem à: média*, desvio padrão** e número de amostras ensaiadas***.

Tabela 9. Resultados dos testes mecânicos para *Mora paraensis*

Condição	Flexão Estática			Compressão Paralela às fibras	Compressão Perpendicular às fibras	Dureza Janka		Tração Perpendicular às fibras	Cisalhamento	Extração de pregos	
	Módulo de Ruptura (kgf/cm ²)	Módulo de Elasticidade (kgf/cm ²)	Tensão no Limite Prop. (kgf/cm ²)	Módulo de Ruptura (kgf/cm ²)	Tensão no Limite Prop. (kgf/cm ²)	Cargas Extremos (kgf)	Cargas Faces (kgf)	Tensão de Ruptura (kgf/cm ²)	Tensão de Ruptura (kgf/cm ²)	Cargas Extremos (kgf)	Cargas Faces (kgf)
Verde	911* 104** 10***	130212* 24067** 10***	699* 134** 10***	426* 59** 10***	96* 38** 9***	804* 140** 10***	897* 168** 10***	64* 11** 10***	128* 14** 10***	67* 5** 10***	114* 15** 10***
Seca	1221* 189** 10***	133696* 20061** 10***	837* 148** 10***	572* 0** 8***	113* 41** 9***	1147* 254** 10***	1098* 276** 10***	68* 25** 10***	156* 19** 10***	137* 22** 9***	181* 24** 9***

Os valores em cada célula correspondem à: média*, desvio padrão** e número de amostras ensaiadas***.

5.2. Estudo das cruzetas de *Mora paraensis*

5.2.1. Teor de umidade e massa específica aparente inicial

Na Tabela 10, pode-se observar os valores médios de umidade inicial em % obtidos pelo método capacitivo (1) e pelo método gravimétrico (2). Pelos valores obtidos, todas as amostras seriam reprovadas segundo a NBR 8458/2010, que prevê que o teor de umidade médio de um lote não pode ser superior a 20%. A massa específica aparente encontrada desconsiderou os 12 furos existentes em cada uma das cruzetas, para o cálculo do volume total.

Tabela 10. Teor de umidade e massa específica das amostras de cruzetas recebidas

Cruzeta	Umidade média 1 (%)	Umidade média 2 (%)	Massa específica aparente (g/cm ³)
1	33,8	26,6	0,9
2	29,3	28,0	1,0
3	30,9	26,8	0,9
4	34,2	36,8	1,0
5	34,8	29,9	0,9
6	26,8	23,9	0,9
7	31,0	27,9	0,9
8	30,1	25,8	0,9
9	30,0	26,7	0,9
10	29,4	25,2	0,9
Média	31,0	27,8	0,9

5.2.2. Análise das medidas encontradas nas amostras de cruzetas

Os posicionamentos dos furos, em sua maioria, encontraram-se fora do padrão estabelecido pela norma, o que também desclassificariam as cruzetas. Além disso, alguns furos foram feitos fora do eixo central da peça. No entanto, o diâmetro dos furos estava correto e o acabamento encontrado aceitável. Na Tabela 11, são apresentados os valores das medições realizadas em ambas as faces de todas as 10 amostras.

Conforme a última coluna da tabela, pode-se observar que todas as medidas não atenderam à NBR 8459/2011.

As dimensões das seções transversais também não atenderam às sugeridas pela NBR 8458/2010, apresentando seções quadradas e não retangulares, o que pode ter influenciado nos resultados finais no teste de resistência à flexão estática.

Tabela 11. Dimensões das amostras de cruzetas

Cruzeta 1	Dimensões	a	b	c	d	e	f	g	C	H	L	25	% Erro de medição			
	Medida Face A (mm)	150	455	400	250	150	455	149	2009	89	89					
	Medida Face B (mm)	105	455	150	355	250	600	91	2006	89	89					
Cruzeta 2	Dimensões	a	b	c	d	e	f	g	C	H	L	25		% Erro de medição		
	Medida Face A (mm)	150	455	398	252	150	452	151	2008	90	90					
	Medida Face B (mm)	105	450	155	345	255	595	102	2007	90	90					
Cruzeta 3	Dimensões	a	b	c	d	e	f	g	C	H	L	45			% Erro de medição	
	Medida Face A (mm)	145	450	403	248	154	454	151	2005	91	90					
	Medida Face B (mm)	105	449	146	360	250	600	97	2007	90	91					
Cruzeta 4	Dimensões	a	b	c	d	e	f	g	C	H	L	35				% Erro de medição
	Medida Face A (mm)	156	444	405	248	152	453	147	2005	91	90					
	Medida Face B (mm)	95	455	153	347	260	600	98	2008	90	91					
Cruzeta 5	Dimensões	a	b	c	d	e	f	g	C	H	L	40	% Erro de medição			
	Medida Face A (mm)	148	438	414	248	157	453	147	2005	90	88					
	Medida Face B (mm)	105	453	152	350	253	602	90	2005	88	90					
Cruzeta 6	Dimensões	a	b	c	d	e	f	g	C	H	L	40		% Erro de medição		
	Medida Face A (mm)	150	450	405	245	155	453	150	2008	91	90					
	Medida Face B (mm)	105	445	155	355	245	605	95	2005	90	91					
Cruzeta 7	Dimensões	a	b	c	d	e	f	g	C	H	L	35			% Erro de medição	
	Medida Face A (mm)	150	450	405	250	150	455	147	2007	90	91					
	Medida Face B (mm)	101	559	155	355	252	600	93	2005	91	90					
Cruzeta 8	Dimensões	a	b	c	d	e	f	g	C	H	L	20				% Erro de medição
	Medida Face A (mm)	150	451	404	250	150	452	148	2005	87	90					
	Medida Face B (mm)	100	450	150	355	251	604	95	2005	90	87					
Cruzeta 9	Dimensões	a	b	c	d	e	f	g	C	H	L	20	% Erro de medição			
	Medida Face A (mm)	149	447	404	250	153	449	153	2005	90	90					
	Medida Face B (mm)	100	450	155	350	252	603	95	2005	90	90					
Cruzeta 10	Dimensões	a	b	c	d	e	f	g	C	H	L	30		% Erro de medição		
	Medida Face A (mm)	148	450	407	242	155	455	148	2005	90	90					
	Medida Face B (mm)	100	450	150	354	251	606	95	2006	90	90					

5.2.3. Avaliação dos defeitos nas amostras de cruzetas

A Tabela 12 a seguir apresenta o somatório dos defeitos em cada uma das quatro faces, como também a média de defeitos das faces.

Tabela 12. Percentual de defeitos para as 4 faces das amostras

Espécie	Face	Defeitos											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
<i>Mora paraensis</i>	Σ faces A1	0	0	0	1	0	2	0	0	1	0	0	10
	Σ faces A2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	10
	Σ faces B1	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	10
	Σ faces B2	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	10
	Media (%)	0	1,25	0	0,25	0	1,75	0	0	0,75	0	0	10

A) Sinais de deterioração (fungos e insetos); B) avarias provenientes de 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.

Entre os defeitos apresentados, todas as 10 amostras apresentam fibra reversa, que é uma característica da espécie de *Mora paraensis*. Para alguns fabricantes, esse tipo de fibra poderia inviabilizar a utilização dessa espécie como cruzetas de madeira para redes de distribuição de energia elétrica. O defeito mais grave foi visualizado na amostra de cruzeta número quatro, que apresentou uma depressão acentuada em sua estrutura (Figura 16).



Figura 16. Detalhe do defeito de depressão acentuada na amostra 4

5.2.4. Análise da resistência à flexão estática segundo a NBR 8458/2010

Segundo a ABNT NBR 8458/2010, as cruzetas de 2000 mm devem ser testadas com dois tipos de carregamento (nominal-400 daN e máximo excepcional- 560 daN), podendo atingir flecha máxima de até 100 mm e flecha residual máxima de até 3 mm, como apresentado na Tabela 4.

Todas as cruzetas testadas apresentaram valores de flecha muito abaixo do que é estabelecido pela NBR 8458/2010, ou seja, todas as amostras ensaiadas atendem ao requisito de deformação máxima exigida pela norma (Tabela 13).

A face que apresentou os maiores valores de flecha máxima foi a escolhida para ser levada até a ruptura. Nesse caso, a NBR 8458/2010 não estabelece nenhum critério para a escolha de qual seção transversal deve ser testada até a ruptura. Nos testes realizados, 50% (valores destacados- Tabela 13) das maiores deformações foram observadas na face B2, sendo essa a escolhida. Uma explicação possível da maior frequência de altas deformações nessa face seria a disposição em que os furos se encontravam no momento em que se aplicaram as cargas nominais e reais, ou seja, a presença de furos influencia negativamente na resistência dessas peças à deformação.

O valor mínimo de ruptura estabelecido pela NBR 8458/2010 equivale a 800 daN, correlato ao valor de F aplicado em cada uma das extremidades da amostra. Pela tabela 13, observa-se que as amostras 4 e 8 não atingiram esse valor mínimo requerido. A primeira amostra (cruzeta 4), apresentava defeito grave, como mencionado anteriormente, o que pode ter influenciado na baixa resistência observada. Já a amostra 8 de cruzeta não exibiu nenhum defeito grave visível, no entanto rompeu no momento em que se aplicou a carga de máximo excepcional, apresentando um comportamento inesperado se comparado com as outras amostras.

As demais cruzetas alcançaram os valores mínimos de ruptura, sendo que a maioria ficou muito próxima do limite. Apesar da madeira de *Mora paraensis* ser bastante resistente, sua resistência como cruzeta poderia ser melhorada caso as dimensões das seções transversais tivessem sido maiores, ou seja, em formato de retângulo como se recomenda a NBR 8458/2010.

Os valores de deformação residual em brancos na Tabela 13 não foram determinados por estarem muito instáveis ou muito baixos. Esse tipo de situação evidencia a fragilidade e dificuldade do teste de resistência mecânica estabelecido pela NBR 8458/2010. A montagem do teste para que duas forças sejam aplicadas simultaneamente na cruzeta e a necessidade de observação das deformações nas extremidades torna o teste trabalhoso e demorado.

Tabela 13. Resultados das deformações (flechas) e cargas mínimas de ruptura

Cruzeta 1	Força F (daN)		Face A1		Face B1		Face A2		Face B2		Mín. ruptura (daN)
	Nominal	Real	Flecha máx. (mm)	Flecha residual máx.(mm)							
F1-400	397		11,36	0,09	12,44	0,36	10,52	0,54	11,87	0,79	937
F2-400	397		9,86	0,37	9,64	0,10	10,15	0,12	9,90	0,08	
F1-560	559		15,56	0,59	16,41	0,26	15,05	0,88	16,72	1,09	
F2-560	559		14,04	0,33	14,35	0,40	14,30	0,24	14,30	0,05	
Cruzeta 2	Força F (daN)		Face A1		Face B1		Face A2		Face B2		Mín. ruptura (daN)
	Nominal	Real	Flecha máx. (mm)	Flecha residual máx.(mm)							
F1-400	397		12,91	0,55	13,34	0,39	11,64	0,65	12,63	-	863
F2-400	397		10,42	0,54	11,18	0,88	10,62	0,29	10,62	-	
F1-560	559		17,22	1,30	16,83	0,53	16,20	0,93	17,78	1,49	
F2-560	559		13,83	0,42	16,23	1,25	15,38	0,62	15,33	1,10	
Cruzeta 3	Força F (daN)		Face A1		Face B1		Face A2		Face B2		Mín. ruptura (daN)
	Nominal	Real	Flecha máx. (mm)	Flecha residual máx.(mm)							
F1-400	397		10,55	0,39	11,89	0,12	11,01	-	11,63	-	884
F2-400	397		10,62	0,69	9,85	0,47	9,54	-	8,26	-	
F1-560	559		15,12	0,82	15,41	0,44	15,64	0,36	16,26	1,32	
F2-560	559		14,20	1,48	13,97	0,82	14,12	0,78	12,48	0,06	
Cruzeta 4	Força F (daN)		Face A1		Face B1		Face A2		Face B2		Mín. ruptura (daN)
	Nominal	Real	Flecha máx. (mm)	Flecha residual máx.(mm)							
F1-400	397		16,80	0,34	15,85	0,04	17,43	-	18,18	-	729
F2-400	397		15,47	1,09	13,91	0,16	14,65	-	15,35	-	
F1-560	559		26,47	1,87	22,36	0,03	21,05	-	23,29	-	
F2-560	559		16,34	-	24,00	0,41	22,56	0,74	24,20	1,63	

Tabela 13. Resultados das deformações (flechas) e cargas mínimas de ruptura (continuação)

Cruzeta 5	Força F (daN)		Face A1		Face B1		Face A2		Face B2		Mín. ruptura (daN) 806
	Nominal	Real	Flecha máx. (mm)	Flecha residual máx.(mm)							
	F1-400	397	13,69	0,44	12,65	0,38	13,03	-	10,82	-	
	F2-400	397	11,97	0,30	9,55	0,04	10,27	-	11,52	-	
	F1-560	559	18,80	1,59	15,45	-	18,14	0,82	15,27	-	
	F2-560	559	15,59	-	14,40	0,39	15,27	0,70	16,32	1,39	
Cruzeta 6	Força F (daN)		Face A1		Face B1		Face A2		Face B2		Mín. ruptura (daN) 1024
	Nominal	Real	Flecha máx. (mm)	Flecha residual máx.(mm)							
	F1-400	397	11,54	0,13	11,55	0,17	12,05	-	12,70	-	
	F2-400	397	9,71	0,32	10,51	0,16	8,79	-	8,31	-	
	F1-560	559	15,92	1,29	15,23	-	16,37	0,95	17,23	1,73	
	F2-560	559	12,17	-	15,14	0,84	13,08	-	12,73	-	
Cruzeta 7	Força F (daN)		Face A1		Face B1		Face A2		Face B2		Mín. ruptura (daN) 918
	Nominal	Real	Flecha máx. (mm)	Flecha residual máx.(mm)							
	F1-400	397	11,37	0,05	12,61	0,39	12,42	-	13,26	-	
	F2-400	397	10,95	0,50	10,58	0,04	8,84	-	9,31	-	
	F1-560	559	15,54	0,78	16,76	0,32	16,83	-	18,08	1,01	
	F2-560	559	13,57	-	13,57	-	13,36	0,91	14,23	0,41	

Tabela 13. Resultados das deformações (flechas) e cargas mínimas de ruptura (continuação)

Cruzeta 8	Força F (daN)		Face A1		Face B1		Face A2		Face B2		Mín. ruptura (daN) 463	
	Nominal	Real	Flecha máx.	Flecha residual	Flecha máx. (mm)	Flecha residual	Flecha máx. (mm)	Flecha residual	Flecha máx. (mm)	Flecha residual		
F1-400	397		12,46	0,55	13,15	0,65	12,39	1,60	-	-		
F2-400	397		10,88	0,55	10,70	0,23	12,54	0,91	-	-		
F1-560	559		Fratura									
F2-560	559											
Cruzeta 9	Força F (daN)		Face A1		Face B1		Face A2		Face B2		Mín. ruptura (daN) 1015	
	Nominal	Real	Flecha máx. (mm)	Flecha residual máx.(mm)								
F1-400	397		11,57	0,18	11,36	0,44	10,99	-	10,84	-		
F2-400	397		9,61	0,70	9,66	0,12	10,43	-	10,27	-		
F1-560	559		15,91	0,59	15,97	0,69	15,47	0,06	15,13	-		
F2-560	559		14,21	0,39	13,82	0,13	14,89	0,34	14,55	0,88		
Cruzeta 10	Força F (daN)		Face A1		Face B1		Face A2		Face B2		Mín. ruptura (daN) 976	
	Nominal	Real	Flecha máx. (mm)	Flecha residual máx.(mm)								
F1-400	397		11,97	0,26	11,60	0,14	11,65	-	10,58	-		
F2-400	397		11,15	0,28	11,07	0,04	11,01	-	13,35	-		
F1-560	559		16,92	0,61	16,85	0,11	16,02	-	15,72	-		
F2-560	559		15,73	0,31	15,64	0,63	15,46	0,68	16,32	2,53		

A Tabela 14 traz um resumo das características mínimas como flechas máximas, mínimo de ruptura, % de defeitos, teor de umidade e medidas das amostras exigidas pela NBR 8458/2010 e NBR 8459/2011. Por esses requisitos, nenhuma das cruzetas seria aprovada. No entanto, quanto as exigências em relação ao teste mecânico, 80% das cruzetas atingiram o mínimo de ruptura (exceto as cruzetas 4 e 8) e nenhuma ultrapassou as flechas máximas requeridas.

Já em relação aos defeitos, nenhuma amostra apresentou imperfeição significativa que as invalidaria para ser usada como cruzeta. O teor de umidade de todas as cruzetas recebidas estava muito alto, acima dos 20% que a NBR 8458/2010 admite. Por fim, as medidas realizadas nos exemplares recebidos estavam, em sua maioria, fora do padrão mínimo estabelecido pela NBR 8459/2011, como pode ser observado pela Tabela 11.

Tabela 14. Resumo dos resultados das 10 cruzetas

Cruzeta	Flechas	Ruptura	Defeitos	Umidade	Medidas
1	✓	✓	✓	✗	✗
2	✓	✓	✓	✗	✗
3	✓	✓	✓	✗	✗
4	✓	✗	✓	✗	✗
5	✓	✓	✓	✗	✗
6	✓	✓	✓	✗	✗
7	✓	✓	✓	✗	✗
8	✓	✗	✓	✗	✗
9	✓	✓	✓	✗	✗
10	✓	✓	✓	✗	✗

Onde: ✓ - atende aos requisitos da NBR 8458/2010 e NBR 8459/2011;

✗ - não atende aos requisitos da NBR 8458/2010 e NBR 8459/2011.

5.3. Metodologias alternativas sugeridas ao teste da NBR 8458/2010

Os resultados dos módulos de elasticidade (MOE) calculados para os testes de flexão de 3 pontos, stress-wave e classificadora mecânica hidráulica, são apresentados na Tabela 15. Para fins de comparação, além desses valores, são apresentados os módulos de elasticidade calculados para o teste da NBR 8458/2010 (MOE_{ABNT} e MOE_{ABNT-M}) e o obtido pelos corpos de prova pequenos utilizados para a caracterização da espécie.

Tabela 15. Valores de MOE para os testes realizados

Cruzeta	MOE _{ABNT}	MOE _{ABNT-M}	MOE _{-3PTS}	MOE _{-S.WAVE}	MOE _{-HID}	MOE _{-PEQUENO}
1	112269	140185	111338	162106	139805	122135
2	109876	141486	105935	163192	111333	149623
3	122611	144718	114681	160605	117207	137203
4	103339	92972	80038	109448	83591	91016
5	116407	140091	102693	146855	120828	154001
6	109451	145251	108254	146855	101079	148299
7	109945	151783	110492	153599	104743	121458
8	106151	56574	-	158009	121516	124922
9	115943	138622	108585	158914	103111	132093
10	107522	136176	101920	136563	107761	156219

Não foi possível calcular o valor de módulo de elasticidade para o teste de flexão em 3 pontos (MOE_{-3PTS}) da amostra 8, tendo em vista que a houve ruptura momento em que era testada segundo a NBR 8458/2010 (Tabela 15). Na Figura 17, são apresentados os resultados para os “outliers” encontrados.

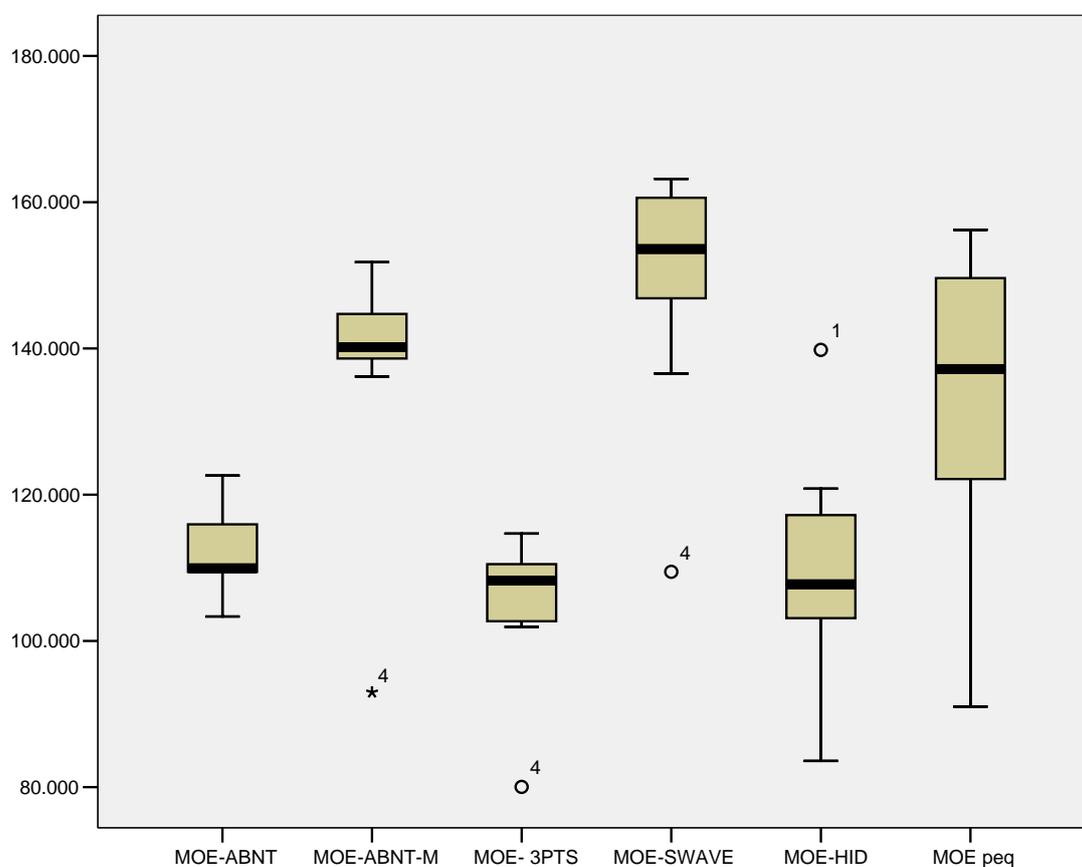


Figura 17. Resultado dos “outliers” para cada um dos testes

Os resultados encontrados como “outliers”, são aqueles considerados discrepantes da média dos resultados para cada um dos testes. Assim, para o MOE_{ABNT-M} , MOE_{3PTS} e $MOE_{S.WAVE}$, o valor de MOE calculado para a cruzeta 4 foi o mais discrepante. Para MOE_{HID} , a cruzeta 1 foi a que apresentou valor divergente. Para MOE_{ABNT} e $MOE_{PEQUENO}$, não foram encontrados outliers.

Após a eliminação dos valores encontrados, os resultados da análise estatística descritiva foram obtidos. Observando-se os resultados da Tabela 16, os valores de MOE calculados pelo método do stress-wave são os mais altos entre todos. Isso indica que mesmo o teste tendo sido realizado com amostras de cruzetas com furos, não houve interferência no tempo de passagem da onda. Isso é, a velocidade calculada por esse método não foi influenciada por esses “defeitos” já que os valores estimados de MOE foram os mais altos alcançados.

Tabela 16. Análise estatística descritiva para os diferentes testes

Tratamento	Média	N	Desvio padrão	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo	Máximo
MOE_{ABNT}	111351	10	5656	5,08	103339	122611
MOE_{ABNT-M}	132765	9	28931	21,79	56754	151783
MOE_{3PTS}	107987	8	4338	4,02	101920	114681
$MOE_{S.WAVE}$	154077	9	8946	5,81	136563	163192
MOE_{HID}	107907	9	11839	10,97	83591	121516
$MOE_{PEQUENO}$	133696	10	19953	14,92	91016	156219

Pelo valor-p da Tabela 17, pode-se afirmar que há diferença significativa entre os tratamentos. A magnitude das diferentes formas de se obter os valores calculados para MOE em cruzetas é observado no teste de Tukey, expresso na Tabela 18.

Tabela 17. Análise de Variância dos parâmetros de MOE dos diferentes testes

Parâmetro	Análise	SQ	GL	QM	F	Valor-p
MOE	Entre grupos	157150892	5	3143017851	12,359	0,00
	Nos grupos	124609393	49	254304885		
	Total	281760286	54			

SQ: soma dos quadrados; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio e F: valor de F calculado

Tabela 18. Teste de Tukey para os parâmetros de MOE dos diferentes testes

Tratamentos	N	Subconjunto para alfa= 0,05		
		1	2	3
MOE-HID	9	107908		
MOE-3PTS	8	107987		
MOE-ABNT	10	111351	111351	132765
MOE-ABNT-M	9		132765	133697
MOE-PEQUENO	10			154078
MOE-S.WAVE	9			
Significância		,997	,064	,066

Dessa forma, estatisticamente falando não há diferença significativa nas distintas formas de calcular o módulo de elasticidade para os métodos da classificadora mecânica hidráulica, flexão em 3 pontos e teste da ABNT. Ou seja, o teste sugerido pela NBR 8458/2010 poderia ser substituído por uma dessas duas formas, sem apresentar diferença estatística significativa nos resultados finais atingidos (para a espécie de *Mora paraensis*).

Dancey e Reidy (2006), estabeleceram que os valores de correlação de Pearson variando entre 0,10 e 0,30 são considerados baixos, 0,4 e 0,6 moderado e entre 0,7 até 1, alto. A maioria das correlações positivas obtidas é medianas, sendo que os parâmetros que apresentaram maior relação foram MOE_{S.WAVE} e MOE_{3PTS} (0,685). Já em termos de correlação negativa, os tratamentos MOE_{3PTS} e MOE_{PEQUENO} apresentaram as maiores correlações (-0,757) (Tabela 19).

Tabela 19. Resultado para a correlação de Pearson para os diferentes MOE

Parâmetros	MOE-ABNT	MOE-ABNT-M	MOE-3PTS	MOE-S.WAVE	MOE-HID	MOE-PEQUENO
MOE-ABNT	1	,436	,505	,306	,502	,385
MOE-ABNT-M	,436	1	,555	-,128	-,548	,288
MOE-3PTS	,505	,555	1	,685	-,1	-,757
MOE-S.WAVE	,306	-,128	,685	1	,21	-,608
MOE-HID	,502	-,548	-,1	,21	1	,617
MOE-PEQUENO	,385	,288	-,757*	-,608	,617	1

Assim sendo, as diferentes formas de se calcular o módulo de elasticidade nos diferentes tratamentos não apresentaram boa correlação entre si.

5.4. Discussão sobre a NBR 8458/2010

Ao realizar o teste mecânico sugerido pela NBR 8458/2010, algumas inconsistências foram observadas.

Primeiramente, a montagem do teste em si é bastante complexa, pois é necessária a confecção de uma “cabeça de carga” específica, na qual fique apoiada em ambas as extremidades de cada cruzeta, possibilitando a aplicação de cargas simultâneas em cada uma das faces das cruzetas. Não há especificação quanto a confecção dessa cabeça de carga na NBR 8458/2010. Dessa maneira, os custos para a execução do teste são elevados, além de demandar um maior tempo para ser executado.

Outra inconstância observada no teste proposto diz respeito à velocidade na qual o teste deve ser realizado. Mais uma vez não há nenhuma especificação quanto a esse aspecto, o que pode atrapalhar na execução do ensaio. Além disso, não é informada qual face deve ser levada à ruptura para se determinar a carga mínima de ruptura.

Foi verificado também dificuldade na medição das flechas (deformações) nas extremidades das cruzetas. A forma proposta não é muito prática por se ter a necessidade de observância simultânea de ambas as extremidades e a necessidade de 2 relógios comparadores. Além disso, é necessária a aplicação de uma carga inicial para que a cruzeta se “ajuste” à cabeça de carga, o que pode levar em erros na medição das deformações também. O tamanho das amostras a serem ensaiadas é outro fator limitante, tendo em vista que as cruzetas são de dimensão elevada, o que dificulta a execução do teste

Com os estudos realizados, ficou comprovado que é possível a simplificação em relação à metodologia aplicada para se determinar o MOE em cruzetas. No entanto, os resultados obtidos não são suficientes para se mudar o teste já proposto pela NBR 8458/2010, necessitando-se, assim, de mais estudos na área, com maior quantidade de espécies de madeira e com outros testes alternativos.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

- As 10 amostras de cruzetas não atingiram todas as exigências mínimas requeridas pela NBR 8459/2011 e 8458/2010. Deve-se considerar que as amostras testadas não foram bem fabricadas, sendo principal fator para a reprovação das amostras, que em sua maioria apresentaram medições inadequadas e teores de umidade elevados;
- Pelo teste mecânico realizado, conclui-se que a espécie testada apresenta boa resistência, o que não a desclassificaria para o uso como cruzeta. Sendo assim, a espécie de *Mora paraensis* apresenta as características mínimas para tal finalidade;
- Estatisticamente para a espécie estudada, pode-se substituir o teste recomendado pela NBR 8458/2010 por metodologias alternativas mais simples, sem alterações no resultado final obtido;
- Os testes que não apresentaram diferença estatística significativa foram a classificação mecânica hidráulica e a flexão estática em 3 pontos;
- Foi possível realizar a classificação físico-mecânica da espécie de *Mora paraensis* com o material disponível e os resultados obtidos serão publicados no Banco de Dados Madeiras Brasileiras do Laboratório de Produtos Florestais;
- Sugere-se o estudo de mais metodologias alternativas, com maior número de espécies, visando a simplificação do teste mecânico da NBR 8458/2010.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

BARBOSA, A.P. et al., Leguminosas florestais da Amazônia Central: Prospecção das classes de compostos presentes na casca de espécies arbóreas. **Revista Fitos**. v.1, n.3, p.47-57, 2006;

BORGES, C.C., Potencialidade do uso de cruzetas de madeira tratada, Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

BUSNARDO,C.A.; GONZAGA, J.V.; FOELKEL, C.E.B.; VESZ,J.B.V. Em busca da qualidade ideal da madeira do eucalipto para produção de celulose: IV., altura ideal de amostragem para avalizacao da densidade média para árvores de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, 36., 1987, São Paulo. **Anais**. São Paulo: Associação Brasileira de Celulose e Papel, 1987.p. 13-17.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS.- COPANT. **COPANT 460**: Método de determinação da umidade, COPANT, 1972c.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS- COPANT. **COPANT 461**: Método de determinação do peso específico aparente. 1972a.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS- COPANT. **COPANT 462**: Método de determinação da contração. COPANT, 1972e.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS- COPANT. **COPANT 463**: Método de determinação do cisalhamento. COPANT, 1972f.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS- COPANT. **COPANT 464**: Método de determinação da compressão paralela. COPANT, 1972g.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS- COPANT. **COPANT 465**: Método de determinação da dureza. 1972h.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS- COPANT. **COPANT 466**: Método de determinação da compressão perpendicular. COPANT, 1972i.

- COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS- COPANT. **COPANT 555**: Método de ensaio de flexão estática. COPANT, 1972j.
- COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS- COPANT. **COPANT 743**: Método de ensaio de tração perpendicular. COPANT, 1975.
- COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS- COPANT. **COPANT 744**: Método de ensaio de extração de pregos. COPANT, 1972
- COSTA,I.M.C., Teste e calibração da máquina para classificação mecânica de peças estruturais de madeira. PIBIC – Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica CNPq/IBAMA, 2007.
- CUNHA,A.B; MATOS,J.L.M.; Determinação do módulo de elasticidade em madeira laminada colada por meio de ensaio não destrutivo (“Stress-Wave Timer”), Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.34, n.2, p.345-354,2010.
- DALFRÉ,G.M, Cruzetas de polímeros reciclados: caracterização dos materiais, análise numérica e ensaios de modelos reduzidos, São Carlos, 2007.
- DUCKE, J.A. Notas sobre a flora Neotrópica II: As leguminosas da Amazônia Brasileira. In: **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte**. n. 18. 248p. 1949.
- DANCEY, Christine & REIDY, John. (2006), Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows. Porto Alegre, Artmed.
- FOEKL, C.E.B.; Brasil, M.A.M.; Barrichelo, L.E.G. 1971. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2/3: 67-74.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY FPL. Wood handbook: Wood as an engineering material. Washington: U.S.D.A., 1987. 466p. (Agriculture Handbook, 72).
- GONCALEZ, J. R. and A. Sundaram. 2005. No preservatives needed – environmentally safe Brazilian tropical hardwoods are evaluated for use as poles and crossarms. *Transmission and Distribution World* December, 2005, pp. 28-34.
- JUNIOR, L. S.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. *SCIENTIA FORESTALIS* n. 65, p. 120-129, jun. 2004
- KOLLMANN, F.F.P.; COTÊ, W.A. **Principles of wood Science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1968. v.1, 592p.
- LOUREIRO, A.A. e SILVA, M.F. **Catálogo das madeiras da Amazônia**. Belém, SUDAM, 2v.1968.

McCARTHY, F.J. 2005. Condition Assessment of Wooden Cross arms in 230 KV Transmission Structures. MAsc. Thesis, University of Waterloo, Waterloo, ON, Canada.

MCDONALD,K.A; FALK, R.H, PATTON-MALLORY,M., **Nondestructive testing of wood products and structures: state of the art and research needs.** Madison, USDA/ Forest Service/ Forest Products Laboratory, 1990, p.137-147.

MELO, J. E.; SIQUEIRA, M. J.; COSTA, A. F. Correlação entre Propriedades Físicas e Mecânicas de Madeiras da Amazônia. Anais do XI Encontro Brasileiro em Madeira e Estruturas de Madeira Londrina, PR. 2008. 12p.

MELO, J. E.; CORADIN ; V. H. Classes de Densidade Básica para Madeiras da Amazônia Brasileira. Anais do 6º Congresso Florestal Brasileiro, 1990. 10p.

MINA et al., **Avaliação não destrutiva de postes de madeira por meio do ultra-som,** Scientia Florestalis, n.65,p.188-196, junho 2004.

MIRANDA, Z.P., Aspectos morfológicos e ecológicos de *Mora paraensis* (Ducke) Ducke (Leguminosae- Caesalpinioideae). Macapá, 2009. 73p., il.

MISSOURI BOTANICAL GARDEN. Disponível em: <http://www.tropicos.org/NameDistributions.aspx?named=13000178>. Acesso em 19 de novembro de 2013.

PEREIRA, M. A., Confecção de móveis com a madeira de *Coffea arábica* L, Lavras: UFLA, 2008. 59 p.

REMADE, Revista da madeira. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/madeira_especies.php?num=412&title=&especie=Paracu%FABa/ Acesso em 2 de junho de 2014.

ROSS,R.J.;BRASHAW,B,K;PELLERIN R.F. Nondestructive evaluation of wood. **Forest Products Journal**, v. 48, n.1, p. 14-19, 1998.

ROSS,R.J. Using sound to evaluate standing timber: review. **Forest Products Journal**, p.43-44, 1999.

ROSS, Robert J.; Pellerin, Roy F. 1994. Nondestructive testing for assessing wood members in structures: A review. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-70 (Rev.). Madison, WI: U.S.Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 40 p.

ROSS, R.J; WANG,X; MATTSON, J.A; ERICKSON, J.R.; FORSMAN,J.W; GESKE, E.A; WEHR, M.A. Comparision of several nondestructive evaluation techniques for assessing stiffness and MOE of small diameter logs. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD, 12, Sopron, 2000. **Proceedings**. p. 155-163.

SILVA, A.C., **Madeiras da Amazônia: características gerais, nome vulgar e usos.** Manaus: SEBRAE, 2002. 237 p.

SOUZA, L.A.G., et al., **Informações botânicas, agronômicas e de potencial bio-econômico de 19 espécies Fabaceae Caesalpinioideae da região do baixo Rio Negro, Amazonas.** Editora do INPA. Manaus, 2008. 94 p.

TALLAVÓ, F.J., **New Methodology for the Assessment of Decayed Utility Wood Poles Using Ultrasonic Testing,** University of Waterloo, 2009.

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.; **Análise da Viabilidade Técnica e Econômica da Classificação Mecânica Não- Destrutiva de Madeira para fins estruturais.,** Trabalho Final de conclusão de curso, Universidade de Brasília, 2006.

THE WOOD DATABASE. Disponível em: <http://www.wood-database.com/lumber-identification/hardwoods/mora/> Acesso em 19 de novembro de 2013.

TSOUMIS,G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization.** New York: V.N. Reinold, 1991. 494 p.

VALE, A.T.; BRASIL, M.A.M.; MARTINS,I.S. **Variação axial da densidade básica da madeira de *Acácia mangium* Willd aos sete anos de idade. Ciência Florestal, Santa Maria, v.9, n.2, p.85-92, mar./abr. 1999.**

ANEXOS

Tabela 20. Resumo dos dados analisados- com outliers (SPSS)

	Valid		Cases Missing		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
MOE-ABNT	9	90,0%	1	10,0%	10	100,0%
MOE-ABNT-M	9	90,0%	1	10,0%	10	100,0%
MOE- 3PTS	9	90,0%	1	10,0%	10	100,0%
MOE-SWAVE	9	90,0%	1	10,0%	10	100,0%
MOE-HID	9	90,0%	1	10,0%	10	100,0%
MOE peq	9	90,0%	1	10,0%	10	100,0%

Tabela 21. Análise estatística descritiva (com outliers)

		Statistic	Std. Error
MOE-ABNT	Mean	111929,23	1892,592
	95% Confidence Interval for Mean		
	Lower Bound	107564,90	
	Upper Bound	116293,55	
	5% Trimmed Mean	111813,04	
	Median	109945,39	
	Variance	32237143,679	
	Std. Deviation	5677,776	
	Minimum	103339	
	Maximum	122611	
	Range	19273	
	Interquartile Range	7689	
	Skewness	,546	,717
	Kurtosis	,474	1,400
MOE-ABNT-M	Mean	136809,41	5685,605
	95% Confidence Interval for Mean		
	Lower Bound	123698,3	

	Interval for Mean	8	
	Upper Bound	149920,4 4	
	5% Trimmed Mean	138412,9 6	
	Median	140185,4 3	
	Variance	2909348 96,907	
	Std. Deviation	17056,81 4	
	Minimum	92972	
	Maximum	151783	
	Range	58811	
	Interquartile Range	7586	
	Skewness	-2,578	,717
	Kurtosis	7,305	1,400
MOE- 3PTS	Mean	104881,9 7	3387,375
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound 97070,67	
		Upper Bound 112693,2 7	
	5% Trimmed Mean	105717,7 6	
	Median	108253,8 7	
	Variance	1032688 12,136	
	Std. Deviation	10162,12 6	
	Minimum	80038	
	Maximum	114681	
	Range	34643	
	Interquartile Range	8609	
	Skewness	-2,128	,717
	Kurtosis	5,307	1,400
MOE- SWAVE	Mean	148681,8 0	5718,636
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound 135494,6 0	

		Upper Bound	161868,9 9	
		5% Trimmed Mean	150055,3 2	
		Median	153598,6 8	
		Variance	2943251 87,233	
		Std. Deviation	17155,90 8	
		Minimum	109448	
		Maximum	163192	
		Range	53744	
		Interquartile Range	19646	
		Skewness	-1,713	,717
		Kurtosis	3,157	1,400
MOE-HID		Mean	109939,8 1	5159,130
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	98042,84	
		Upper Bound	121836,7 9	
		5% Trimmed Mean	109744,4 8	
		Median	107761,2 8	
		Variance	2395496 15,513	
		Std. Deviation	15477,39 0	
		Minimum	83591	
		Maximum	139805	
		Range	56214	
		Interquartile Range	16923	
		Skewness	,384	,717
		Kurtosis	1,513	1,400
MOE peq		Mean	134671,9 0	6969,956
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	118599,1 5	
		Upper Bound	150744,6	

5% Trimmed Mean	135900,16	5
Median	137203,38	
Variance	437222597,445	
Std. Deviation	20909,868	
Minimum	91016	
Maximum	156219	
Range	65203	
Interquartile Range	30016	
Skewness	-1,132	,717
Kurtosis	1,211	1,400

Tabela 22. Valores extremos (com outliers)

			Case Number	Value
MOE-ABNT	Highest	1	3	122611
		2	5	116407
		3	9	115943
		4	1	112269
	Lowest	1	4	103339
		2	10	107522
		3	6	109451
		4	2	109876
MOE-ABNT-M	Highest	1	7	151783
		2	6	145251
		3	3	144718
		4	2	141486
	Lowest	1	4	92972
		2	10	136176
		3	9	138622
		4	5	140091
MOE- 3PTS	Highest	1	3	114681
		2	1	111338
		3	7	110492

		4	9	108585
	Lowest	1	4	80038
		2	10	101920
		3	5	102693
		4	2	105935
MOE-SWAVE	Highest	1	2	163192
		2	1	162106
		3	3	160605
		4	9	158914
	Lowest	1	4	109448
		2	10	136563
		3	6	146855
		4	5	146855
MOE-HID	Highest	1	1	139805
		2	5	120828
		3	3	117207
		4	2	111333
	Lowest	1	4	83591
		2	6	101079
		3	9	103111
		4	7	104743
MOE peq	Highest	1	10	156219
		2	5	154001
		3	2	149623
		4	6	148299
	Lowest	1	4	91016
		2	7	121458
		3	1	122135
		4	9	132093

Tabela 23. Valores de outliers para cada tratamento

Stem-and-Leaf Plots	
MOE-ABNT Stem-and-Leaf Plot	
Frequency	Stem & Leaf
1,00	10 . 3
4,00	10 . 7999
1,00	11 . 2
2,00	11 . 56
1,00	12 . 2
Stem width: 10000	
Each leaf: 1 case(s)	
MOE-ABNT-M Stem-and-Leaf Plot	
Frequency	Stem & Leaf
1,00	Extremes (<=92972)
2,00	13 . 68
4,00	14 . 0014
1,00	14 . 5
1,00	15 . 1
Stem width: 10000	
Each leaf: 1 case(s)	
MOE- 3PTS Stem-and-Leaf Plot	
Frequency	Stem & Leaf
1,00	Extremes (<=80038)
2,00	10 . 12
3,00	10 . 588
3,00	11 . 014
Stem width: 10000	
Each leaf: 1 case(s)	
MOE-SWAVE Stem-and-Leaf Plot	
Frequency	Stem & Leaf
1,00	Extremes (<=109448)
1,00	13 . 6
2,00	14 . 66
2,00	15 . 38
3,00	16 . 023
Stem width: 10000	
Each leaf: 1 case(s)	
MOE-HID Stem-and-Leaf Plot	
Frequency	Stem & Leaf
1,00	8 . 3
,00	9 .
4,00	10 . 1347
2,00	11 . 17
1,00	12 . 0
1,00	Extremes (>=139805)
Stem width: 10000	
Each leaf: 1 case(s)	
MOE peq Stem-and-Leaf Plot	
Frequency	Stem & Leaf
1,00	0 . 9
6,00	1 . 223344
2,00	1 . 55
Stem width: 100000	

Each leaf: 1 case(s)

Tabela 24. Resumo dos dados analisados- sem outliers (SPSS)

	Cases					
	Valid		Missing		Total	
	N	Percent	N	Percent	N	Percent
MOE-ABNT	7	70,0%	3	30,0%	10	100,0%
MOE-ABNT-M	7	70,0%	3	30,0%	10	100,0%
MOE- 3PTS	7	70,0%	3	30,0%	10	100,0%
MOE-SWAVE	7	70,0%	3	30,0%	10	100,0%
MOE-HID	7	70,0%	3	30,0%	10	100,0%
MOE peq	7	70,0%	3	30,0%	10	100,0%

Tabela 25. Análise estatística descritiva (sem outliers)

			Statistic	Std. Error
MOE-ABNT	Mean		113107,88	2036,911
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	108123,74	
		Upper Bound	118092,03	
	5% Trimmed Mean		112890,25	
	Median		109945,39	
	Variance		29043043,511	
	Std. Deviation		5389,160	
	Minimum		107522	
	Maximum		122611	
	Range		15089	
	Interquartile Range		6957	
	Skewness		,937	,794
	Kurtosis		-,033	1,587
MOE-ABNT-M	Mean		142589,63	1954,698
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	137806,65	

		Upper Bound	147372,60	
	5% Trimmed Mean		142435,23	
	Median		141485,70	
	Variance		26745903,454	
	Std. Deviation		5171,644	
	Minimum		136176	
	Maximum		151783	
	Range		15607	
	Interquartile Range		6629	
	Skewness		,780	,794
	Kurtosis		,598	1,587
MOE- 3PTS	Mean		107508,75	1682,991
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	103390,62	
		Upper Bound	111626,88	
	5% Trimmed Mean		107420,72	
	Median		108253,87	
	Variance		19827207,492	
	Std. Deviation		4452,775	
	Minimum		101920	
	Maximum		114681	
	Range		12761	
	Interquartile Range		7800	
	Skewness		,283	,794
	Kurtosis		-,358	1,587
MOE-SWAVE	Mean		152368,81	3585,501
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	143595,41	
		Upper Bound	161142,22	
	5% Trimmed Mean		152645,63	
	Median		153598,68	
	Variance		89990715,032	
	Std. Deviation		9486,344	

	Minimum		136563	
	Maximum		163192	
	Range		26629	
	Interquartile Range		13750	
	Skewness		-,595	,794
	Kurtosis		-,535	1,587
MOE-HID	Mean		109437,53	2796,430
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	102594,91	
		Upper Bound	116280,15	
	5% Trimmed Mean		109269,08	
	Median		107761,28	
	Variance		54740151,387	
	Std. Deviation		7398,659	
	Minimum		101079	
	Maximum		120828	
	Range		19749	
	Interquartile Range		14096	
	Skewness		,581	,794
	Kurtosis		-1,122	1,587
MOE peq	Mean		142699,43	4839,551
	95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	130857,47	
		Upper Bound	154541,38	
	5% Trimmed Mean		143128,43	
	Median		148298,77	
	Variance		163948774,712	
	Std. Deviation		12804,248	
	Minimum		121458	
	Maximum		156219	
	Range		34761	
	Interquartile Range		21908	
	Skewness		-,725	,794
	Kurtosis		-,710	1,587

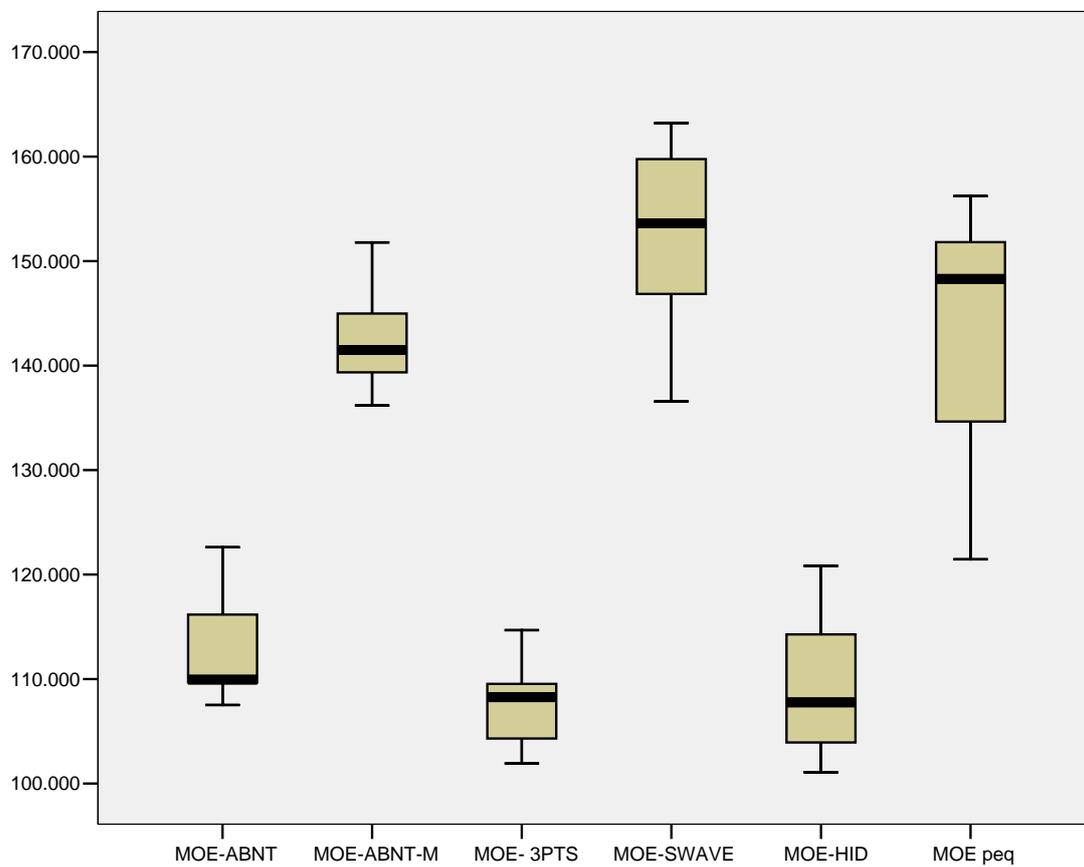


Figura 18. Resultados sem outliers

Tabela 26. Teste entre os tratamentos

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	15715089253,071(a)	5	3143017850,614	12,359	,000
Intercept	849393003512,832	1	849393003512,832	3340,058	,000
TRT	15715089253,071	5	3143017850,614	12,359	,000
Error	12460939381,912	49	254304885,345		
Total	885585653616,000	55			
Corrected Total	28176028634,982	54			