

POTENCIALIDADE DO USO DE CRUZETAS DE MADEIRA TRATADA NO BRASIL

Cilene Cristina Borges¹, João Carlos Moreschi²

¹Eng^a. Industrial Madeireira, M.Sc., UTFPR, Campus Dois Vizinhos, Dois Vizinhos, PR, Brasil - cilene@utfpr.edu.br

²Eng. Florestal, Dr., Depto. de Engenharia e Tecnologia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - moreschi@membracel.com.br

Recebido para publicação: 11/08/2010 – Aceito para publicação: 09/08/2011

Resumo

Neste trabalho, são apresentados dados relativos à potencialidade do uso da madeira de *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus dunnii* como cruzetas de madeira para redes de distribuição de energia elétrica. Os resultados apresentam o rendimento do processo produtivo para cada espécie, com análise dos ensaios mecânicos de flexão, estudo de penetração em tratamento com o preservativo arseniato de cobre cromatado (CCA) e discussão relativa a considerações econômicas e funcionais do material madeira. A espécie *Corymbia citriodora* apresentou o melhor rendimento, de 75%, seguido pelo *Eucalyptus cloeziana*, com 42%. A espécie *Eucalyptus dunnii* foi desclassificada, por apresentar um rendimento de apenas 7%. Os ensaios mecânicos demonstraram que tanto a espécie *Corymbia citriodora* quanto a *Eucalyptus cloeziana* atendem aos requisitos de resistência da norma técnica NBR 8458. No tratamento preservativo das cruzetas, observou-se penetração total de CCA no alburno da espécie *Corymbia citriodora*, o que, em conjunto com o cerne naturalmente resistente e o rendimento produtivo, classifica essa espécie como a mais indicada entre as estudadas. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que o uso de cruzetas de madeira é viável no Brasil, além de menos impactante ao meio ambiente, por se tratar de um recurso natural renovável.

Palavras-chave: Madeira tratada; cruzetas; resistência à flexão.

Abstract

Potenciality of treated wood crossarms use in Brazil. This paper presents data about the potential use of wood from *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus cloeziana* and *Eucalyptus dunnii* species as crossarm used on utility poles. Results presents the productive process efficiency of each specie, with mechanical properties analysis, a study of Chromated Copper Arsenate (CCA) preservative penetration in the wood and economic and functional considerations about wood as material. The *Corymbia citriodora* presented the highest performance, with a yield of 75%, followed by *Eucalyptus cloeziana*, with 42%. The specie *Eucalyptus dunnii* was disqualified due to a very low yield, of only 7%. The bending strength test revealed that *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus cloeziana* attended the resistance requirements of the Brazilian Standard NBR 8458/1984. There was total penetration of CCA in the sapwood of the specie *Corymbia citriodora* which, with its heartwood natural resistance and production efficiency, classifies this species as the best among the ones studied. Based on the results, it is possible to conclude that the use of wood as material to crossarms in Brazil is viable, and less harmful to the environment, since it is a natural and renewable resource.

Keywords: Treated wood; crossarms; bending strength.

INTRODUÇÃO

A busca por práticas que visem amenizar impactos ambientais têm se tornado cada vez mais constante no mundo globalizado dos tempos atuais. O uso de produtos naturais renováveis advindos de floresta plantada é uma das alternativas para atender a demanda tecnológica em um contexto de sustentabilidade.

O uso da madeira, além de ser ambientalmente correto, apresenta inúmeras vantagens inerentes ao próprio material. Entre elas, podem ser citadas a alta relação resistência mecânica por unidade de massa e as propriedades de resistência, tanto à tração quanto à compressão e flexão.

Entre os diversos usos possíveis do material madeira, encontra-se a utilização como cruzetas para linhas elétricas de transmissão, as quais podem ser conceituadas como “peças de madeira de eixo

sensivelmente retilíneo, sem emendas, destinadas a suportar condutores e equipamentos de redes aéreas de distribuição de energia elétrica”, de acordo com a NBR 8458 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1984).

Atualmente, os materiais mais utilizados para sua fabricação são madeira, concreto armado e aço (DALFRÉ, 2007). A fabricação e utilização de cruzetas de madeira são regidas pela NBR-8458, a qual contempla quase que exclusivamente espécies nativas conhecidas como madeira de lei e algumas espécies do gênero *Eucalyptus*, com a exigência de utilização de puro cerne.

Das espécies cuja utilização é permitida por lei, algumas praticamente não existem mais, como é o caso da aroeira (*Astronium urundeuva*), da braúna (*Melanoxylon brauna*), do sassafrás (*Ocotea pretiosa*) e da imbuia (*Ocotea porosa*). Outras têm, no mínimo, possibilidade de uso muito mais nobre, como o ipê (*Tabebuia sp.*), o roixinho (*Peltogyne sp.*), o jatobá (*Hymenea sp.*) e a maçaranduba (*Manilkara longifolia*).

Dentre as espécies exóticas, são permitidas apenas as espécies *Eucalyptus alba*, *Eucalyptus tereticornis* e *Corymbia citriodora*, desde que isentos completamente de alburno. Como em geral o cerne das madeiras se torna impermeável, a proibição do uso do alburno faz com que o uso de madeira tratada não seja contemplado pela norma citada, ainda que essa seja uma forma racional de diminuir a pressão de exploração sobre as essências nativas.

Visando diagnosticar espécies que potencialmente possam ser utilizadas como cruzetas de madeira, bem como avaliar a possibilidade do uso da madeira de alburno tratada, foram selecionadas para este trabalho três espécies: *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus dunnii*, as quais são utilizadas como exemplos para estudo, entre outras espécies plantadas que apresentam potencialidade para a finalidade de produção de cruzetas para serem utilizadas em linhas de distribuição ou mesmo transmissão de energia elétrica.

O objetivo geral do trabalho foi estudar a potencialidade do uso de cruzetas de madeira feitas das espécies citadas, no que concerne às características técnicas da madeira como material estrutural naturalmente resistente ou tratável, bem como às necessidades e potencialidades do setor de energia elétrica brasileiro.

Dentro desse contexto, os objetivos específicos propostos foram:

- calcular o rendimento da produção experimental de cruzetas para as três espécies propostas;
- avaliar as propriedades mecânicas de resistência à flexão estática concernentes aos esforços requeridos por cruzetas de madeira em linhas de distribuição;
- caracterizar a madeira de alburno das amostras quanto à capacidade de penetração de produto preservativo arseniato de cobre cromatado (CCA), visando classificá-las como material passível ou não de tratamento preservativo;
- realizar discussões sobre a viabilidade do uso da madeira tratada dentro do contexto econômico e do cenário de políticas públicas do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da matéria-prima

Deu-se preferência para a retirada sistemática de toras dentro do processo industrial, seguindo a seguinte prescrição: a cada dez toras, retirou-se uma, a qual foi utilizada no experimento. Quando a tora selecionada apresentava defeitos que inviabilizassem o seu uso, coletava-se a tora consecutiva, sendo a próxima retirada após um número de dez não coletadas.

Foi fixado como critério de seleção para todas as três espécies o diâmetro da tora, tendo sido as peças utilizadas no experimento retiradas de populações classificadas dentro da classe diametral $23,5 \pm 1,5$ cm. De cada espécie foram coletadas 12 amostras de árvores diferentes, exceção feita ao *Eucalyptus dunnii*, pois era previsto que tal espécie apresentaria perdas maiores que as outras.

Os fustes utilizados possuíam comprimento variado, mas todos tiveram sua dimensão reduzida a 2,5 m de comprimento, objetivando atender as necessidades dimensionais para manufatura de cruzetas de madeira. De cada árvore foi retirada sistematicamente apenas uma tora, a da base. O percentual de alburno de cada árvore foi variável, o que é comum, por tratar-se de um material de origem natural.

Nos casos de impossibilidade de retirada de amostras diretamente do processo industrial, foi feita coleta diretamente do plantio. Por dificuldades na obtenção de amostras de mesma idade, foram utilizadas amostras de idades diferenciadas.

Corymbia citriodora

As amostras de *Corymbia citriodora* utilizadas neste experimento foram provenientes da região de Santa Cruz do Rio Pardo ($22^{\circ}54' S$ e $49^{\circ}37' O$), estado de São Paulo, com as amostras tendo sido coletadas dentro do processo de produção da Empresa Madrat – Madeiras Tratadas Ltda., a partir de árvores com idade média de 18 anos. Buscando-se demonstrar que a restrição de “uso exclusivo da madeira de cerne”, contida na Norma NBR 8458, pode ser substituída por tratamento do alburno, foi dada preferência a toras mais finas, de tal forma que boa parte das cruzetas apresentasse material tratável.

Eucalyptus cloeziana

As amostras de madeira da espécie *Eucalyptus cloeziana* utilizadas para a fabricação de cruzetas foram provenientes de doze árvores de um talhão de 37 anos, com altura média de 40 m, localizado na propriedade da Flosul Indústria e Comércio de Madeiras Ltda., ao lado da rodovia RS 040, km 84, em Capivari do Sul ($30^{\circ}8' S$ e $50^{\circ}30' O$), estado do Rio Grande do Sul.

A espécie foi escolhida para o experimento por sua alta resistência mecânica e natural (cerne durável), apresentando potencialidade de uso tanto no setor elétrico quanto na construção civil.

Eucalyptus dunnii

As amostras de madeira da espécie *Eucalyptus dunnii* utilizadas no experimento foram obtidas de forma sistemática dentro do processo industrial, por meio da coleta de quinze toras de proveniência de uma área de produção de sementes de 23 anos, com árvores com altura média de 45 m, de propriedade da empresa Procopiak Compensados e Embalagens S.A., localizada em Canoinhas ($26^{\circ}10' S$ e $50^{\circ}33' O$), estado de Santa Catarina.

Embora a taxa de crescimento de árvores seja a maior responsável pela existência de tensões internas em toras de árvores de várias espécies florestais, essa espécie foi escolhida por se destacar pelo ritmo e vigor de crescimento, apresentar boa resistência mecânica e resistência a geada, o que possibilita a sua rápida produção em áreas mais frias do Brasil.

Desdobro das toras

Tendo em vista a necessidade de desdobra em tempo curto, para evitar rachaduras radiais devidas à secagem da superfície das toras, o desdobra das peças deu-se cada um em uma serraria diferente, na maioria dos casos na própria indústria de proveniência da respectiva madeira coletada. Tal medida foi tomada visando primar pela qualidade do material, que poderia ser comprometido por um desdobra retardado e também para minimizar os custos de transporte, que seriam consideravelmente superiores em função da massa adicional do material.

As peças foram desdobradas com as dimensões de 2,5 m de comprimento, 12 cm de altura e 10 cm de largura e receberam tratamento temporário, com a utilização de emulsão aquosa à base de 3-iodo 2-propinil butil carbamato (IPBC) a 0,1% de concentração, como medida de proteção temporária.

Todos os topes das peças foram selados com a utilização de selante à base de cola de silicone e receberam a colocação de conectores (*gangnails*), para prevenir rachaduras de topo durante o processo de secagem.

Corymbia citriodora

O desdobra dos segmentos de tora em cruzetas deu-se na empresa Madrat, com a utilização de uma serra fita simples não automatizada, com a qual foram feitos dois cortes. A partir daí as peças seguiram para uma serra circular simples, que completou os outros dois cortes necessários à obtenção do bloco.

Eucalyptus cloeziana

As árvores de *Eucalyptus cloeziana* amostradas são oriundas de experimentos da empresa colaboradora e representam a progênie dos plantios dessa espécie na fazenda da empresa Flosul. Como não houve a possibilidade de obtenção das toras dentro da indústria para o caso do *Eucalyptus cloeziana*, estas foram então amostradas em povoamento florestal local, segundo a sistemática prescrita pela Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT – 458, 1972a), com a retirada de 12 árvores. O desdobra das peças em cruzetas deu-se na Região Metropolitana de Curitiba, nas dependências da Serraria Dalprá, com a utilização de uma serra fita simples de carrinho para os dois primeiros cortes e uma serra circular simples para os outros dois cortes.

Eucalyptus dunnii

As amostras de madeira da espécie *Eucalyptus dunnii* foram obtidas de forma sistemática dentro do processo industrial, através de coleta de 15 toras da linha de produção, que se enquadrassem dentro das dimensões aceitas para a confecção de cruzetas.

O desdobro das peças deu-se na empresa Procopiak, com a utilização de uma serra fita dupla e uma circular múltipla em uma linha de produção totalmente automatizada.

Pré-secagem, usinagem do material, tratamento em autoclave e secagem

Pré-secagem

Durante cerca de seis (6) meses, as peças de madeira serrada passaram por pré-secagem natural até a proximidade do ponto de saturação das fibras (PSF), quando então foram conduzidas ao processo de usinagem, seguido por tratamento em autoclave. Essa etapa foi controlada com utilização de medidor de umidade do tipo Digsystem modelo DL 2000, configurado para 20 °C, com seleção da curva 1 HW e 2 HW (folhosas).

Usinagem

Sendo o teor de umidade ideal para o tratamento preservativo próximo do ponto de PSF e devido ao fato de que o processo de usinagem deve, preferencialmente, ser realizado antes do tratamento, para evitar problemas com resíduos tóxicos, o dimensionamento final das peças foi feito imediatamente antes que elas alcançassem o PSF, ou seja, antes que apresentassem fenômenos de contração devido à perda de água da parede celular.

Assim sendo, a madeira foi usinada com largura nominal de 100 mm e altura nominal de 120 mm, para posteriormente enquadrar-se às dimensões de largura e altura requisitadas pela Norma NBR 8459 (ABNT, 1984), de 90±2 mm e 112,5±2 mm, tendo em vista o material estar sujeito a contrações entre a umidade de usinagem (PSF) e a umidade final requisitada. Da mesma forma, foi feito ajuste no dimensionamento final de comprimento das peças para 2400±10 mm.

Os valores utilizados para o dimensionamento nessa condição se encontram na tabela 1, na qual estão contidos os valores de β_{tang} e coeficiente de retratibilidade para cada espécie.

Tabela 1. Dimensionamento.

Table 1. Sizing.

Espécie	β_{tang}	Coeficiente retratibilidade (%/%)	Dimensionamento					
			Largura (l)			Altura (h)		
			15%	0%	úmida	0%	15%	úmida
			l (mm)	l (mm)	l (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
<i>Corymbia citriodora</i>	9,50	0,32	90	85,5	94,1	106,8	112,5	117,6
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	10,09	0,34	90	85,5	94,1	106,8	112,5	117,6
<i>Eucalyptus dunnii</i>	14,80	0,49	90	83,3	95,7	104,2	112,5	119,6

Fonte: Borges (2008).

Para cálculo das dimensões no estado úmido, ou seja, antes de as peças alcançarem o PSF, foi fixado que a dimensão da norma equivaleria à dimensão com teor de 15% de umidade. A partir daí, aplicou-se o coeficiente de retratibilidade (CR) na madeira para calcular sua dimensão a 0% de umidade, de acordo com a equação:

$$D_{0\%} = D_{15\%} - D_{15\%} \times u \times CR \quad (1)$$

Em que: $D_{0\%}$ = dimensão da madeira a 0% de umidade;

$D_{15\%}$ = dimensão da madeira a 15% de umidade;

u = percentual de umidade dividido por 100;

CR = coeficiente de retratibilidade.

Com base na dimensão seca, foi calculada a dimensão úmida da madeira, para fins de dimensionamento, conforme a equação:

$$D_u = D_{0\%} + D_{0\%} \times u \times CR \quad (2)$$

Em que: D_u = dimensão ao teor de umidade em que a madeira se encontrava antes de atingir o PSF.

O dimensionamento das peças, bem como o processo de furação, foi realizado de acordo com a NBR 8459, no Laboratório de Usinagem da Madeira do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná, de acordo com o esquema da figura 1, em mm.

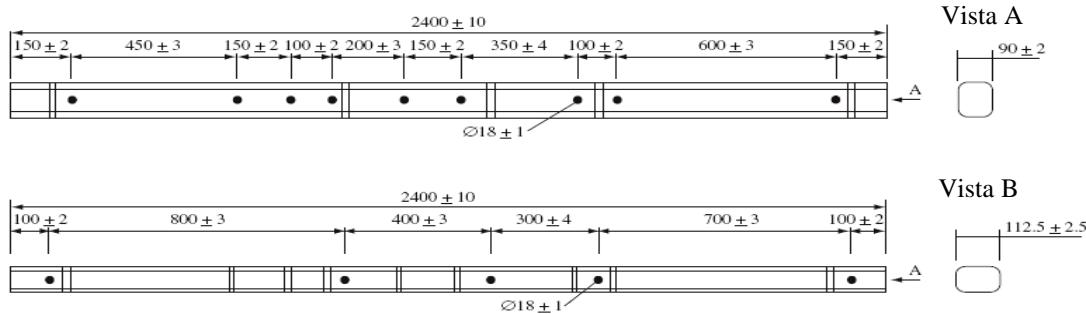


Figura 1. Dimensões das cruzetas (mm), segundo a NBR 8459.

Figure 1. Dimensions of crossarms (mm), according to NBR 8459 Standard.

Fonte: Borges (2008).

Tratamento

Realizado o dimensionamento final, as peças permaneceram em laboratório por mais alguns dias, seguindo depois para a empresa TW Madeiras, localizada na cidade de Ponta Grossa, PR, onde receberam tratamento em autoclave, com utilização de arseniato de cobre cromatado (CCA), em processo de célula cheia – Bethell –, a uma concentração de 6,5 kg/m³, de acordo com o programa ilustrado na figura 2, o qual é considerado padrão para as exigências de retenção no tratamento de cruzetas.

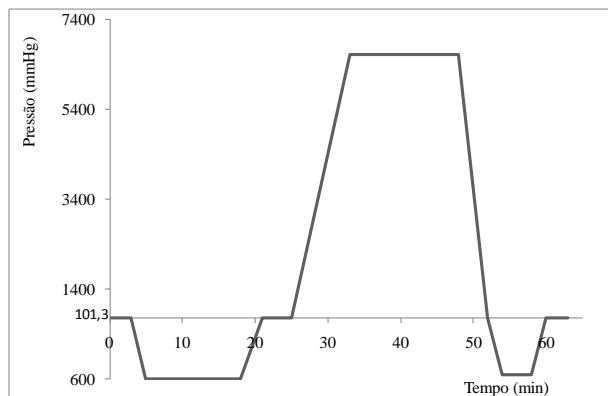


Figura 2. Programa de tratamento das cruzetas – processo Bethell.

Figure 2. Program of crossarms treatment – Bethell process.

Fonte: Borges (2008).

Secagem

Após a realização do tratamento em autoclave, as cruzetas de madeira foram empilhadas com separadores em local ventilado, no Laboratório de Biodegradação e Preservação da Madeira da Universidade Federal do Paraná, e assim permaneceram por 30 dias, para permitir que as reações químicas se completassem e ocorresse uma boa fixação do preservativo. Depois disso, foram colocadas em estufa, onde foi conduzida uma programação de secagem durante aproximadamente 72 horas, com temperatura média de 50 °C e redução gradativa da umidade relativa, para conduzir a madeira a 20% de umidade, conforme exigência da NBR 8458. A seguir, o material passou por um processo de homogeneização da umidade.

Após a secagem, conforme previsto nos cálculos de dimensionamento, a madeira enquadrava-se nas exigências de dimensionamento nominal da NBR 8459, e para maior acuidade dos resultados, foram levados em consideração os valores reais de dimensão de cada peça durante os ensaios mecânicos, haja vista que o dimensionamento exigido permite alguma variação.

Rendimento

O rendimento foi calculado com base na diferença entre o número de cruzetas obtido e o idealizado, ou seja, as peças de madeira que efetivamente se prestaram à construção de cruzetas utilizáveis.

Resistência mecânica

Ensaios de flexão estática

Foram realizados ensaios de resistência à flexão estática, de acordo com a NBR 8458, com três esforços iguais aplicados simultaneamente em cada face da cruzeta (Figura 3). Os corpos de prova possuíam tamanho real, tendo sido ensaiadas as quatro faces, sendo as flechas medidas no meio e a uma distância de 100 mm de ambos os topes da cruzeta.

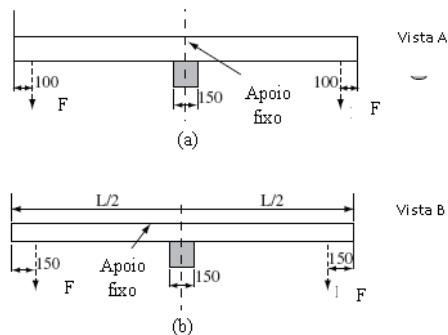


Figura 3. Detalhamento do ensaio de flexão estática.

Figure 3. Details of bending test.

Fonte: Borges (2008).

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira, do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR. A máquina de ensaio utilizada foi a da marca Tinius Olsen, para carga máxima de 4 toneladas-força, com velocidade de 5 mm/min e variação de carga de 0 a 833,3 daN para as faces de menor momento de inércia e 0 a 980,39 daN para as faces de maior momento de inércia, respectivamente. O registro de dados foi feito de forma manual para o primeiro deflectômetro e por meio de leituras automáticas para o deflectômetro acoplado ao sistema da máquina de ensaio.

Os valores foram estimados a partir de duas amostras de cada uma das espécies, as quais foram levadas à ruptura, para que fosse possível estimar o intervalo de deformação linear, a fim de obtenção dos valores de deformação e respectiva carga a 50% e 10% do esforço linear, para o cálculo da rigidez da madeira (E_{MO}).

Para determinação da resistência da madeira à flexão (f_M), sistematicamente, uma das faces de todas as amostras (face 3) foi levada à ruptura, para obter-se o esforço máximo. O mínimo de ruptura, por sua vez, foi obtido com as respectivas inferências de momento de inércia, na face 2 das amostras.

Para apresentação dos resultados, foi calculada a média das quatro faces da amostra, a qual é apresentada e discutida em comparação aos esforços exigidos para cruzetas de 2400 mm de comprimento, de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997).

Determinação da densidade aparente e umidade das amostras

A determinação da densidade aparente das amostras foi feita após a realização dos ensaios mecânicos, com amostras obtidas na proximidade da região de ruptura, para melhor representar as

características dessa região. Medições de volume e de massa foram realizadas em cada corpo de prova, e após o ensaio de ruptura, foi retirada uma amostra de cada corpo de prova, para determinação acurada do teor de umidade.

Após a obtenção de dados para cálculo da densidade aparente, as amostras passaram por determinação de umidade em estufa, a 103 ± 2 °C, até atingir peso constante, sendo a determinação do teor de umidade feito pela seguinte equação:

$$\%U = \frac{Pu - Ps}{Ps} \times 100 \quad (3)$$

Em que: Pu = massa úmida da madeira;

Ps = massa após secagem em estufa.

Ensaios de penetração (CCA)

Das cruzetas previamente tratadas e ensaiadas mecanicamente, foram retiradas amostras para análise de penetração do produto preservativo nas proximidades da região de ruptura, pela retirada de uma amostra transversal de 90 x 112,5 mm com 25 mm de largura, tomando-se o cuidado para que as amostras não recebessem influência da região de furação, onde a penetração longitudinal foi favorecida.

Os corpos de prova foram conduzidos ao Laboratório de Preservação da Madeira do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná para as devidas análises.

Os testes relativos ao grau de penetração de preservativos químicos foram feitos de acordo com a Norma A3-77 (AWPA), traduzida nos “Métodos de ensaios e análises em preservação de madeiras” do Instituto de Pesquisa do Estado de São Paulo (IPT) – DIMAD/1980 – Parte C (LEPAGE, 1980), via utilização de teste colorimétrico com cromoazul S, com pulverização abundante.

A execução deu-se por meio de pulverização de solução reativa na superfície transversal da amostra e avaliação das áreas onde o elemento cobre apresentou reação colorimétrica evidenciada, a qual foi medida com utilização de papel quadriculado, seguindo o princípio matemático de integração para obtenção de áreas irregulares.

Análises estatísticas

O número de corpos de prova (toras) coletados para confecção das cruzetas foi de 12 das espécies *Eucalyptus cloeziana* e *Corymbia citriodora* e de 15 para o *Eucalyptus dunnii*, num total de 39 peças. Tais valores foram avaliados quanto à representatividade em função do tamanho da amostra, de acordo com a seguinte equação:

$$N = \frac{z^2 \times p \times q}{e^2} \quad (4)$$

Em que: N = número necessário de corpos de prova;

z = desvio padrão para um nível de confiança de 95%;

p = menor proporção avaliada da amostragem piloto;

$q = 1 - p$. O erro admitido foi de 5%.

O número de corpos de prova necessário para representar cada uma das amostras foi calculado de acordo com a equação 4, e seus valores são apresentados na tabela 2. Tais quantidades atendem à exigência para representar as espécies dentro do grau de confiabilidade estabelecido (95%), firmando a significância dos resultados, haja vista todos os valores de número de corpos de prova necessários para representar as amostras serem inferiores ao número de corpos de prova coletados.

Os resultados dos ensaios mecânicos de flexão foram quanto à resistência nominal, máximo excepcional, mínimo de ruptura e flechas admitidas, tendo sido demonstrados os valores de desvio padrão da amostra e coeficiente de variação.

Tabela 2. Número de corpos de prova requeridos.
Table 2. Number of samples required.

Espécie	Z	P	q	N
<i>Corymbia citriodora</i>	0,475	0,10	0,90	8
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	0,475	0,03	0,97	3
<i>Eucalyptus dunnii</i>	0,475	0,10	0,90	8

Fonte: Borges (2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Percentual de rendimento das peças

A tabela 3 mostra o percentual de rendimento das peças. Nela pode-se visualizar que a espécie de maior rendimento foi *Corymbia citriodora*, com 75%, contra 42% para *Eucalyptus cloeziana* e 7% para *Eucalyptus dunnii*.

Em termos de perdas por defeito durante o processo de secagem, a espécie *Eucalyptus cloeziana* difere em apenas uma amostra da espécie *Corymbia citriodora* (25%), significando que as perdas nessa etapa foram 8,33% superiores para *Eucalyptus cloeziana* (33,33%). Entretanto, essa espécie apresentou problemas durante o desdobro, com perda de três toras, devido ao desenvolvimento de rachaduras, que se estendiam por quase toda a peça, a partir do centro do bloco principal.

Tabela 3. Rendimento da produção experimental de cruzetas.

Table 3. Experimental crossarms production yield.

Espécie	Total de amostras	Perdas durante o desdobro	Perdas por defeitos	Rendimento (%)
<i>Corymbia citriodora</i>	0,475	0,10	0,90	8
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	0,475	0,03	0,97	3
<i>Eucalyptus dunnii</i>	0,475	0,10	0,90	8

Fonte: Borges (2008).

Embora o rendimento da espécie *Eucalyptus cloeziana* tenha sido inferior a 50%, no que se refere a valores, ainda assim o processo pode se tornar viável, pois o valor do metro cúbico da madeira bruta é de R\$ 200,00, enquanto que o metro cúbico de cruzeta calculado com base na tabela 9 é de R\$ 2.195,00 (BORGES, 2008).

Devido ao excesso de rachaduras durante o processo de secagem, o material da espécie *Eucalyptus dunnii* utilizado nos experimentos apresentou um rendimento baixo, o que, aparentemente, inviabiliza sua utilização como material para produção de cruzetas, nessas condições.

Resistência à flexão estática

A NBR 8458 exige que as cruzetas de 2400 mm atendam a um esforço nominal de 400 daN, com máximo excepcional de 560 daN, mínimo de ruptura de 800 daN e flecha máxima de 115 e 163 mm, para o carregamento nominal e máximo excepcional. Na tabela 4 são apresentados os valores obtidos nos ensaios.

Comparando os valores da tabela 4 com as especificações da NBR 8458, nota-se que todas as amostras ensaiadas atendem aos requisitos mínimos especificados pela norma, no que diz respeito tanto à carga nominal quanto à mínima de ruptura, obedecendo também às deformações especificadas (flechas), as quais, em geral, foram até muito menores que as admitidas.

A face 3 de cada uma das amostras foi levada à ruptura e a carga mínima de ruptura não só atende aos requisitos como também é bastante superior em todos os casos, correspondendo, no mínimo, ao dobro do valor exigido, o que indica que o dimensionamento exigido pode ser reduzido ou que espécies de menor resistência também poderiam ser utilizadas.

Todas as cruzetas ensaiadas suportaram a carga estimada, com comportamento da deformação linear dentro dos valores estimados, ou seja, as cargas de 833,3 daN, para as faces 2 e 4, e 980,39 daN, para as faces 1 e 3, não ocasionaram ultrapassagem do limite proporcional de esforços.

A partir dos ensaios de flexão estática, foram calculados os valores da rigidez da madeira (E_{M0}) e

resistência da madeira à flexão (f_M), sendo os valores obtidos apresentados nas tabelas 5 e 6, tendo sido corrigidos para a umidade de 12%, de acordo com a NBR 7190.

Os valores obtidos para a resistência à flexão das amostras de *Corymbia citriodora* são todos superiores ao citado no guia “Madeira: uso sustentável na construção civil”, do IPT, de 121,4 MPa, determinados a 15% de umidade, o que pode ser verificado na tabela 6.

Os valores obtidos para a resistência à flexão e rigidez da madeira das amostras de *Corymbia citriodora* apresentaram coeficientes de variação e desvio padrão inferiores a 10% (Tabelas 5 e 6), indicando homogeneidade do material e boa qualidade da madeira dessa espécie para o propósito do uso em questão.

Tabela 4. Tabela de cargas e deformações das amostras submetidas ao ensaio de flexão estática.

Table 4. Table of loading and deformation of samples submitted to bending test.

Espécie	Amostra	Carga real (daN)	Flecha (mm)	Máxima excepcional (daN)	Flecha (mm)	Mínimo de ruptura (daN)	Mínimo de ruptura NBR (daN)	Diferença percentual (%)
<i>Corymbia citriodora</i>	CC1	402,5	5,0	563,6	6,8	2785,3	800,0	248,2
	CC2	403,5	6,1	562,7	8,3	3253,9	800,0	306,7
	CC3	403,0	5,2	562,9	7,2	3253,9	800,0	306,7
	CC4	404,3	5,0	564,6	6,9	3339,2	800,0	317,4
	CC6	403,4	5,4	563,5	7,4	3339,2	800,0	317,4
	CC7	402,7	6,1	565,3	8,4	2090,2	800,0	161,3
	CC9	403,6	5,4	565,0	7,5	2785,3	800,0	248,2
	CC11	403,7	5,8	563,9	8,0	2681,4	800,0	235,2
	CC12	402,9	4,4	565,8	6,1	3379,4	800,0	322,4
	Média	403,3	5,4	564,2	7,4	2989,8	800,0	273,7
	$\pm S$	0,6	0,6	1,1	0,7	436,4	0,0	54,6
	CV (%)	0,1	10,5	0,2	9,9	14,6	0,0	19,9
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	EC1	403,5	5,3	563,8	7,3	2644,1	800,0	230,5
	EC4	402,9	6,2	563,8	8,7	1761,8	800,0	120,2
	EC6	402,5	9,7	563,8	13,7	1621,6	800,0	102,7
	EC7	403,9	5,3	563,8	7,3	1991,2	800,0	148,9
	EC12	403,5	6,2	563,8	14,5	1864,7	800,0	133,1
	Média	403,3	6,5	563,8	10,3	1976,7	800,0	147,1
	$\pm S$	0,6	1,8	0,0	3,5	397,0	0,0	49,6
	CV (%)	0,1	27,9	0,0	34,1	20,1	0,0	33,7
*	ED8	403,1	6,3	562,4	8,7	2434,3	800	304,3

S: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; *: *Eucalyptus dunnii*.

Fonte: Borges (2008).

Para *Eucalyptus cloeziana*, em amostras de 17 anos de idade, Gonçalez *et al.* (2006) cita propriedades mecânicas de resistência à flexão estática a 12% de umidade de 101,2 MPa para a rigidez da madeira à flexão e 17,292 MPa para a rigidez da madeira.

Comparando a esses valores os módulos de ruptura calculados, tem-se que, mesmo para as amostras de menor resistência, os valores são superiores, o que é devido, provavelmente, à idade das amostras utilizadas na pesquisa, de 37 anos.

Quanto à rigidez da madeira, os valores foram também superiores, provavelmente pela mesma causa. Especificamente nas amostras EC6 e EC12, as quais apresentaram valores inferiores, foi identificada a presença de nós inclusos nas peças, o que certamente afeta a resistência da madeira.

Os valores de rigidez da madeira e resistência à flexão calculados para a espécie *Eucalyptus cloeziana* apresentaram maior variação, como pode ser observado pelos coeficientes de variação e desvio padrão dos valores das tabelas 5 e 6. Porém tais resultados poderiam ser mais uniformes em madeiras advindas de povoamentos cultivados especificamente para a finalidade em questão, com manejo para a produção de cruzetas.

Tabela 5. Variação da rigidez.
Table 5. Variation of stiffness.

Espécie	Amostras	Rigidez da madeira (EM0) corrigida para 12% (MPa)				Média
		Face 1	Face 2	Face 3	Face 4	
<i>Corymbia citriodora</i>	CC1	18 472	24 037	23 791	23 111	22 353
	CC2	24 190	24 531	23 284	21 976	23 495
	CC3	24 383	25 057	20 977	22 990	23 352
	CC4	22 927	20 791	24 785	22 837	22 835
	CC6	21 466	19 837	21 439	19 272	20 503
	CC7	18 904	20 554	20 282	19 245	19 746
	CC9	20 757	19 880	21 457	19 141	20 309
	CC11	19 999	22 590	20 918	21 062	21 142
	CC12	23 770	26 330	25 517	24 483	25 025
	Média	21 652	22 623	22 494	21 569	22 084
	± S	2 271	2 456	1 889	1 984	1 764
	CV (%)	10,5	10,9	8,4	9,2	8,0
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	EC1	22 833	23 165	18 741	26 528	22 817
	EC4	21 481	18 841	16 924	18 920	19 042
	EC6	12 262	11 991	12 862	11 898	12 253
	EC7	25 941	22 784	19 448	22 361	22 633
	EC12	13 056	13 145	13 337	12 093	12 908
	Média	19 115	17 985	16 262	18 360	17 931
	± S	6 117	5 243	3 035	6 404	5 116
	CV (%)	32,0	29,2	18,7	34,9	28,5
*	ED8	21 047	20 267	20 368	21 970	20 913

S = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; * = *Eucalyptus dunnii*.

Fonte: Borges (2008).

Tabela 6. Variação da resistência à flexão.
Table 6. Variation of modulus of rupture.

Espécie	Amostras	Resistência à flexão (fM) corrigida para 12% (Mpa)				Média
		Face 1	Face 2	Face 3	Face 4	
<i>Corymbia citriodora</i>	CC1	187	230	187	230	209
	CC2	252	319	252	319	286
	CC3	241	298	241	298	269
	CC4	229	281	229	281	255
	CC6	224	278	224	278	251
	CC7	150	187	150	187	168
	CC9	187	231	187	231	209
	CC11	188	239	188	239	214
	CC12	229	279	229	279	254
	Média	210	260	210	260	235
	± S	33	41	33	41	37
	CV (%)	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	EC1	185	239	185	239	212
	EC4	125	158	125	158	141
	EC6	115	144	115	144	129
	EC7	140	178	140	178	159
	EC12	145	182	145	182	163
	Média	142	180	142	180	161
	± S	27	36	27	36	32
	CV (%)	18,8	20,2	18,8	20,2	19,6
*	ED8	193	238	193	238	216

S: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; *: *Eucalyptus dunnii*.

Fonte: Borges (2008).

A determinação do teor de umidade em estufa demonstrou que as amostras tinham um teor de umidade superior ao requerido pela norma (Tabela 7), embora elas tenham passado por processo de secagem e acondicionamento. Mas do ponto de vista dos ensaios mecânicos, cabe ressaltar que a resistência mecânica é inversamente proporcional ao teor de umidade, ou seja, tendo as amostras apresentado a resistência requerida nessas condições, é dedutível que elas apresentariam um desempenho superior ao apresentado no teor de umidade no momento do ensaio.

O desvio padrão para os valores de umidade foi de 2,4% para a espécie *Corymbia citriodora* e de 1,3% para *Eucalyptus cloeziana*. Os resultados obtidos mostram que a variação dos valores em torno da média para *Corymbia citriodora* foi de 10,7%, e a de *Eucalyptus cloeziana*, de 5,8%, conforme tabela 7. Assim como nos casos anteriores, a amostra de *Eucalyptus dunnii* foi apresentada somente a título ilustrativo.

Na tabela 7 são apresentados também os valores de densidade aparente no teor de umidade em que foram realizados os ensaios mecânicos de flexão estática. Quando se observa a tendência de comportamento da curva dos valores de densidade aparente, nota-se a relação entre a rigidez e a resistência à flexão da madeira com esta propriedade, demonstrando a influência do teor de umidade sobre as propriedades mecânicas do material, haja vista ser a densidade aparente variável dependente da umidade.

As amostras da espécie *Eucalyptus cloeziana*, que apresentaram grandes coeficientes de variação percentual nas resistências calculadas através do ensaio de flexão, também podem ter seu comportamento explicado pela variação de densidade aparente dentro da amostragem.

Tabela 7. Variáveis que afetam as propriedades mecânicas da madeira.

Table 7. Variables that affect wood mechanical properties.

Espécie	Amostras	Desvio de grã (graus)	Umidade (%)	Densidade aparente** (kg/cm ³)
<i>Corymbia citriodora</i>	CC1	2,6	20,2	895,1
	CC2	2,0	27,0	988,6
	CC3	0,6	25,7	878,2
	CC4	2,3	21,4	858,4
	CC6	2,1	21,4	841,9
	CC7	1,9	22,2	817,9
	CC9	1,3	20,9	852,9
	CC11	0,9	22,4	803,0
	CC12	0,7	20,3	933,3
	Média	1,6	22,4	874,4
	± S	0,7	2,4	58,1
	CV (%)	46,7	10,7	6,6
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	EC1	0,6	20,6	843,5
	EC4	1,3	20,5	830,9
	EC6	0,3	22,0	679,2
	EC7	0,6	22,1	821,8
	EC12	0,6	23,6	664,7
	Média	0,7	21,8	768,0
	± S	0,4	1,3	88,2
	CV (%)	52,7	5,8	11,5
*	ED8	0,2	27,8	792,1

S: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; *: *Eucalyptus dunnii*; **: valores determinados ao teor de umidade da coluna ao lado.
Fonte: Borges (2008).

Penetração de tratamento preservativo

Com relação à avaliação de penetração do preservativo CCA, conforme esperado, não se observou penetração no cerne de nenhuma das espécies estudadas, o que está de acordo com as informações da revisão de literatura, pois autores afirmam que isso acontece, de modo geral, porque

embora o alburno seja relativamente fácil de ser impregnado, o mesmo não ocorre com o cerne, devido à sua impermeabilidade (NICHOLAS; SIAU, 1973; SANTINI, 1988; TAMBLYN, 1978), sendo essa a causa mais importante das diferenças de penetração dos preservativos no lenho (REIMÃO, 1972).

A maior impermeabilidade do cerne se explica pelas alterações anatômicas, físicas ou químicas que ocorrem durante as transformações do alburno em cerne (HUNT; GARRATT, 1967), sendo tais alterações acompanhadas pela morte da célula, acúmulo de substâncias e, ocasionalmente, desenvolvimento de tilos nos vasos (REIMÃO, 1972; PANSIN; ZEEUW, 1980; SANTINI, 1988).

Quanto ao alburno, a penetração pode ser avaliada somente para as cruzetas da espécie *Corymbia citriodora*, pois, para as outras espécies, as cruzetas foram fabricadas de puro cerne. No caso dessa espécie, foi observada boa penetração no alburno após reação colorimétrica com cromoazurol S, especialmente através dos vasos desobstruídos da madeira.

A penetração de CCA no alburno das amostras de madeira de *Corymbia citriodora* indica que a restrição da NBR 8458 ao uso exclusivo de cerne pode ser revista, abrindo com isso espaço para estudos sobre o aumento da longevidade do alburno quando sob tratamento e quiçá incentivando as empresas elétricas a realizarem novos estudos sobre a vida útil de cruzetas de madeira em serviço.

No que concerne à resistência natural das espécies, em primeira instância, o cerne e o alburno devem ser discutidos separadamente, por sua diferença fisiológica e de composição química.

O alburno não possui resistência natural, mas havendo permeabilidade, ele poderá ser tratado adequadamente. Quanto ao cerne, exceção feita a algumas espécies, em geral existe pouca ou nenhuma permeabilidade, mas algumas espécies apresentam resistência natural, advinda do processo fisiológico de transformação do alburno em cerne.

Para peças que contenham ambos os tipos de madeira, cerne e alburno, a durabilidade do material tratado é definida pelo alburno. Havendo permeabilidade do alburno para tratamentos preservativos, o mesmo deverá ser efetuado para garantir maior longevidade do alburno tratado, equiparando-a à longevidade natural da madeira de cerne.

Considerações econômicas e funcionais

Em nosso país, o uso de cruzetas e postes de madeira tem, historicamente, sido relegado a segundo plano, em meio a mitos alimentados pelo uso inadequado da madeira e interesses econômicos de grupos ligados às indústrias de artefatos de concreto.

No entanto, se confeccionadas com as espécies permitidas pela norma, ou com outras que possuam cerne como exigido por norma e alburno tratável, cruzetas de madeira não devem ter um ciclo de vida inferior ao de cruzetas de concreto, pois, em condições de clima tropical, são comuns as chuvas, o que acelera, devido à presença de umidade, o processo de carbonatação a partir da reação entre o gás carbônico, existente no ar, e os compostos alcalinos da rede de poros do concreto, fazendo com que cloretos atinjam a armadura das cruzetas e causem corrosão no metal.

No que concerne à massa, o material madeira possui uma relação resistência-massa muito boa quando a comparamos com a do concreto armado (Tabela 8), material mais utilizado para esse fim em nosso país. Ressalvas feitas à diferença de dimensão e de densidades por espécie florestal, pode-se, no mínimo, considerar uma diferença superior a 50%, ou seja, uma peça de madeira pesa menos da metade de uma de concreto armado.

Tabela 8. Variáveis para cálculo da diferença de massa entre as espécies utilizadas e o concreto armado.
Table 8. Variables to calculate mass difference among the species selected and reinforced concrete.

Material	Seção (mm)	Comprimento (mm)	Volume (m ³)	Massa (kg)	Dens. apar. (kg/m ³)		
<i>Corymbia citriodora</i>	90,0	x	112,5	2400	0,0243	21,25	874,4
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	90,0	x	112,5	2400	0,0243	18,66	768,0
<i>Eucalyptus dunni</i>	90,0	x	112,5	2400	0,0243	19,25	792,1
Concreto armado	90,0	x	115,0	2300	0,0238	59,51	2500,0

Fonte: Borges (2008).

A diferença de massa entre uma cruzeta de madeira e uma de concreto representa uma forte diferença no custo/tempo de instalação e custo de transporte das cruzetas, lembrando ainda que, em locais de acesso difícil, pela geografia do terreno, o uso de madeira é certamente o mais lógico e econômico.

Quanto ao custo, de acordo com os valores da tabela 9, o valor de uma cruzeta de madeira é

inferior ao de uma de concreto. Calculando a diferença percentual, temos que os valores de uma cruzeta de concreto são da ordem de 17 e 36% superiores ao valor de uma cruzeta de madeira de 2400 mm e 2000 mm, respectivamente.

Tabela 9. Preço de cruzetas por tipo de material.

Table 9. Price of crossarms by material type.

Material	Descrição	Valor
Madeira	Cruzeta de madeira 90x112,5x2000mm	45,35
	Cruzeta de madeira 90x112,5x2400mm	53,35
Concreto armado	Cruzeta de concreto 90x115x2100mm	62,00
	Cruzeta de concreto 90x115x2400mm	62,00

Fonte: Borges (2008).

Além disso, o Brasil é um país de vocação florestal e já é tempo de inovações culturais no sentido de valorizar a madeira como material estrutural, utilizando-o adequadamente, para que, dentro do cenário brasileiro, deixemos de observar que cruzetas, postes ou quaisquer outras estruturas de madeira comumente criticadas e normalmente mal utilizadas sejam substituídas por materiais menos adequados.

CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos, é possível concluir que:

- A espécie de maior rendimento na produção de cruzetas foi *Corymbia citriodora*, com 75% de rendimento.
 - Um dos defeitos mais comuns para a espécie *Corymbia citriodora* foram pequenas fendas desenvolvidas na superfície da madeira. A combinação de presença de nós, fibras revessas e rachaduras foi o fator determinante para a desclassificação de amostras dessa espécie.
 - O *Eucalyptus cloeziana* ficou em segundo lugar, com um rendimento de 42%, sendo que a espécie apresentou problemas durante o desdobro, com perda de 25% do material.
 - Durante o processo de secagem, o desenvolvimento de curvaturas (ou flechas) nas peças ao longo do eixo longitudinal foi o problema que teve maior repercussão para a espécie *Eucalyptus cloeziana*.
 - O material da espécie *Eucalyptus dunnii* utilizado nos experimentos apresentou um rendimento baixo, inviabilizando sua utilização como material para produção de cruzetas nesse caso.
 - No que concerne aos ensaios mecânicos de flexão estática, todas as amostras ensaiadas atingiram os valores exigidos pela NBR 8458 relativamente ao carregamento nominal, máximo excepcional, mínimo de ruptura e deformações especificadas (flechas).
 - Todas as cruzetas ensaiadas suportaram as cargas estimadas sem atingir o limite proporcional, superando assim o mínimo de ruptura exigido pela Norma NBR 8458.
 - Com relação ao ensaio de penetração, esta não foi observada no cerne de nenhuma das espécies.
 - Para a espécie *Corymbia citriodora*, cujas amostras possuíam alburno, foi observada boa penetração no alburno, especialmente através dos vasos.
 - Da discussão sobre cruzetas de diferentes materiais, conclui-se que o valor de uma cruzeta de madeira é inferior ao de uma de concreto ou aço e que a diferença de massa entre uma cruzeta de madeira e uma de concreto pode representar uma forte diferença no custo/tempo de instalação e no custo de transporte das cruzetas.
 - Com relação à potencialidade da utilização de cruzetas no Brasil, conclui-se que o uso da madeira tratada para estender a vida útil das aplicações de madeira por si só contribui para a diminuição do impacto exploratório de madeiras com alta durabilidade natural, e que esse aspecto, combinado com a utilização de madeira de reflorestamento, representa uma busca por um desenvolvimento tecnológico embasado em sustentabilidade e respeito ao meio ambiente.
- Após discussões e conclusões do presente trabalho, são deixadas as seguintes recomendações:
- Que sejam feitos novos estudos buscando-se mais espécies que possam atender a demanda do setor elétrico em substituição à grande maioria das espécies nativas apresentadas pela Norma NBR 8458, pois estas, em parte, já não estão disponíveis no mercado, e as que ainda existem são matéria-prima para a indústria de produtos de maior valor agregado, o que gera reflexos no custo da matéria-prima.
 - Aconselha-se que o fato de a madeira tratada não ser contemplada pela Norma NBR 8458 seja revisto

e que seja feito um estudo da possibilidade de alteração das especificações de cruzetas pelas entidades responsáveis, haja vista a existência de métodos eficientes para extensão da longevidade útil da madeira via tratamento.

- Sugere-se que o tema *uso da madeira tratada no setor elétrico e de construção civil* seja mais valorizado, e que os estudos e levantamento de dados sobre o tema sejam incentivados, a fim de que a madeira tratada venha a receber a devida valorização em nossa sociedade.
- Espécies plantadas no Brasil, especialmente as do gênero *Pinus*, apresentam pouco cerne e excelente permeabilidade a tratamentos preservativos no alburno, recomendando-se que sejam estudadas para a produção de cruzetas de madeira tratada. Outras espécies do gênero *Eucalyptus* que apresentem maior estabilidade dimensional, como *Eucalyptus grandis* ou híbridos desses, também devem ser testadas.
- Recomenda-se que novos ensaios sejam realizados com as espécies *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus dunnii* com madeira advinda de manejo mais adequado à produção de madeira sólida ou especificamente cruzetas, preferencialmente com idade inferior à utilizada neste trabalho.
- Também podem ser revistas as exigências de dimensionamento, buscando-se adequá-las à resistência mecânica das espécies, bem como a inclusão de cruzetas cilíndricas, visando aumento do rendimento produtivo das cruzetas de madeira, pois em ambos os casos haveria redução de custos no processo produtivo.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8458 - Cruzetas de madeira para redes de distribuição de energia elétrica.** Abril de 1984.
- _____. **NBR 8459 - Cruzetas de madeiras - Dimensões.** Abril de 1984.
- _____. **NBR 7190 - Projetos de estruturas de madeira.** Agosto de 1997.
- BORGES, C. C. **Potencialidade do uso de cruzetas de madeira tratada.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.
- COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS - COPANT - **458**, 1972a.
- DALFRÉ, G. M. **Cruzetas de polímeros reciclados:** caracterização dos materiais, análise numérica e ensaios de modelos reduzidos. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.
- GONÇALEZ, J. C.; BREDA, L. C.; BARROS, J. F. M.; MACEDO, D. G.; JANIN, G.; COSTA, A. F.; VALE, A. T. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, p. 329 - 341, 2006.
- HUNT, G. M.; GARRATT, G. A. **Wood preservation.** McGraw-Hill. 3. ed., 433 p. New York, 1967.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT)/DIMAD. **Métodos de ensaios e análises em preservação de madeiras - DIMAD/1980 - Parte C.** LEPAGE (Coord). Divisão de Madeiras. B-15, 1980.
- NICHOLAS, D. D.; SIAU J. F. Factors influencing the treatability of wood. In: NICHOLAS, D. D. **Wood deterioration and its prevention by preservative treatments.** v. 2. Syracuse, 1973. p. 299 - 343.
- PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Text book of wood technology.** New York, 1980. 722 p.
- REIMÃO, D. S. C. **Impregnação de madeira pelo processo de ascensão de soluções salinas.** Instituto de Investigação Agronômica de Angola. Série científica 9. Nova Lisboa, 1972. 18 p.
- SANTINI, E. J. **Biodeterioração e preservação da madeira.** CEPEF/FATEC. Santa Maria, 1988. 125 p.
- TAMBLYN, N. E. Preservation and preserved wood. In: HILLIS, W. W.; BRAWN, A. G. **Eucalyptus for wood production.** 1978. p. 343 - 352.
- ZENID, G. J. **Madeira:** uso sustentável na construção civil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), 2009. 99 p.