



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**FLAVIANE FLOR DE FARIA FREITAS**

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO REÚSO DE  
POSTES DE MADEIRA PARA OBTENÇÃO DE CRUZETAS**

CAMPINAS

2016

**FLAVIANE FLOR DE FARIA FREITAS**

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO REÚSO DE  
POSTES DE MADEIRA PARA OBTENÇÃO DE CRUZETAS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestra em Engenharia Agrícola, na área de concentração Construções Rurais e Ambiente.

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Raquel Gonçalves

Coorientador: Prof. Dr. Marco Tulio Ospina Patino

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À  
VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO  
DEFENDIDA PELA ALUNA FLAVIANE  
FLOR DE FARIA FREITAS, E ORIENTADA  
PELA PROF<sup>ª</sup>. DR<sup>ª</sup>. RAQUEL GONÇALVES.

CAMPINAS

2016

**Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s):** Não se aplica.

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura  
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

F884v Freitas, Flaviane Flor de Faria, 1984-  
Viabilidade técnica e econômica do reúso de postes de madeira para  
obtenção de cruzetas / Flaviane Flor de Faria Freitas. – Campinas, SP : [s.n.],  
2016.

Orientador: Raquel Gonçalves.

Coorientador: Marco Túlio Ospina Patino.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade  
de Engenharia Agrícola.

1. Linhas elétricas - Postes e torres. 2. Eucalipto - Aplicação industrial. 3.  
Resíduos vegetais. 4. Madeira de eucalipto. 5. Resíduos sólidos -  
Reaproveitamento. I. Gonçalves, Raquel, 1961-. II. Ospina Patino, Marco  
Túlio, 1960-. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia  
Agrícola. IV. Título.

#### Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Technical and economic feasibility of reusing wooden poles for the  
manufacture of crossarms

**Palavras-chave em inglês:**

Electric lines - Poles and towers

Eucalyptus - Industrial application

Vegetable waste

Eucalyptus wood

Solid waste - Reuse

**Área de concentração:** Construções Rurais e Ambiente

**Titulação:** Mestra em Engenharia Agrícola

**Banca examinadora:**

Raquel Gonçalves [Orientador]

José Luiz Pereira Brittes

Antonio Ludovico Beraldo

**Data de defesa:** 30-08-2016

**Programa de Pós-Graduação:** Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Flaviane Flor de Faria Freitas**, aprovada pela Comissão Julgadora em 30 de agosto de 2016, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

# FEAGRI

---

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Raquel Gonçalves – Presidente e Orientador**  
**FEAGRI/UNICAMP**

---

**Prof. Dr. José Luiz Pereira Brittes – Membro Titular**  
**FCA/UNICAMP**

---

**Prof. Dr. Antonio Ludovico Beraldo – Membro Titular**  
**FEAGRI/UNICAMP**

**Faculdade de**  
**Engenharia Agrícola**  
**Unicamp**

**A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica da discente.**

*Dedico esta dissertação aos meus filhos, Alice  
e Vitor.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, pela minha vida e pelas minhas conquistas.

Agradeço aos meus pais, Luiz e Nereide, por todo amor e carinho.

Agradeço ao meu marido Marcos, pelo companheirismo, apoio e dedicação à nossa família.

Agradeço às minhas irmãs, Elaine e Simone, e ao meu cunhado, Emerson, por todo o incentivo e apoio que sempre me deram, além do cuidado e carinho que dão para meus filhos.

Agradeço aos demais familiares e amigos, pela amizade e momentos de descontração ao longo desses três anos de trabalho.

Agradeço à minha orientadora, Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Raquel Gonçalves, pelos ensinamentos, orientação e por ter acreditado no meu trabalho.

Agradeço aos Prof. Dr. Marco Túlio, Prof. Dr. Beraldo, Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Gisleiva, Dr. Leandro Shiroma e amiga Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Cinthya, pelas orientações dadas em diversos momentos da minha pesquisa.

Agradeço aos amigos do LabEND da FEAGRI, pelas inúmeras ajudas que possibilitaram que meus ensaios fossem realizados e que meu trabalho fosse concluído.

Agradeço ao funcionário Paulo Nunes e a todos os alunos de iniciação científica que me ajudaram nos ensaios de laboratório.

Agradeço aos amigos da JGP, pelo incentivo.

Agradeço à Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL Energia, pelas informações prestadas, pelo material doado e pela bolsa de estudos de Mestrado.

*“A verdadeira origem da descoberta não está  
em descobrir novas paisagens,  
mas em criar um novo olhar”*

**Marcel Proust**

## RESUMO

No Brasil, os postes de madeira têm sido substituídos por postes de concreto, gerando grande quantidade de descarte de madeira tratada. O descarte de resíduos de madeira tratada, por conterem substâncias químicas impregnadas, é um problema complexo para as empresas de distribuição de energia elétrica, pois devem ser atendidos requisitos legais específicos de controle do uso e de disposição final. A presente pesquisa teve como objetivo avaliar, do ponto de vista técnico e econômico, proposta de reúso de postes tratados com CCA retirados da rede, para obtenção de cruzetas de madeira. Para os ensaios foram utilizados postes de madeira de eucalipto (*Corymbia citriodora* e outras espécies) que haviam sido retirados da rede. Análise inicial para inferência da resistência residual da madeira dos postes foi feita por ensaio de ultrassom. Dos postes inspecionados 61% apresentaram resistência residual compatível para o aproveitamento na fabricação de cruzetas e passaram por processo de corte e de desdobro. Todas as cruzetas fabricadas foram avaliadas utilizando critérios estabelecidos pela Especificação Técnica CPFL 2893 (2009) e pela norma NBR 8458 (2010). Das cruzetas de *C. citriodora* 79% foram aprovadas considerando os critérios de umidade, de densidade e de flexão estática. As cruzetas de outras espécies de eucalipto foram reprovadas nos ensaios de flexão estática. Para a análise econômica foram estudados quatro cenários para fabricação de cruzetas, definidos segundo alternativas de investimento (terceirização dos serviços ou produção própria) e segundo demanda por produção. Três dos quatro cenários estudados apresentaram vantagens econômicas (Valor Presente Líquido positivo e Taxa Interna de Retorno superior a 12%) e Tempo de Retorno do Investimento entre 3 e 9 anos. Os melhores indicadores financeiros foram obtidos pelos cenários que consideram a terceirização dos serviços de serraria. Estes resultados permitem concluir que o reúso de postes de madeira de *C. citriodora* na fabricação de cruzetas apresenta viabilidade técnica e econômica.

Palavras-chave: postes de eucalipto; madeira tratada; resíduos de madeira, reutilização.

## ABSTRACT

In Brazil, wooden poles are being replaced by concrete poles generating large amounts of discarded treated wood. The disposal of treated wood waste is a complex problem for the electricity distribution companies, since wood contains impregnated chemicals and must meet specific legal requirements to control the use and final disposal. This research aimed to evaluate, technically and economically, the reuse of utility poles treated with CCA to obtain cross-arms. The tests used were wooden poles of eucalyptus (*Corymbia citriodora* and others) from the mains. Preliminary analysis to infer residual strength of the wood from poles was made using ultrasound test. From inspected poles 61% had residual strength compatible for use as cross-arms and were submitted to cutting process. All cross-arms were tested according to criteria established by Technical Specification CPFL 2893: 2009 and Brazilian Standard NBR 8458 (2010). Considering moisture content ranges, density and bending test, 79% of *C. citriodora* cross-arms were approved. The cross-arms of other eucalyptus species were rejected in static bending test. In the economic analysis were studied four scenarios for cross-arms manufacturing, that were defined according to alternative investment (outsourcing or own production) and demand for production. Three of the four scenarios studied showed economic advantages (positive Net Present Value and Internal Rate of Return above 12%) and Payback period between 3 and 9 years. The best economic indicators were obtained by scenarios that consider outsourcing the sawmill services. These results allow to conclude that the reuse of *C. citriodora* poles to manufacture cross-arms shows technical and economical viability.

Keywords: eucalyptus utility poles; treated wood; wood waste, reuse.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dimensões e detalhes da cruzeta. ....	28
Figura 2 - Dimensões e detalhes da cruzeta .....	29
Figura 3 - Esquema estático para ensaios em cruzetas de 2000 mm de comprimento .....	30
Figura 4 - Esquema estático para ensaios em cruzetas de 2000 mm de comprimento .....	31
Figura 5 - Equipamento de ultrassom AGRICEF, USLab, Brasil. ....	35
Figura 6 - Ensaio de ultrassom nos postes na posição D1 vertical (a) e D2 horizontal (b). ....	36
Figura 7 - Corte dos postes para obtenção das toras consideradas em bom estado .....	37
Figura 8 - Pá carregadeira transportando as toras retiradas dos postes para serem desdobradas. .....	37
Figura 9 – Serra-de-fita (a) e carro porta-toras (b). ....	38
Figura 10 - Tora sendo colocada manualmente no carro porta-toras (a) e processo de retirada de costaneira (b).....	39
Figura 11 - Processo de desdobro (a) e corte transversal (b). ....	39
Figura 12 - Exemplo de cruzetas aprovadas com leves rachaduras e fendas: cruzeta 5.1 (a) e cruzeta 9.1 (b). ....	41
Figura 13 - Exemplo de cruzetas reprovadas por apresentarem graves rachaduras e fendas: cruzeta 4.2 (a) e cruzeta 10.2 (b). ....	41
Figura 14 - Exemplos de cruzetas reprovadas: cruzeta 13.1 (a) e cruzeta 15.6 (b).....	42
Figura 15 - Medição do teor de umidade da cruzeta.....	43
Figura 16 - Adaptação para o ensaio de flexão (a) e posicionamento do relógio comparador para a medição das flechas. ....	45
Figura 17 - Flecha em uma das extremidade da cruzetas durante carregamento até a ruptura.	45
Figura 18 - Total de cruzetas aprovadas por critérios de avaliação e por espécie de madeira.	70
Figura 19 - Total de cruzetas reprovadas por critérios de avaliação. ....	72
Figura 20 - Total de cruzetas de <i>C.citriodora</i> reprovadas por critérios de avaliação.....	72

Figura 21 - Fluxograma do processo de fabricação de cruzetas em uma fábrica construída para esta finalidade específica..... 85

Figura 22 - Mapa de processo – Terceirização dos serviços..... 89

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixas de velocidade radial para inspeção de postes de eucalipto da rede. ....	27
Tabela 2 - Cargas e deslocamentos verticais (flechas) admissíveis para cruzetas de madeira de 2000 mm, conforme estabelecido pela NBR 8458 (2010). ....	31
Tabela 3 - Cargas e deslocamentos verticais (flechas) admissíveis para cruzetas de madeira de 2000 mm, conforme Especificação Técnica CPFL 2893 (2009). ....	31
Tabela 4 – Pontos de medição ao longo do comprimento do poste, diâmetro do poste no ponto de medição, umidade do poste no ponto de medição, tempo de propagação de ondas de ultrassom, na direção radial, considerando duas posições radiais perpendiculares (T1 e T2), velocidades de propagação das ondas, considerando duas posições radiais perpendiculares (V1 e V2) e velocidade radial média. Poste 1. ....	54
Tabela 5 – Valores dos diâmetros ( $\phi$ em mm), dos pontos totais de medição (n), dos pontos de medições consecutivas com velocidades indicativas de boas condições do poste e o número de cruzetas retiradas do poste (N). ....	56
Tabela 6 – Número dos postes, espécie de madeira, posição do poste do qual foi retirada a cruzeta, nomenclatura das cruzetas retiradas e os respectivos valores de referência da seção transversal. ....	57
Tabela 7 – Resultado da análise visual das cruzetas. ....	59
Tabela 8 – Valores de teor de umidade obtidos em três pontos das cruzetas (U1, U2 e U3) e valor do teor de umidade médio (Umédio). ....	61
Tabela 9 – Comprimento, largura, altura (mm) das cruzetas e os respectivos valores excedidos (mm) em relação aos limites exigidos pelas normas. ....	63
Tabela 10 - Peso, comprimento, altura, largura e densidade das cruzetas*. ....	65
Tabela 11 – Exemplo da tabela obtida com resultados dos ensaios de flexão. Valores de deslocamentos verticais nas extremidades 1 (Flecha 1) e 2 (Flecha 2) para o carregamento nominal (4000 N) e excepcional (5600 N) e valores de carga de ruptura das cruzetas. ....	67
Tabela 12 - Exemplo da tabela obtida com resultados dos ensaios de flexão. Valores de deslocamentos residuais nas extremidades 1 (Flecha residual 1) e 2 (Flecha residual 2) para o carregamento nominal (4000 N) e excepcional (5600 N). ....	68
Tabela 13 - Retenção dos ingredientes ativos cromo, cobre e arsênio nas amostras, distribuição dos teores dos ingredientes ativos e os respectivos padrões de distribuição exigidos pela NBR 8456 (1984). ....	74

Tabela 14 - Classificação da amostra quanto ao tipo de resíduo, valores de concentração de substâncias excedidos e limites exigidos pela NBR 10004 (2004) considerando a lixiviação (Anexo F: Concentração – limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação) e a solubilização (Anexo G: Padrões para o ensaio de solubilização). .....	75
Tabela 15 - Volume total* dos postes ensaiados – base, meio e topo e volume total. ....	77
Tabela 16 - Volume das cruzetas aprovadas por teor de umidade, densidade e flexão, segundo critérios da Especificação Técnica CPFL 2893 (2009) e da NBR 8458 (2010). ....	78
Tabela 17 - Volume das cruzetas reprovadas por teor de umidade, densidade e flexão, segundo critérios da Especificação Técnica CPFL 2893 (2009) e da NBR 8458 (2010). ....	79
Tabela 18 - Quantidade (kg) e número dos postes de madeira retirados por EA no Estado de São Paulo no período 01/2011 a 05/2012. ....	82
Tabela 19 – Indicadores dos cenários. ....	90
Tabela 20 - Estimativa de produção de cruzetas (em unidades). ....	91
Tabela 21 - Estimativa de receita anual total (em reais). ....	92
Tabela 22 - Estimativa dos custos de produção anuais fixos e variáveis (em reais) e custo total anual (em reais). ....	93
Tabela 23 - Estimativa de investimento em máquinas e equipamentos (em reais), em obras civis e instalações (em reais) e custo de investimento total (em reais). ....	93
Tabela 24 - Indicadores financeiros Valor Presente Líquido – VPL (em reais) e Taxa Interna de Retorno – TIR (%) e Tempo de Retorno do Investimento (em anos). ....	94

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>20</b>
2.1 Objetivo geral .....	20
2.2 Objetivos específicos .....	20
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>21</b>
3.1 Introdução da Revisão.....	21
3.2 Gerenciamento de resíduos de madeira tratada.....	21
3.3 Reúso de postes de madeira.....	23
3.4 Avaliação da madeira por métodos não-destrutivos .....	26
3.5 Normas de aprovação de cruzetas de madeira .....	27
3.6 Viabilidade econômica do reúso de postes de madeira.....	32
3.7 Conclusões da Revisão.....	32
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>34</b>
4.1 Amostragem.....	34
4.2 Inspeção dos postes por ultrassom .....	34
4.3 Desdobro e corte dos postes.....	36
4.4 Ensaio de aprovação das cruzetas .....	40
4.4.1 Inspeção visual .....	40
4.4.2 Verificação dimensional .....	42
4.4.3 Determinação do teor de umidade.....	42
4.4.4 Determinação da densidade .....	43
4.4.5 Ensaio de flexão estática.....	44
4.5 Verificação da existência de produto preservativo residual.....	46
4.6 Análise do resíduo gerado no processo de fabricação de cruzetas .....	47
4.7 Estudo de viabilidade econômica .....	47

4.7.1 Fonte das Informações .....	47
4.7.2 Definição das alternativas de investimento para fabricação de cruzetas .....	48
4.7.3 Levantamento dos custos e receitas .....	49
4.7.4 Indicadores de rentabilidade .....	51
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>53</b>
5.1 Cálculo da Velocidade das Ondas de Ultrassom nos Postes .....	53
5.2 Avaliação das cruzetas segundo as Especificações Técnicas CPFL 2893 (2009) e CPFL 2900 (2009) e as normas NBR 8458 (2010) e NBR 8459 (2010) .....	58
5.2.1 Análise visual .....	58
5.2.2 Teor de Umidade das Cruzetas .....	60
5.2.3 Dimensões das Cruzetas .....	62
5.2.4 Densidade das Cruzetas .....	64
5.2.5 Resistência e flechas .....	66
5.2.6 Análise geral dos ensaios de aprovação das cruzetas .....	69
5.3 Análise química .....	73
5.4 Análise do resíduo gerado no processo de fabricação de cruzetas .....	76
5.5 Estudo de Viabilidade Econômica da proposta de reúso dos postes de madeira para obtenção de cruzetas .....	81
5.5.1 Condicionantes para a proposta de reúso de postes de madeira descartados .....	81
5.5.2 Análise da viabilidade de utilização dos postes, em termos de quantidade e demanda disponível para reúso .....	82
5.5.3 Cadeia atual de venda e descarte de resíduos .....	84
5.5.4 Descrição das alternativas de investimento .....	84
5.5.5 Cenários .....	90
5.5.6 Produção e receitas .....	91
5.5.7 Custos de produção .....	92
5.5.8 Indicadores de rentabilidade .....	93

<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>95</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXO 2.....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXO 3.....</b>	<b>129</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira, quando em cultivo sustentável, é um produto ecológico, biodegradável, com baixo requerimento energético para a produção, além de ser obtida de fonte renovável. Além disso, a madeira apresenta importante função de sequestro de carbono durante sua formação e de retenção de carbono durante todo seu ciclo de vida, exercendo função importante no combate ao aquecimento global. Desta forma, quanto mais tempo a madeira permanecer em uso, maiores serão os benefícios para a natureza, pois o carbono permanecerá fixado no produto.

A madeira é muito utilizada pela humanidade exercendo função fundamental na construção civil e em construções rurais. Para aumentar a resistência ao ataque por microorganismos e, conseqüentemente, aumentar a vida útil do produto, algumas aplicações necessitam que a madeira seja tratada com produtos preservativos. Existem vários produtos para os tratamentos químicos para a preservação da madeira, tais como o creosoto, pentaclorofenol, borato de cobre cromatado (CCB) e o arseniato de cobre cromatado (CCA). Contudo, quando a madeira tratada é descartada, as formas de reúso e de disposição final inadequada implicam em riscos de contaminação do meio ambiente.

No Brasil, atualmente os postes de madeira são comumente tratados com CCA. Nas últimas décadas estes postes têm sido substituídos por postes de concreto, gerando grande quantidade de madeira tratada descartada. Substâncias como arsênio, cobre e cromo conferem periculosidade aos resíduos, e, portanto, o resíduo pode ser considerado tóxico e classificado como pertencente à categoria Resíduos Classe I – Perigoso (segundo classificação da NBR 10004/2004: Resíduos Sólidos), no caso de apresentar um nível de concentração dessas substâncias acima do valor de referência da norma.

Resíduos de madeira tratada não podem ser queimados a céu aberto ou em fogões, churrasqueiras, fornos e caldeiras de baixa pressão. Seus usos também são restritos, não podendo ser reutilizados em aplicações nas quais tenham contato com alimentos e com água potável, e não podem também ser utilizados em cama para animais. A disposição final desse resíduo deve ser realizada somente em aterro específico devidamente licenciado por órgão ambiental.

Em geral, os postes de madeira retirados da rede de energia são vendidos para madeireiras e serrarias que processam o material e revendem para usos diversos, como na

construção de cercas, casas, estufas, pergolados, pontes, quiosques ou como bancos e banquetas. Na atual cadeia de revenda, esses resíduos apresentam baixo valor econômico agregado.

É importante ressaltar que se encontra em vigência no Brasil a *Lei Nº 12.305* que institui as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Essa lei dispõe sobre a destinação final de resíduos sólidos, bem como ao ciclo de vida de produtos, que inclui o reúso, a reciclagem, a recuperação, a transformação em insumos e/ou novos produtos visando evitar ou minimizar os impactos ambientais adversos. De acordo com essa Lei, são de responsabilidade das empresas os possíveis danos que vierem a ser provocados pelo gerenciamento inadequado dos resíduos ou rejeitos, mesmo que esse rejeito já tenha sido repassado a um terceiro (Título III, Capítulo III, artigo 27). Adicionalmente se menciona, nessa Lei, a logística reversa, que é constituída de instrumentos, ações e procedimentos que permitam a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reúso em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou ainda em outra destinação final ambientalmente correta (Título I, Capítulo II, artigo 3º).

Resultados de diagnóstico de resíduos sólidos gerados por uma empresa distribuidora de energia elétrica (Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento realizado em parceria entre a Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas e a CPFL Energia - PA 0037 – MATRIZ HIGH TECH DE REÚSO E DESCARTE LIMPO NA CPFL) apontaram que os resíduos provenientes de postes e de cruzetas de madeira são de grande importância para estudo de reúso ou de descarte limpo, devido ao volume e classificação (segundo norma NBR 10004, 2004) que esses resíduos apresentam.

Em atendimento aos requisitos legais, e considerando os riscos socioambientais, é importante que as concessionárias de energia elétrica adotem procedimentos que permitam melhorar a gestão do reúso e disposição final dos postes de madeira. Além disso, o reúso da madeira tratada com CCA dentro do ciclo produtivo da empresa pode resultar em vantagens ambientais e econômicas para a companhia.

Diversos estudos têm sido realizados no mundo buscando-se alternativas de reúso de madeira tratada com CCA, sendo as cruzetas de madeira um dos produtos que poderiam ser obtidos a partir desses resíduos. As cruzetas são utilizadas em grandes quantidades como meio de sustentação mecânica para isoladores e cabos de distribuição de energia elétrica,

podendo, portanto, serem utilizadas dentro da cadeia produtiva das empresas distribuidoras de energia elétrica.

Dentro deste contexto, a presente pesquisa estudou uma alternativa de reúso da madeira mais nobre e com melhores características mecânicas proveniente dos postes de madeira descartados para obtenção de cruzetas. Esta dissertação apresenta metodologia para fabricação de cruzetas a partir das partes íntegras dos postes de madeira de eucalipto tratado com CCA e descreve os resultados técnicos e econômicos obtidos com o uso desta alternativa de reúso de postes.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar, do ponto de vista técnico e econômico, a alternativa de reúso de postes tratados retirados da rede de energia elétrica para fabricação de cruzetas de madeira.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Definir metodologia para confecção de cruzetas a partir das seções dos postes tratados diagnosticadas, por ultrassom, como adequadas para reúso;
- Verificar se as cruzetas obtidas atendem às especificações técnicas mínimas definidas pelas normas de aprovação de cruzetas de madeira;
- Avaliar a porcentagem de madeira aproveitada para obtenção de cruzetas em relação ao volume total de madeira disponível;
- Realizar a análise econômica de quatro cenários para fabricação de cruzetas a partir do reúso de postes de madeira, adotando como estudo de caso a atual prática de venda e de descarte dos resíduos de madeira tratada da empresa CPFL Energia.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Introdução da Revisão**

É crescente a preocupação pelo uso de métodos eficazes de gestão de resíduos de madeira tratada, tendo como foco o reúso, a reciclagem e a remediação desses resíduos.

Apesar de o foco desta pesquisa ser restrito à utilização de madeira proveniente de postes retirados da rede elétrica, tratados quimicamente, para a confecção de cruzetas, neste capítulo apresenta-se, também, um panorama geral das pesquisas direcionadas ao reúso de postes de madeira, quer seja em uso direto, como o caso desta pesquisa, ou em compósitos, e, também, ao tratamento (remediação) da madeira, tornando-a mais adequada ao descarte. Esse panorama foi apresentado para que se tenha uma ideia geral das possibilidades existentes e já estudadas.

#### **3.2 Gerenciamento de resíduos de madeira tratada**

A geração de resíduo de madeira tratada quimicamente e a destinação final desses resíduos apresenta riscos de impactos ao meio ambiente quando tais resíduos não forem gerenciados de forma adequada.

Existem diversas formas de se realizar o gerenciamento de resíduos de madeira tratada com CCA. Nos Estados Unidos, esse resíduo é depositado inicialmente em aterros, sendo parte utilizada para geração de energia ou recuperação energética (JAMBECK et al., 2007). Solo-Gabriele e Townsend (1999) estudaram algumas opções de gerenciamento de resíduos de madeira tratada com CCA adotadas no estado da Flórida, Estados Unidos. De acordo com esses estudos, cinco tipos de ações para gerenciamentos desses resíduos são adotadas: minimização da geração do resíduo; reúso e reciclagem; recuperação de energia e /ou utilização como combustível; e, disposição final adequada. Dentre as alternativas de reaproveitamento, identificou-se o reúso para novas aplicações como postes, postes de guarda-corpo, mesas, caixas, e outros.

No Brasil, a gestão de resíduos de madeira deve atender as especificações da Resolução CONAMA 307/2002 e alterações (CONAMA 448/2012) referentes aos resíduos da

construção civil e de demolição. De acordo com essa legislação, deve ser priorizada a redução, o reúso e a reciclagem dos materiais descartados.

Resíduos de madeira tratada, por conterem substâncias químicas impregnadas, estão sujeitos às regras de controle de disposição de resíduos sólidos perigosos. Os resíduos de madeira tratada devem ser caracterizados segundo a norma NBR 10004 (2004): Resíduos Sólidos (ABPM, 2015).

A norma NBR 10004 (2004) classifica os resíduos sólidos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública. Substâncias como arsênio e cromo conferem periculosidade aos resíduos (conforme lista do Anexo C da norma referenciada), e, portanto, o resíduo pode ser considerado tóxico e classificado como pertencente à categoria Resíduos Classe I – Perigosos.

A norma NBR 10004 (2004) determina que para a classificação de resíduos sólidos sejam considerados os processos de produção e os componentes químicos, comparando-os com a lista de limites máximos de substâncias anexadas à norma, e que são consideradas tóxicas.

Considerando o processo de tratamento preservativo da madeira com CCA, “*os resíduos originados no processo de preservação da madeira, provenientes de plantas que utilizam conservantes inorgânicos contendo arsênio ou cromo*” apresentam periculosidade por serem considerados tóxicos (Anexo A: Resíduos perigosos de fontes não específicas da NBR 10004, 2004).

Além disso, um resíduo pode ser caracterizado tóxico se no extrato obtido no ensaio de lixiviação a concentração de arsênio e de cromo total forem superiores aos valores de  $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$  e de  $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$  (Anexo F: Concentração – limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação), respectivamente, ou ainda, se apresentar uma ou mais substâncias constante no anexo C (Substâncias que conferem periculosidade aos resíduos) da referida norma.

A Norma também estabelece que deve ser realizado ensaio para verificação se os resíduos classificados como não-perigosos possuem constituintes que são solubilizados em concentrações superiores às aquelas indicadas no Anexo G (Padrões para o ensaio de solubilização) da norma. Esse ensaio é realizado para classificação do resíduo não-perigoso (Classe II) em não-inerte (Classe II A) ou inerte (Classe II B).

De acordo com a legislação brasileira, resíduos de madeira tratada que não possam ser reaproveitados e que sejam classificados como resíduo perigoso devem ser encaminhados a aterro industrial Classe I (resíduo perigoso), devidamente licenciado pelo órgão ambiental competente.

É importante ressaltar que resíduos de madeira tratada não podem ser utilizados como combustível em fogões, lareiras, churrasqueiras, e nem podem ser queimados a céu aberto. Alternativas de recuperação de energia e de incineração também podem resultar em riscos ambientais devidos à emissão de gases atmosféricos e/ou de deposição das cinzas, quando não são utilizadas instalações adequadas, além de serem processos de custo elevado (PIAO et al., 2011).

A deposição em aterros inapropriados também apresenta riscos de contaminação do meio ambiente, uma vez que, por serem altamente resistentes à biodegradação, esses preservativos orgânicos apresentam riscos de lixiviação (MAI et al., 2004).

### **3.3 Reúso de postes de madeira**

Pesquisadores têm identificado que postes de madeira descartados da rede de energia elétrica podem apresentar características mecânicas adequadas para reúso em outros usos (COOPER 1996; MUNSON e KAMDEM, 1998; LI et al., 2004; LEICHTI et al., 2005; CLAUSEN et al., 2006).

Uma quantidade significativa de postes de madeira descartados poderia ser utilizada em outras aplicações, após testes e retratamento, podendo trazer benefícios econômicos e ambientais, como a redução da necessidade de novos cortes de árvores, a redução dos riscos de contaminação do meio ambiente, a redução do potencial risco de passivo ambiental, a recuperação de parte do valor remanescente de postes desativados, e a redução dos custos de disposição final adequada (KING e LEWIS, 2000; PIAO e MONLEZUN, 2010; PIAO et al., 2011).

O reúso de postes descartados depende da resistência residual da madeira, a qual é afetada pelo tempo de serviço, pelo tipo de preservativo, pela qualidade do tratamento preservativo, assim como pela espécie, idade e taxa de crescimento da árvore (PIAO et al., 2011). A fabricação de produtos de madeira processada provenientes de postes descartados da rede de energia elétrica, tais como mourões, postes de dimensões menores e madeira para

paisagismo, se mostra uma oportunidade para reduzir o descarte de material (KING e LEWIS, 2000).

A determinação da resistência residual da madeira a ser reutilizada é importante para a qualidade do reuso ou da reciclagem da madeira tratada (PIAO et al., 2011).

Cooper et al. (1996) estudaram a viabilidade de reuso ou de reciclagem de postes ou de partes de postes para obtenção de produtos de madeira. Foram estudados 456 postes retirados de serviço em Ontario e em Quebec, no Canadá, de diferentes espécies de madeira tratadas com diversos produtos preservativos (creosoto, pentaclorofenol e CCA). As seções dos postes foram caracterizadas por tipo de tratamento preservativo, por comprimento, por diâmetro superior e inferior, por existência de dano mecânico, por extensão da podridão, e outros. Também foram determinadas as resistências residuais dos postes. Para isso, foram retiradas amostras de 25 mm × 25 mm × 400 mm e que ficaram acondicionadas a 12% de umidade e que, posteriormente, foram submetidas a ensaios de flexão segundo norma específica. Resultados indicaram que 35% do volume dos postes poderiam ser convertidos em produtos de madeira serrada para diferentes usos com comprimentos entre 2,5 m e 5 m; 15% poderiam ser reutilizados para a produção de telhas de madeira (“*shingles*” ou “*shakes*”); 20% como outras peças de madeira roliça (“*round posts*”) e 8% poderiam ser reutilizados como postes de menor comprimento, sem necessidade de se efetuar o reprocessamento da madeira.

Piao et al. (2011) avaliaram a viabilidade técnica do reuso de postes de madeira descartados, tratados com pentaclorofenol, para outros produtos industriais. Foram estudadas as propriedades físicas e mecânicas e a retenção e distribuição do pentaclorofenol nos postes de madeira (*Southern pine*). Um total de 15 postes tratados foram avaliados quanto à retenção do pentaclorofenol, e quanto à resistência (MOR) e à rigidez (MOE). Em relação às propriedades mecânicas, os resultados dessa pesquisa apontaram que as médias de MOR e MOE dos 15 postes estudados foram de 33,7% e 68,1% inferiores, respectivamente, aos valores referentes ao MOR e ao MOE de madeira nova da mesma espécie.

Leichti et al. (2005) estudaram a resistência residual de postes descartados, da espécie Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii*), tratados com pentaclorofenol e creosoto. Os resultados apontaram que a resistência à flexão (MOR) e a rigidez dos postes de madeira (MOE) eram 10% inferiores quando comparados com aqueles da madeira nova e não tratada.

A cruzeta de madeira é um dos produtos que podem ser obtidos a partir de postes de madeira descartados. Piao e Monlezun (2010) avaliaram a resistência à flexão e a rigidez

de seis composições de cruzetas, sendo quatro de cruzetas laminadas (provenientes de madeira nova (*Southern pine*), de postes descartados tratados com CCA e de postes tratados com CCA retratados com pentaclorofenol, e duas de cruzetas maciças (uma de madeira nova e outra obtida a partir de postes descartados tratados com CCA). Todas as composições de cruzetas testadas atenderam às exigências mínimas de resistência do American National Standards Institute – ANSI, exceto o grupo de cruzetas maciças obtidas a partir de postes descartados, que apresentaram MOR inferior ao desejável. Os resultados da pesquisa apontaram que as características de resistência das quatro cruzetas laminadas testadas não eram significativamente diferentes da resistência de cruzetas de madeira nova comercializáveis.

O resíduo de madeira tratada com CCA apresenta potencial para reuso em produtos compósitos de madeira (FELTON e GROOT, 1996; VICK et al., 1996; MUNSON e KAMDEM, 1998; ROLIADI et al., 2000; KAMDEM et al., 2004), tais como *Medium Density Fiberboard* (MDF) and painéis de *Particleboard* (PB) (OBATA et al., 2006; BERTOLINI et al., 2014), podendo ser alternativa viável economicamente, pois se tratam de produtos de alto valor agregado. De acordo com Munson e Kamdem (1998) e Vick et al. (1996), a fabricação de compósitos de madeira a partir de madeira tratada é uma opção viável para a produção de tapumes, de revestimentos ou de pisos.

Outras opções estudadas para a reciclagem de madeira tratada com CCA são os compósitos de madeira-cimento (FELTON e GROOT, 1996; HUANG e COOPER, 2000; GUTKOWSKI et al., 2011) e compósitos de madeira-polímero (KAMDEM et al., 2004; GEZER, et al., 2016).

É importante ressaltar que questões ambientais e de saúde pública devem ser consideradas dentre as alternativas de reciclagem e de uso de resíduos de madeira com CCA (FELTON e GROOT, 1996).

Muitas alternativas de reciclagem de resíduos de madeira tratada com CCA necessitam que a madeira esteja livre de preservativos químicos. Com o objetivo de tornar os resíduos de madeira com CCA mais apropriados ao reuso, diversos métodos de remediação têm sido estudados, incluindo-se os processos de extração química, biorremediação, remediação eletrodialítica e pirólise controlada (HELSEN et al., 1998; MAI et al., 2004; HELSEN e BULCK, 2005; HELSEN e HACALA, 2006; NANSEU-NJIKI et al., 2007; JANIN et al., 2009).

### 3.4 Avaliação da madeira por métodos não-destrutivos

A avaliação não destrutiva é importante ferramenta para caracterização da madeira, e pode ser utilizada na indústria para melhor controle da qualidade dos produtos.

Os ensaios não destrutivos consistem em técnicas utilizadas para caracterização, classificação e inspeção de materiais sem danificá-los. Em inspeções de estruturas de madeira geralmente são utilizadas, de forma conjunta e complementar, análise visual, ensaios de propagação de ondas (ondas de tensão ou ultrassom) e resistência à perfuração.

No caso das técnicas de propagação de ondas aplicadas à madeira, em geral a associação com a resistência mecânica é realizada utilizando-se a propagação de ondas na direção do esforço que se deseja avaliar. No caso de postes, a flexão é o esforço mais significativo, fazendo com que haja um lado sujeito a esforços de compressão e outro a esforços de tração, ambos na direção das fibras (longitudinal). Assim, correlações com resistência deveriam ser realizadas considerando a propagação de ondas na direção longitudinal. No entanto, sabe-se que a resistência residual dos postes está diretamente relacionada com sua condição interna de deterioração. Por essa razão, em pesquisas desenvolvidas pelo grupo de pesquisa em Ensaios Não Destrutivos da FEAGRI/Unicamp, em parceria com a CPFL Energia (Projeto P&D 121 – Inspeção de materiais e estruturas da rede por ultrassom; e, Projeto P&D 133 – Gestão Global – Classificação e monitoramento – de postes das linhas aéreas), a metodologia de inspeção de postes propostas envolve o uso de ensaios de ultrassom na direção radial, ou seja, na direção transversal do poste de madeira (casca-medula-casca).

Durante o desenvolvimento da pesquisa P&D 121 foi determinada a resistência residual limite para a permanência de postes na rede e, com base nessa velocidade limite, foi determinada a correlação entre a velocidade de propagação de ondas de ultrassom, obtidas na direção radial, e o módulo de ruptura (MOR) do poste obtido no ensaio de flexão. Um dos resultados da pesquisa consistiu na determinação de faixas de velocidade radial de propagação das ondas, que classificassem os postes de madeira quanto à sua resistência mecânica residual (Tabela 1). Essa classificação foi proposta como ferramenta de tomada de decisão em relação a manter os postes na rede ou retirá-los, levando-se em consideração a resistência residual associada aos riscos de queda destes. Os resultados mostraram que a aplicação desta

ferramenta tecnológica foi muito mais eficaz para diagnosticar a resistência residual dos postes do que o uso da comumente utilizada, envolvendo uso de martelo.

Tabela 1 - Faixas de velocidade radial para inspeção de postes de eucalipto da rede.

<b>Velocidade radial (m/s)</b>	<b>Tomada de decisão</b>
$V_R < A$	Poste a ser retirado da rede
$A \leq V_R < B$	Poste em estado razoável com resistência mecânica ainda aceitável
$B \leq V < C$	Poste considerado em bom estado
$V \geq C$	Poste considerado em muito bom estado

Fonte: Relatório Projeto P&D 121 - Inspeção de materiais e estruturas da rede por ultrassom. As faixas de velocidade não podem ser divulgadas, pois são parte de acordo de confidencialidade entre UNICAMP e CPFL Energia, que resultou em equipamento de ultrassom desenvolvido para a inspeção de postes de madeira.

### **3.5 Normas de aprovação de cruzetas de madeira**

Para as cruzetas serem aceitas, são realizados ensaios de recebimento pelos fabricantes que são acompanhados por inspetores treinados das concessionárias de energia. Os ensaios de recebimentos consistem em: inspeção visual, verificação dimensional, verificação da densidade mínima, verificação do teor de umidade, penetração e retenção de preservativos e resistência à flexão (CPFL 2893, 2009; NBR 8458, 2010).

#### Inspeção visual ou geral

A Especificação Técnica CPFL 2893 (2009) e a norma NBR 8458 (2010) definem que deve ser feita a inspeção visual nas cruzetas para a verificação de conformidade com características, tais como forma, acabamento e presença de defeitos.

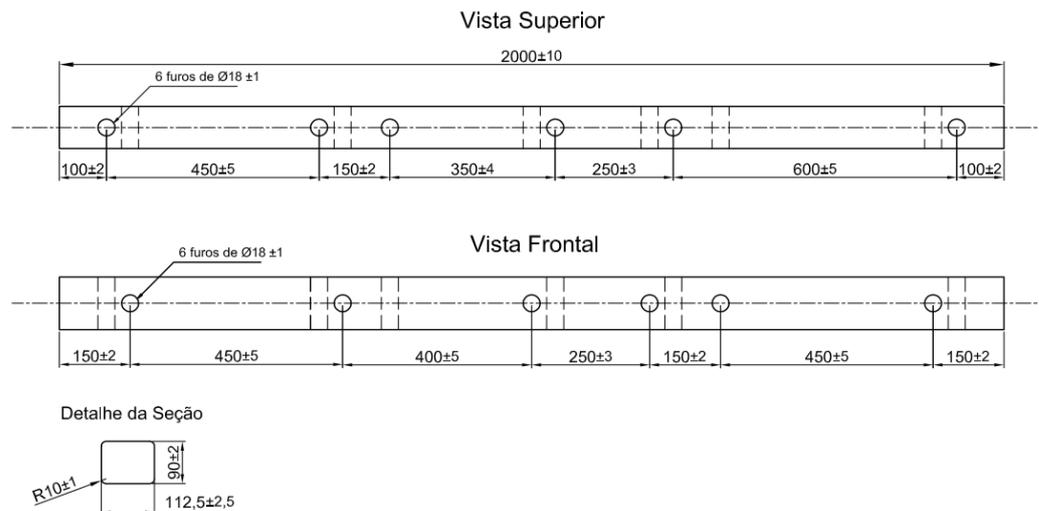
As cruzetas devem ser separadas em lotes da mesma espécie, ou de espécie com permeabilidade ao tratamento preservativo semelhante, tendo mesma forma, dimensões e teor de umidade. Elas também devem estar isentas de sinais de ataques de agentes biológicos, de falhas devido ao corte ou ao transporte, de fraturas transversais, de orifícios, de pregos, de cavilhas ou de outros materiais metálicos, de sinuosidade em qualquer trecho, de rachaduras, de fibras reversas, de curvaturas, de depressões acentuadas, de fendas, de veios inclinados ou espiralados, de bolsa de resina e de nós ou orifícios de nós em qualquer trecho (CPFL 2893, 2009; NBR 8458, 2010).

De acordo com as normas, entende-se por: (i) fenda: separação longitudinal do tecido lenhoso, ao longo das fibras da madeira, nitidamente visível em uma face ou ambas as faces opostas, e nesse caso denominada fenda diametral; (ii) nó: parte inicial de um galho, remanescente da cruzeta, de cor mais escura, mais duro e quebradiço do que a madeira circundante, apresentando em relação a esta, uma aderência relativamente fraca; (iii) orifício: defeito que se manifesta como abertura da seção aproximadamente circular, originada especialmente pelo desprendimento de um nó; (iv) racha: separação dos tecidos lenhosos, ao longo das fibras entre dois anéis de crescimento; e, (v) curvatura: desvio de direção do eixo da cruzeta.

### Verificação dimensional

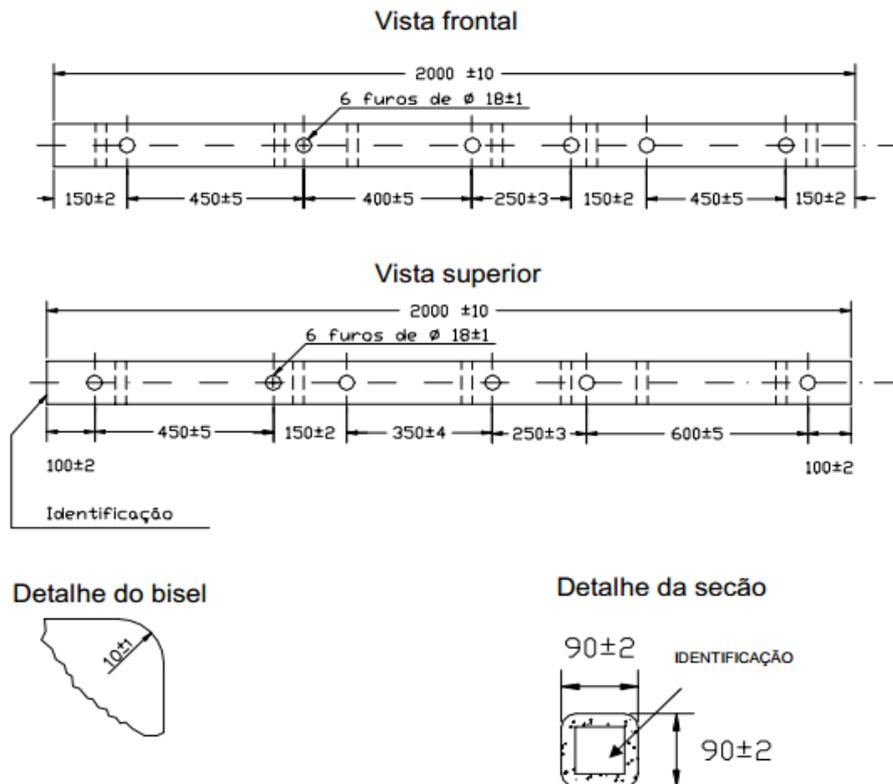
As dimensões, os furos e o acabamento das cruzetas de madeira devem seguir o estabelecido na norma NBR 8459 (2010) e na Especificação Técnica CPFL 2900 (2009) – Figuras 1 e 2, respectivamente.

Figura 1 - Dimensões e detalhes da cruzeta.



Fonte: NBR 8459, 2010

Figura 2 - Dimensões e detalhes da cruzeta



Fonte: Especificação Técnica CPFL 2900 (2009)

#### Verificação do teor da umidade e da densidade mínima

A densidade mínima é determinada pela Equação 1, em função do valor do teor de umidade. A densidade deve ser igual ou superior a  $810 \text{ kg.m}^{-3}$  (CPFL 2893, 2009; NBR 8458, 2010).

$$D \geq \frac{P_c}{(L \cdot b \cdot h) - k \cdot \left( \frac{1+U}{1,15} \right)} \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:

$P_c$  = peso da cruzeta, em g;

L = comprimento da cruzeta, em cm;

b = largura da seção transversal da cruzeta, em cm;

h = altura da seção transversal da cruzeta, em cm;

U = teor de umidade, em percentagem;

D = densidade da cruzeta, em  $\text{g.cm}^{-3}$ ;

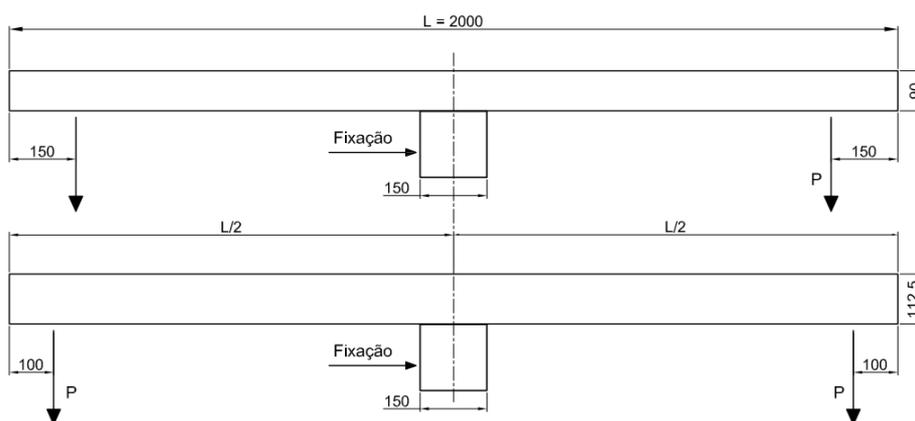
$k$  = volume da madeira equivalente, levando em conta os furos e biseis, em  $\text{cm}^3$  ( $850 \text{ cm}^3$  para cruzeta de 2000 mm).

De acordo com a Especificação Técnica CPFL 2893 (2009), quando o teor de umidade é determinado por medidor do tipo resistência ou em processo com retirada de amostras de cruzeta, o ensaio para obter o teor de umidade deve ser realizado pela média de três medições, realizadas em pontos com 0,5 m de distância e a uma profundidade de 1/5 da menor dimensão da cruzeta. O teor de umidade médio de um lote não pode ser superior a 20%. Além disso, nenhuma cruzeta pode apresentar, individualmente, teor de umidade superior a 22%.

### Ensaio de Flexão

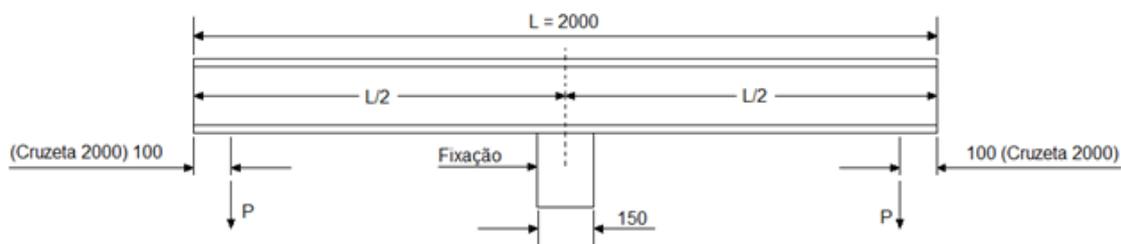
O ensaio de flexão para cruzetas de 2000 mm de comprimento deve ser executado conforme a norma NBR 8458 (2010) e a Especificação Técnica CPFL 2893 (2009). As duas cargas  $F$  iguais devem ser aplicadas simultaneamente em cada face da cruzeta (Figuras 3 e 4) com velocidade máxima de aplicação de 2 cm/min. Devem ser ensaiadas as quatro faces da cruzeta, não simultaneamente, e mensuradas as flechas em ambas extremidades da cruzeta. O esquema estático prevê um apoio central, simulando a condição de utilização da cruzeta no poste.

Figura 3 - Esquema estático para ensaios em cruzetas de 2000 mm de comprimento



Fonte: NBR 8458 (2010)

Figura 4 - Esquema estático para ensaios em cruzetas de 2000 mm de comprimento



Fonte: Especificação Técnica CPFL 2893 (2009)

Pode ser notada a diferenciação entre o esquema estático utilizado na face A e na face B da cruzeta da norma NBR 8458 (2010), uma vez que a seção transversal exigido por esta norma é retangular (Figura 1).

Conforme a norma NBR 8458 (2010) e a Especificação Técnica CPFL 2893 (2009), quando aplicadas as cargas nominal ( $R_{nom}$ ), máximo excepcional ( $1,4 \times R_{nom}$ ) as cruzetas não deverão apresentar flechas com valores superiores aos apresentados nas Tabelas 2 e 3. Nota-se que os valores de flechas admissíveis em cada norma são diferentes, sendo a Especificação Técnica da CPFL muito mais rigorosa.

Tabela 2 - Cargas e deslocamentos verticais (flechas) admissíveis para cruzetas de madeira de 2000 mm, conforme estabelecido pela NBR 8458 (2010).

Descrição do carregamento	Carga (N)	Flecha máxima (mm)	
		Máxima	Residual
Nominal ( $R_{nom}$ )	4000	75	3
Máximo excepcional ( $1,4 \times R_{nom}$ )	5600	100	5
Mínimo de ruptura ( $2 \times R_{nom}$ )	8000	-	-

Tabela 3 - Cargas e deslocamentos verticais (flechas) admissíveis para cruzetas de madeira de 2000 mm, conforme Especificação Técnica CPFL 2893 (2009).

Descrição do carregamento	Carga (N)	Flecha máxima (mm)	
		Máxima	Residual
Nominal ( $R_{nom}$ )	4000	20	3
Máximo excepcional ( $1,4 \times R_{nom}$ )	5600	28	5
Mínimo de ruptura ( $2 \times R_{nom}$ )	8000	-	-

### Verificação de penetração e de retenção de produtos químicos preservativos

No ensaio de penetração é verificado se o preservativo penetrou por todo o alburno da madeira, se não houve colocação de preservativo em excesso e se o mesmo encontra-se de acordo com o estabelecido na norma NBR 8458 (2010). No ensaio de retenção são retiradas baquetas de 5 mm de diâmetro para servirem de corpo de prova. Essas baquetas devem ser retiradas somente do alburno evitando-se a coleta de regiões limítrofes com o cerne.

### **3.6 Viabilidade econômica do reúso de postes de madeira**

Apesar de haver um número considerável de pesquisas relacionadas à avaliação técnica do reúso de resíduos de madeira tratada quimicamente, existem poucos estudos publicados que avaliam a viabilidade econômica do reúso desses materiais.

Com o tema reúso de postes de madeira tratados para fabricação de produtos de madeira, foi encontrado apenas um estudo de viabilidade econômica realizado nos Estados Unidos. King & Lewis (2000) estudaram dois cenários: um deles considerando o retratamento preservativo final e o outro sem retratamento. Foram estimadas a quantidade anual de postes de madeira descartados em Oklahoma e os custos e benefícios do estabelecimento e operação de fábrica de madeira serrada, madeira para paisagismo, mourões e postes, considerando a quantidade dos produtos a serem vendidos em Oklahoma e as oportunidades do mercado local. Os resultados desse estudo indicaram que a fabricação de produtos de madeira não retratada com preservativos se mostrou economicamente viável, sendo este um método lucrativo para reduzir a quantidade de postes de madeira descartados nos aterros de Oklahoma.

### **3.7 Conclusões da Revisão**

Considerando-se o foco específico desta pesquisa, verificam-se, pela revisão apresentada, que foram encontradas poucas referências a respeito do estudo do reúso de postes retirados da rede para a confecção de peças de madeira serrada maciças, inclusive

cruzetas. De maneira geral os resultados dos estudos demonstram que a resistência e a rigidez da madeira são afetadas negativamente pelo tratamento. Um desses estudos indicou a não aceitação de cruzetas proveniente de postes (*Southern pine*) tratados com CCA.

No entanto, esses resultados não podem ser considerados conclusivos, uma vez que foram realizados em outro contexto, utilizando outros tipos de amostragens, diferentes espécies de madeira e outras normas de aceitação.

Quanto ao estudo de viabilidade econômica, foi encontrado apenas um artigo que indicou que o reúso é viável economicamente e contribui para a redução da quantidade de postes de madeira dispostos nos aterros de Oklahoma nos Estados Unidos.

Considerando os aspectos mencionados anteriormente, e, a importância das concessionárias de energia em adotarem alternativas de reúso da madeira proveniente de postes descartados, verifica-se haver espaço para a busca de resultados e avanços científicos no tema.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Amostragem**

Para o desenvolvimento da pesquisa era necessário que os postes fossem provenientes da rede, que tivessem sido descartados pela companhia conforme procedimento normalmente utilizado, e que não fossem todos procedentes de uma mesma região. A obtenção de postes nestas condições gerou entraves burocráticos e logísticos, dificultando conseguir grande número de postes para a amostra. No entanto, para os objetivos da pesquisa considerou-se mais importante a qualidade da amostra (com as características destacadas anteriormente) do que o número. Assim, os postes que compuseram a amostra foram retirados da rede de energia elétrica, na área de concessão da CPFL ENERGIA, de diferentes regiões de Campinas. De acordo com a logística da empresa, os postes ficaram armazenados na Estação Avançada (EA) da CPFL, e foram doados em dois momentos, sendo 8 postes em 2013 e 10 postes em 2015. Segundo informações da CPFL ENERGIA, 15 postes eram da espécie *Corymbia citriodora* e três de outras espécies de eucalipto.

### **4.2 Inspeção dos postes por ultrassom**

No Laboratório de Ensaio de Materiais da FEAGRI, os postes foram inspecionados por ultrassom para avaliar se apresentam volume suficiente de madeira com resistência residual compatível para o desdobro. Foi utilizado equipamento de ultrassom (AGRICEF, USLab, Brasil) desenvolvido pelo grupo de pesquisa em Ensaio Não Destrutivos da FEAGRI em parceria com empresa AGRICEF Soluções Tecnológicas (Figura 5). Também foram utilizados dois transdutores longitudinais de faces exponenciais e 45 kHz de frequência central e um bloco acrílico para a calibração do equipamento.

Figura 5 - Equipamento de ultrassom AGRICEF, USLab, Brasil.



Para o procedimento de inspeção foi adotada a metodologia proposta em projetos de Pesquisa e Desenvolvimento realizados pelo grupo de pesquisa do LabEND da FEAGRI com financiamentos da CPFL (P&D 121 e 133).

Inicialmente, os postes foram demarcados a cada 200 mm a partir da base, considerando como marco “zero” a região de início do afloramento do poste. A parte enterrada não foi considerada para o reúso, uma vez que o limite entre as partes enterrada e não enterrada geralmente constitui-se de faixa deteriorada por fungos. Foram demarcadas duas posições radiais (D1 - vertical e D2 - horizontal). Utilizando-se de equipamento de ultrassom e de dois transdutores (um emissor e outro receptor) realizou-se a medição do tempo de propagação da onda nas duas posições radiais de cada ponto demarcado, ou seja, nas seções transversais dos postes (Figuras 6.a e 6.b).

Com uma fita métrica foram realizadas medições dos perímetros dos postes em cada ponto demarcado para as medições de ultrassom. Esses dados possibilitaram o cálculo do diâmetro (comprimento de percurso da onda) dos postes.

Utilizando-se de um medidor de umidade com pinos (DL 822, Digisystem, Brasil), foram realizadas medições de teor de umidade em cada um dos pontos demarcados. Esse equipamento possui três escalas de medição, sendo “escala 1” recomendada para madeira com densidade maior que  $0,75 \text{ g.cm}^{-3}$ , “escala 2” para madeira com densidade entre  $0,50 \text{ g.cm}^{-3}$  e  $0,75 \text{ g.cm}^{-3}$  e “escala 3” para madeira com densidade inferior a  $0,50 \text{ g.cm}^{-3}$ .

A partir dos dados de tempo de propagação da onda e do diâmetro de cada ponto de medição, foi calculada a velocidade de propagação da onda (Equação 2). Os resultados de velocidade radial de propagação da onda foram comparados com a faixa de classificação de postes, conforme estabelecido nos projetos de P&D 121 e 133 (Tabela 1). Desta forma, foram consideradas adequadas para a retirada de cruzetas, as seções dos postes nas quais foram observadas velocidades de propagação de onda radial correspondentes à condição mecânica ainda aceitável (Tabela 1).

Figura 6 - Ensaio de ultrassom nos postes na posição D1 vertical (a) e D2 horizontal (b).



$$V = \frac{\text{Diâmetro (m)}}{\text{Tempo de propagação (s)}} \quad \text{Equação 2}$$

Tendo em vista o comprimento da cruzeta adotada para a pesquisa (2000 mm) e as distâncias adotadas para as medições de ultrassom nos postes (200 mm), os postes selecionados para o desdobro e retirada de cruzetas foram aqueles nos quais foram detectadas 11 medições seguidas com velocidade indicativa de condição adequada da madeira, totalizando 2200 mm.

#### 4.3 Desdobro e corte dos postes

Ainda no Laboratório de Ensaio de Materiais da FEAGRI esses postes foram cortados, com motosserra, nessas regiões (consideradas adequadas para a retirada de

cruzetas), com cerca de 2200 mm (Figura 7), visando facilitar o transporte até a serraria. Essas toras foram então encaminhadas para a *Serraria Décio Flaiban*, localizada em Itatiba, onde ocorreu o desdobro. As toras foram marcadas seguindo a numeração do poste, de forma a ser possível identificar de qual poste cada cruzeta foi retirada.

Figura 7 - Corte dos postes para obtenção das toras consideradas em bom estado



Na serraria as toras foram transportadas com pá carregadeira até o local onde se encontra o equipamento de desdobro (Figura 8).

Figura 8 - Pá carregadeira transportando as toras retiradas dos postes para serem desdobradas.



Os equipamentos utilizados para o corte das costaneiras e para o desdobro das cruzetas foram a serra-de-fita (Figura 9.a) e o carro porta-toras, que é acionado por sistema

pneumático (Figura 9.b). Antes do início do corte, foram retirados todos os materiais ferrosos fixados nas toras, como pregos, parafusos, etc.

Figura 9 – Serra-de-fita (a) e carro porta-toras (b).



As toras foram posicionadas manualmente no carro porta-toras (Figura 10.a) e foi feita a marcação do corte. Em seguida, foi realizado o corte das costaneiras (Figura 10.b) e, posteriormente, o desdobramento do poste (Figura 11.a) nas dimensões estabelecidas pelas normas para cruzetas. Desta forma, as cruzetas foram retiradas do cerne da madeira. Em geral cada tora originou uma cruzeta, no entanto, das toras com maior diâmetro foi possível retirar entre duas a quatro cruzetas.

Foram obtidas 44 cruzetas com seção transversal de aproximadamente 90 mm x 90 mm, conforme exigência da Especificação Técnica CPFL 2900 (2009) e 7 cruzetas com seção transversal de aproximadamente 90 mm x 115 mm, conforme exigência da NBR 8459 (2010).

Também foi realizado o corte transversal das cruzetas no comprimento de 2000 mm, utilizando-se de destopadeira manual com serra circular (Figura 11.b).

Figura 10 - Tora sendo colocada manualmente no carro porta-toras (a) e processo de retirada de costaneira (b).



Figura 11 - Processo de desdobro (a) e corte transversal (b).



As cruzetas foram numeradas segundo o número do poste e a posição do qual foi retirada, seguindo a ordem: base, meio e topo. Como por exemplo, “cruzeta 10.1”, significa que foi retirada do poste número 10, sendo a primeira cruzeta retirada no sentido base-topo do poste.

As cruzetas foram encaminhadas ao Laboratório de Ensaios de Materiais da FEAGRI para a realização dos ensaios de aprovação. Inicialmente, foram realizadas as furações nas cruzetas utilizando-se furadeira de coluna do Laboratório de Protótipos da Feagri. Os furos das cruzetas seguiram o estabelecido pela NBR 8458 (2010) e Especificação Técnica CPFL 2900 (2009), conforme detalhado nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

#### **4.4 Ensaios de aprovação das cruzetas**

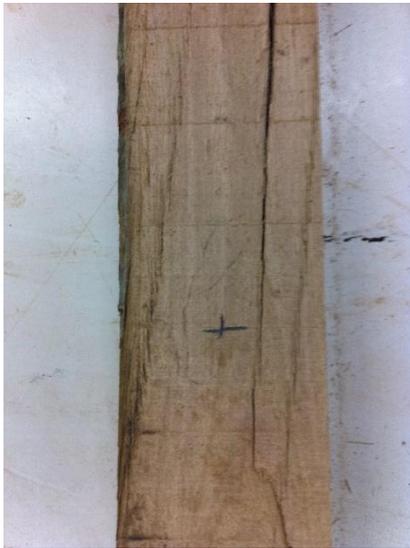
Os ensaios de aprovação das cruzetas foram aqueles previstos na norma NBR 8458 (2010) e na Especificação Técnica CPFL 2893 (2009), que incluem: inspeção visual para verificação de conformidade em relação à presença de defeitos; verificação dimensional; verificação da umidade; verificação da densidade mínima e verificação da resistência à flexão.

##### **4.4.1 Inspeção visual**

Segundo exigências das normas (item 3.5), as cruzetas devem estar isentas de sinais de ataques de agentes biológicos, de falhas devido ao corte ou ao transporte, de fraturas transversais, de orifícios, de pregos, de cavilhas ou de outros materiais metálicos, de rachas, de curvaturas, de depressões acentuadas, de fendas, de bolsa de resina e de nós ou orifícios de nós em qualquer trecho.

Devido ao fato de as cruzetas não serem provenientes de madeira nova, se fossem adotados os mesmos critérios de aprovação visual determinados pelas normas, a grande maioria das cruzetas deste estudo teriam sido reprovadas. Desta forma, foi adotado um critério menos restritivo quanto à presença de imperfeições nas peças. Portanto, cruzetas que continham leves rachaduras e fendas (exemplos Figuras 12.a e 12.b) foram consideradas aprovadas, enquanto que presença de rachaduras e fendas mais profundas foram critérios para reprovar uma cruzeta (exemplos Figuras 13.a e 13.b).

Figura 12 - Exemplo de cruzetas aprovadas com leves rachaduras e fendas: cruzeta 5.1 (a) e cruzeta 9.1 (b).



(a)



(b)

Figura 13 - Exemplo de cruzetas reprovadas por apresentarem graves rachaduras e fendas: cruzeta 4.2 (a) e cruzeta 10.2 (b).



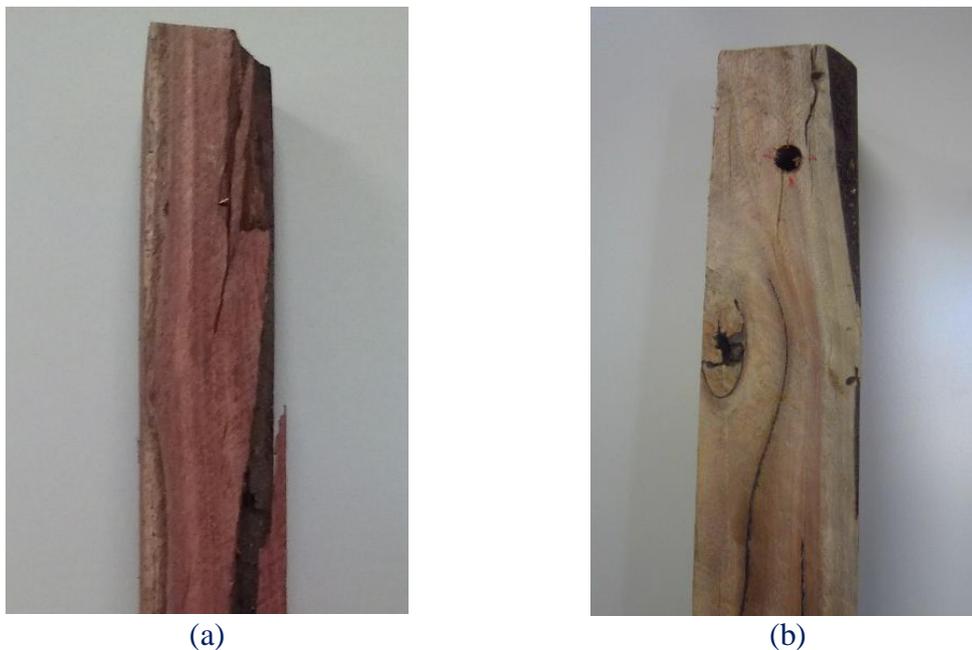
(a)



(b)

Também foram desclassificadas cruzetas que apresentavam falhas e defeitos comprometendo a integridade das peças, com redução de seção ou presença de nós soltos. (Figuras 14.a e 14.b).

Figura 14 - Exemplos de cruzetas reprovadas: cruzeta 13.1 (a) e cruzeta 15.6 (b).



#### 4.4.2 Verificação dimensional

Para a verificação dimensional foram feitas medições da seção transversal e do comprimento de cada uma das cruzetas.

A medição da altura e da largura da seção transversal foi realizada em dois pontos nas extremidades da peça. Para isso foi utilizado paquímetro digital Starret de 300 mm e exatidão de 5 mm.

O comprimento da cruzeta foi medido em duas faces diferentes. Para isso foi utilizada uma fita métrica.

#### 4.4.3 Determinação do teor de umidade

O teor de umidade médio foi obtido por meio da medição direta em três posições da cruzeta, com medidor de umidade sem pinos ou eletrodos (PM1-E, Merlin, Brasil) posicionado na face (Figura 15). Nesse equipamento há a possibilidade de regulagem da densidade de  $0,3 \text{ g.cm}^{-3}$  a  $1,1 \text{ g.cm}^{-3}$  de 0,01 em  $0,01 \text{ g.cm}^{-3}$  e faixa de medição de 1 a 100%.

Figura 15 - Medição do teor de umidade da cruzeta.



#### 4.4.4 Determinação da densidade

As cruzetas foram pesadas utilizando-se de Balança Filizola, com capacidade de 100 kg e exatidão de 20 g.

A determinação da densidade foi feita de acordo com a norma NBR 8458 (2010) e a Especificação Técnica CPFL 2893 (2009). A densidade foi calculada utilizando a Equação 1, a partir dos valores médios de comprimento, de seção transversal e da massa da cruzeta.

Apesar das normas de aceitação de cruzetas não utilizarem este dado, a densidade aparente, determinada pela relação entre a massa e o volume na umidade em que estavam, também foi calculada. Para que fosse possível comparar a densidade aparente da madeira reciclada com a densidade da madeira nova da espécie *Corymbia citriodora*, foi calculada também a densidade aparente das cruzetas com 12% de umidade. Para esse cálculo utilizou-se a Equação 3, proposta pela NBR 7190 (1997). O coeficiente de retração da espécie *Corymbia citriodora* foi adotado como 18,3% de acordo com pesquisa de Oliveira et al. (2010).

$$\rho_{12} = \rho_U + \rho_U \left[ \left( 1 - \delta_v \left( \frac{12-U}{100} \right) \right) \right] \quad \text{Equação 3}$$

Onde:  $\rho_{12}$  = densidade aparente a 12% de umidade;  $\rho_U$  = densidade aparente com U% de umidade;  $\delta V$  = coeficiente de retração volumétrica; U = umidade (%).

#### 4.4.5 Ensaio de flexão estática

O ensaio de flexão foi realizado na máquina de ensaio (DL30000, EMIC, Brasil) com capacidade de carga de 300 kN. Também foi utilizado um Sistema de aquisição de dados (HBM Quantun X, modelo MX840, Alemanha) com 8 canais.

Seguindo-se as exigências da norma NBR 8458 (2010) e da Especificação Técnica CPFL 2893 (2009), o ensaio de flexão para cruzetas de 2000 mm de comprimento foi executado conforme as Figuras 3 e 4.

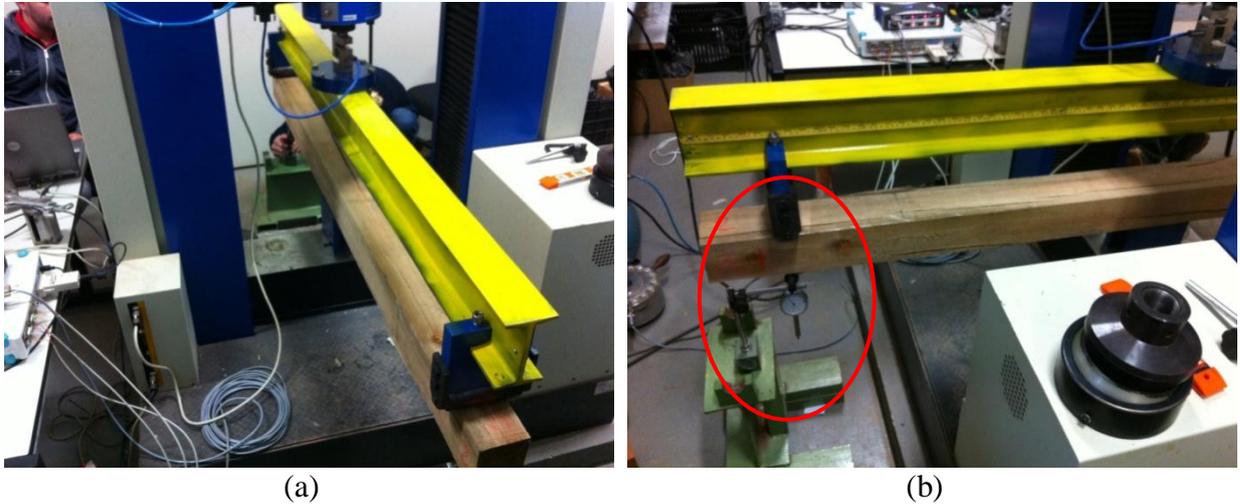
As faces das cruzetas foram numeradas, pois as normas exigem que o ensaio seja repetido nas quatro faces. Também foram marcadas as posições do carregamento, uma vez que nas cruzetas com dimensões retangulares, a posição da carga muda conforme a altura da peça (Figura 3).

Para que o ensaio fosse realizado de acordo com as normas, foi necessário confeccionar um acessório que permitisse a aplicação das cargas nas bordas da cruzeta. O acessório confeccionado foi um perfil metálico no qual foi inserida uma rosca para ser acoplada à célula de carga da máquina e dois blocos de aplicação das cargas (P) concentradas (Figura 16.a).

Para a determinação da flecha carregada e da flecha residual foram utilizados relógios comparadores em cada extremidade da cruzeta (Figura 16.b). Conforme as normas, as cargas aplicadas em cada extremidade foram de 4000 N (carga nominal) e 5600 N (carga máxima excepcional) (Tabelas 2 e 3).

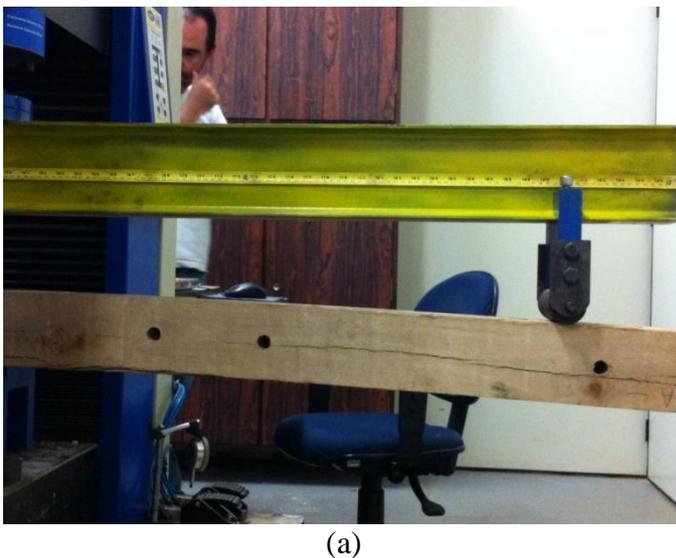
O ensaio foi realizado aplicando-se carga nominal de 8000 N (4000 N em cada extremidade) e medição da flecha em cada uma das extremidades. Em seguida, a carga era retirada, havendo então a medição da flecha residual em cada extremidade. Posteriormente, aplicou-se a carga excepcional de 11200 N (5600 N em cada extremidade), com medição das flechas e, após descarregamento, das flechas residuais nas extremidades das cruzetas. Esse procedimento foi repetido nas demais faces da cruzeta.

Figura 16 - Adaptação para o ensaio de flexão (a) e posicionamento do relógio comparador para a medição das flechas.



Verificou-se a face que apresentou maior flecha e nessa face foi aplicado carregamento crescente com velocidade de  $0,00033 \text{ m.s}^{-1}$  até a carga mínima de ruptura (8000 N em cada extremidade), verificando-se se houve o surgimento de rachaduras. Por fim, foi aplicado carregamento até ocorrer a ruptura da cruzeta (Figura 17).

Figura 17 - Flecha em uma das extremidade da cruzetas durante carregamento até a ruptura.



#### 4.5 Verificação da existência de produto preservativo residual

Apesar de a norma NBR 8458 (2010) e da Especificação Técnica CPFL 2893 (2009) exigirem a realização de ensaios de penetração e de retenção, a metodologia adotada neste Projeto não incluiu esses ensaios, pois as peças foram retiradas do cerne dos postes, não sendo possível, e nem necessário que os mesmos, recebessem tratamento químico. Ressalta-se que o cerne da madeira possui propriedades físicas e anatômicas que não permitem a penetração de produtos químicos; além disso, trata-se da porção da madeira mais resistente naturalmente ao ataque de organismos xilófagos.

No entanto, foram realizadas análises laboratoriais para:

- (i) Verificar quanto do tratamento preservativo ainda se encontrava retido no poste após o tempo de uso, tendo sido analisadas três amostras:
  - Amostra 1 - retirada do alburno;
  - Amostra 2 - retirada do cerne;
  - Amostra 3 - pó de serra de resíduos gerados no processo de desdobro.
- (ii) Classificar o resíduo quanto ao seu nível de toxicidade, segundo verificação da concentração de substâncias químicas que permaneceram no material, tendo sido analisadas três amostras:
  - Amostra 1 - retirada de resíduos dos postes;
  - Amostras 2 e 3 - retiradas de diferentes cruzetas ensaiadas em duas etapas do desenvolvimento da pesquisa.

As análises foram realizadas por serviços contratados de laboratórios especializados, sendo: (i) Análises de retenção realizadas pela empresa *Montana Química S.A* seguindo as diretrizes NBR 8456 (1984): Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia elétrica; e, (ii) Análises de classificação dos resíduos realizadas pela empresa *TASQA – Serviços Analíticos Ltda*, seguindo as orientações das normas NBR 10004 (2004): Resíduos Sólidos, NBR 10005 (2004): Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, NBR 10006 (2004): Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos e NBR 10007 (2004): Amostragem de resíduos sólidos.

Os laudos da empresa *Montana Química* forneceram informações quanto à retenção dos ingredientes ativos cromo, cobre e arsênio, a distribuição dos teores dos

ingredientes ativos na amostra e a comparação quanto aos padrões de distribuição exigidos pela norma NBR 8456 (1984).

Os laudos emitidos pelo laboratório *TASQA* permitiram classificar o resíduo em (a) Classe I Perigosos; (b) Classe II Não perigosos: Resíduos Classe II A – Não Inertes e Classe II B – Inertes.

Também foi realizado um ensaio para verificação se os resíduos classificados como não-perigosos possuíam constituintes que seriam solubilizados em concentrações superiores às indicadas no Anexo G (Padrões para o ensaio de solubilização) da norma. Esse ensaio é realizado para classificação do resíduo na categoria não-perigoso (Classe II) em não-inerte (Classe II A) ou inerte (Classe II B).

#### **4.6 Análise do resíduo gerado no processo de fabricação de cruzetas**

Nesta pesquisa, foi determinado o volume de postes de madeira que foi reaproveitado para fabricação de cruzetas e o volume descartado. Para isso foi calculado o volume total dos 18 postes utilizando-se dados de diâmetro médio e comprimento total de cada um deles. Nestes cálculos foi considerado o volume das partes dos postes que foram descartadas no início dos ensaios, por não apresentarem características para reuso, como a parte engastada no solo, e o topo, pois parte dele apresenta furos devido aos equipamentos instalados na rede.

Do volume total de madeira disponível para reuso, diminuiu-se o volume correspondente às cruzetas que foram aprovadas nos ensaios exigidos pela norma NBR 8458 (2010) e pela Especificação Técnica CPFL 2893 (2009). Também foi realizado o cálculo de reuso considerando-se apenas a madeira que se mostrasse adequada para reuso, ou seja, descartando-se a base e o topo, além dos postes não aprovados na inspeção por ultrassom.

#### **4.7 Estudo de viabilidade econômica**

##### **4.7.1 Fonte das Informações**

Na primeira fase do Projeto de P&D PA 0037 – MATRIZ HIGH TECH DE REÚSO E DESCARTE LIMPO NA CPFL, foram identificados e quantificados os materiais

de descarte do grupo CPFL Energia. Considerando os dados de 7 estações avançadas (EAs): Paulista (D001); Piratininga (D002); Santa Cruz (D003); Leste Paulista (D004); Sul Paulista (D005); Jaguari (D006); e, Mococa (D007) obtiveram-se os registros de volume de postes de madeira descartados nas Estações Avançadas (EAs) num período de 17 meses, compreendendo o período de janeiro de 2011 até maio de 2012. A partir desses dados foi possível determinar a taxa anual de retirada de postes de madeira. Também foi realizada uma entrevista com o Engenheiro Líder da EA1 Campinas da CPFL Energia, momento em que foi informado o número de postes de madeira de eucalipto existentes na rede de distribuição de energia elétrica, segundo levantamento realizado naquela data. Nessa ocasião também foram repassadas informações a respeito de estimativas de reposição das cruzetas (de madeira e de outros materiais), de porcentagem de cruzetas de madeira utilizadas em relação ao total de cruzetas repostas, do valor da compra de cruzeta de madeira nova e dos valores da venda dos postes e das cruzetas retiradas da rede.

#### **4.7.2 Definição das alternativas de investimento para fabricação de cruzetas**

Nesta pesquisa, foram consideradas duas alternativas de investimento: (i) Construção de uma fábrica nova para a produção própria; (ii) Terceirização dos serviços em serraria já existe.

Com base na metodologia testada nesta pesquisa, foram definidos os mapas dos dois processos, incluindo o fluxograma, entradas no sistema como matéria-prima, consumo de energia, consumo de combustível, e saídas como produtos, subprodutos e resíduos. Nesta etapa, também foram levantados os recursos de mão-de-obra e de equipamentos necessários.

Na análise econômica, foram estudados quatro cenários que se definiram segundo a alternativa de investimento (fábrica nova ou terceirização) e aspectos de produção (demanda anual por cruzetas). Os Cenários 1 e 3 referem-se à produção em fábrica nova considerando uma demanda por cruzetas de madeira de 15% e 22% da demanda total da CPFL, respectivamente. Por sua vez, os Cenários 2 e 4 referem-se a produção em empresa terceirizada, com demanda por cruzetas de madeira de 15% e 22% do total.

Foram visitadas e contatadas serrarias da região de Jundiaí, buscando-se obter informações a respeito do interesse, da disponibilidade e das dificuldades na contratação de serrarias parceiras para realizar o tipo de serviço proposto por esse estudo. Foram visitadas uma serraria em Itatiba (Serraria Décio Flaiban), uma em Bragança Paulista (Serraria

Mazzochi) e duas em Jundiaí (Serraria Fonte Basso e Serraria Scalli). Também foram contatadas por telefone outras duas serrarias sendo uma em Jundiaí (Serraria União Jundiaí) e outra em Bragança Paulista (Serraria Nossa Senhora Aparecida).

### 4.7.3 Levantamento dos custos e receitas

#### Determinação das receitas

A capacidade de produção de cruzetas de madeira foi baseada na análise de disponibilidade de matéria-prima (postes de madeira descartados) e na demanda de produção (capacidade de absorção na empresa e no mercado da produção de cruzetas).

Para a determinação da capacidade de produção foram considerados alguns resultados obtidos nesta pesquisa na etapa de estudo de viabilidade técnica, tais como a porcentagem de aproveitamento dos postes (após inspeção por ultrassom) e a porcentagem de aprovação das cruzetas (após os ensaios estabelecidos pelas normas de aprovação de cruzetas).

Para determinação das receitas foi utilizada a Equação 4.

$$Receita = (V_1 + V_2) - V_3 \quad \text{Equação 4}$$

Sendo:

$V_1$  = valor da produção da cruzeta, em reais. Este valor corresponde ao valor que a CPFL deixaria de gastar com a compra de cruzetas novas ao utilizar cruzetas fabricadas a partir dos postes descartados;

$V_2$  = valor da revenda da cruzeta reprovada pela norma, em reais;

$V_3$  = valor de venda dos postes retirados da rede, ou seja, a receita que a CPFL possui no atual processo, em reais.

#### Determinação dos custos de investimento e de produção

A partir da determinação das necessidades de mão-de-obra, de equipamentos e de materiais foram realizados os levantamentos de custos fixos e variáveis da produção.

Os custos com equipamentos e produtos foram realizados com base em informações do mercado, obtidos a partir de pesquisas na internet e em orçamentos repassados por empresas fornecedoras.

Com base nos dados de potência média dos equipamentos foi determinado o consumo de energia elétrica médio mensal. Os gastos com energia foram determinados a partir da multiplicação do consumo médio mensal (kWh) pelo valor da tarifa média da indústria da região Sudeste (média do ano de 2016), divulgada no portal eletrônico da ANEEL (R\$/MWh), pelo número de horas médio mensal de operação do sistema.

Os custos com funcionários da serraria foram estimados considerando-se o piso salarial estabelecido pela Convenção Coletiva de Trabalho do Sindicato da Indústria de serrarias, carpintarias, tanoarias, madeiras compensadas e laminadas no Estado de São Paulo com vigência 2015-2016. Para os ajudantes, operadores e encarregado foram considerados o valor de um piso salarial, 1,5 vezes o piso salarial e 3 vezes o piso salarial, respectivamente.

Os custos com funcionários para operar o equipamento de ultrassom foi estimado com base no salário médio de assistente técnico de empresa de pequeno porte (agosto de 2015), segundo dados do IPASA - Pesquisa salarial - Dados de Campinas e Região.

Ressalta-se que para determinar os custos anuais com funcionários foi acrescido 100% do salário de cada categoria (referente aos impostos trabalhistas e benefícios pagos pela empresa) multiplicado por 13,3 (referente aos 12 meses do ano acrescido o valor de férias exigido por lei).

Outras despesas com impostos, combustível, serviços de contabilidade e materiais diversos foram estimadas com base em informações da serraria Décio Flaiban. Essa serraria realizou os serviços de corte e de desdobro dos postes ensaiados nesta pesquisa e se dispôs a fornecer essas informações.

Também foram considerados os custos referente à depreciação dos equipamentos, considerando a vida útil dos mesmos entre 3 e 10 anos.

Os custos com a compra de terreno e para a construção da fábrica foram estimados com base em valores de mercado imobiliário da Região Metropolitana de Campinas.

#### 4.7.4 Indicadores de rentabilidade

##### ✓ Valor Presente Líquido (VPL)

Para a determinação do Valor Presente Líquido de cada uma das alternativas de investimento, são somados os respectivos valores do fluxo de caixa (receitas e despesas), sendo esses valores transferidos para a data atual e descontados a uma determinada taxa de juros (Equação 5). De um modo geral, o indicador VPL permite que se conheçam os ganhos de um projeto em termos da moeda atualizada.

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{X_j}{(1+i)^j}$$

Equação 5

Sendo:

X = valores de entrada e saída do fluxo de caixa;

i = taxa de juros (%);

n = número total de períodos de juros;

j = período em que se aplica o valor de entrada e saída do fluxo de caixa.

Se o VPL for inferior à zero, considera-se que o investimento é inferior ao mínimo esperado. Se o VPL for superior ou igual ao número zero, considera-se que o investimento é rentável, pois é maior que o valor mínimo esperado.

A VPL foi calculada por meio de ferramenta disponível no programa computacional Microsoft Excel.

##### ✓ Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR é a taxa de juros que permite igualar receitas e despesas na data zero, transformando o valor atual do investimento em zero. Para seu cálculo é utilizado o método de tentativa e erro, ou seja, é estimado um valor inicial para a taxa de juros (i) e calculado o VPL. Se o valor VPL obtido for positivo, a TIR é maior e deve-se aumentar o valor da taxa de juros (i) até se chegar a uma situação onde o VPL apresente sinal contrário. A partir disso, são feitas interpolações sucessivas até se encontrar um valor para a taxa de juros (i) cujo VPL seja

próximo à zero. Neste estudo, a TIR foi calculada por meio de ferramenta disponível no programa computacional Microsoft Excel.

#### ✓ Tempo de Retorno do Investimento

O Tempo de Retorno do Investimento consiste em um indicador de atratividade do negócio, que mostra o tempo necessário para que o empreendedor recupere o valor investido. O Tempo de Retorno do Investimento é obtido sob a forma de unidade de tempo.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 Cálculo da Velocidade das Ondas de Ultrassom nos Postes**

Conforme detalhado na metodologia, pontos com velocidades radiais médias superiores ao valor crítico estabelecido em projeto de P&D (P&D 121) indicavam que material apresentava condições aceitáveis para a confecção de cruzetas. Na Tabela 4 (exemplo) e nas Tabelas 1 a 18 do Anexo 1, esses pontos estão destacados na cor cinza.

Tabela 4 – Pontos de medição ao longo do comprimento do poste, diâmetro do poste no ponto de medição, umidade do poste no ponto de medição, tempo de propagação de ondas de ultrassom, na direção radial, considerando duas posições radiais perpendiculares (T1 e T2), velocidades de propagação das ondas, considerando duas posições radiais perpendiculares (V1 e V2) e velocidade radial média. Poste 1.

Pontos de medição	Diâmetro (m)	Umidade média (%)	Tempo de propagação da onda ( $\mu$ s)		Velocidades ( $m.s^{-1}$ )		
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>média</sub>
1.00	0,2021	5,3	1.622,2	1.581,8	124,6	127,8	126,2
1.01	0,2021	4,8	1.027,2	1.153,0	196,8	175,3	186,0
1.02	0,1996	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.03	0,1996	4,6	217,0	1.105,0	919,7	180,6	550,2
1.04	0,1942	5,9	285,0	911,0	681,3	213,1	447,2
1.05	0,1942	5,8	235,0	860,0	826,3	225,8	526,0
1.06	0,1974	5,2	257,0	863,4	767,9	228,6	498,2
1.07	0,1942	5,2	1.350,0	1.080,0	143,8	179,8	161,8
1.08	0,1926	5,6	216,0	154,0	891,6	1.250,5	1.071,0
1.09	0,1926	5,4	1.004,9	996,0	191,6	193,4	192,5
1.10	0,1916	5,8	1.630,0	1.600,0	117,6	119,8	118,7
1.11	0,1878	7,0	1.063,3	940,0	176,6	199,8	188,2
1.12	0,1894	6,6	1.722,0	1.599,0	110,0	118,4	114,2
1.13	0,1894	6,3	1.244,0	1.469,0	152,2	128,9	140,6
1.14	0,1846	6,3	1.698,4	1.466,0	108,7	125,9	117,3
1.15	0,1894	6,0	1.739,0	1.075,0	108,9	176,2	142,5
1.16	0,1894	5,9	163,2	256,3	1.160,5	739,0	949,7
1.17	0,1814	6,4	733,4	628,7	247,4	288,6	268,0
1.18	0,1830	7,3	391,0	254,0	468,1	720,6	594,3
1.19	0,1821	6,6	344,0	177,0	529,3	1.028,7	779,0
1.20	0,1783	5,8	1.734,0	1.736,4	102,8	102,7	102,7
1.21	0,1783	6,1	173,0	187,0	1.030,4	953,2	991,8
1.22	0,1808	6,6	322,0	125,0	561,5	1.446,4	1.003,9
1.23	0,1751	6,3	165,0	141,0	1.061,0	1.241,6	1.151,3
1.24	0,1773	6,2	119,0	125,0	1.489,9	1.418,4	1.454,1
1.25	0,1767	5,4	117,7	119,0	1.501,0	1.484,6	1.492,8

Nota:

Pontos com velocidades indicativas de boas condições para reúso.

Postes com, no mínimo, 11 pontos consecutivos com indicativo de boas condições de reúso (equivalente a 2,2 m) eram considerados aptos para a obtenção de cruzetas. Dos 18 postes avaliados, 14 deles (77,8%) permitiram a retirada de pelo menos uma cruzeta e 4 (22,2%) não apresentaram condições de obtenção de nenhuma cruzeta (Tabela 5).

No total, dos 14 postes foram retiradas 44 cruzetas, sendo 37 com seção

transversal de referência de 90 mm x 90 mm (Especificação Técnica CPFL 2900: 2009) e 7 com seção transversal de referência de 90 mm x 112,5 mm (NBR 8459, 2010) – Tabela 6. Ressalta-se que postes com maior diâmetro possibilitaram a retirada de duas a quatro cruzetas de uma mesma tora, como foi o caso dos postes de número 7, 13, 15 e 16 (Tabela 5). Constatou-se que a base e o meio do poste propiciaram a retirada de 93% das cruzetas (Tabela 6).

Tabela 5 – Valores dos diâmetros ( $\phi$  em mm), dos pontos totais de medição (n), dos pontos de medições consecutivas com velocidades indicativas de boas condições do poste e o número de cruzetas retiradas do poste (N).

Poste/ $\phi$ (mm)	n	Pontos de medição consecutivas com velocidades indicativas de boas condições do poste	N
1 189	26	5 pontos ( $\cong$ 1,0 m de madeira em bom estado) a partir do 21º ponto ( $\cong$ 4,20 m do afloramento)	0
2 188	31	31 pontos ( $\cong$ 6,20 m de madeira em bom estado)	2
3 248	27	0 pontos (0 m de madeira em bom estado)	0
4 208	28	28 pontos ( $\cong$ 5,60 m de madeira em bom estado)	2
5 178	29	26 pontos, sendo 9 no primeiro trecho ( $\cong$ 1,80 m de madeira em bom estado desde o ponto de afloramento até o 8º ponto) e 17 no segundo ( $\cong$ 3,40 m entre o 12º e 28º pontos)	1
6 226	25	25 pontos ( $\cong$ 5,00 m de madeira em bom estado)	2
7 <sup>1</sup> 250	27	27 pontos ( $\cong$ 5,40 m de madeira em bom estado)	4
8 170	29	5 pontos a partir do 24º ponto	0
9 215	25	23 pontos a partir do 2º depois do afloramento ( $\cong$ 4,60 m de madeira em bom estado)	2
10 <sup>1</sup> 215	28	24 pontos, sendo 5 no primeiro trecho ( $\cong$ 1,0 m de madeira em bom estado entre o 3º e 7º pontos) e 19 no segundo ( $\cong$ 3,80 m entre o 9º e 27º pontos)	2
11 195	21	20 pontos, sendo 7 no primeiro trecho ( $\cong$ 1,40 m de madeira em bom estado desde o ponto de afloramento até o 6º ponto) e 13 no segundo ( $\cong$ 2,60 m entre o 8º e 20º pontos)	2
12 212	31	7 pontos a partir do 24º ponto	0
13 <sup>1</sup> 255	25	16 pontos, sendo 2 no primeiro trecho ( $\cong$ 0,40 m de madeira em bom estado desde entre o 8º e 9º pontos) e 14 no segundo ( $\cong$ 2,80 m a partir do 11º ponto)	4
14 194	31	31 pontos ( $\cong$ 6,20 m de madeira em bom estado)	3
15 282	31	31 pontos ( $\cong$ 6,20 m de madeira em bom estado)	9
16 289	30	27 pontos, sendo 10 no primeiro trecho ( $\cong$ 2,00 m de madeira em bom estado desde o ponto de afloramento até o 9º ponto) e 17 no segundo ( $\cong$ 3,40 m a partir do 13º ponto)	7
17 232	28	28 pontos ( $\cong$ 5,60 m de madeira em bom estado)	2
18 212	29	21 pontos, sendo 2 no primeiro trecho ( $\cong$ 0,40 m de madeira em bom estado desde entre o 7º e 8º pontos) e 19 no segundo ( $\cong$ 3,80 m a partir do 10º ponto)	2
<b>Numero Total de cruzetas</b>			<b>44</b>

Nota<sup>1</sup>: Madeira de outras espécies de eucalipto.

Tabela 6 – Número dos postes, espécie de madeira, posição do poste do qual foi retirada a cruzeta, nomenclatura das cruzetas retiradas e os respectivos valores de referência da seção transversal.

N° Poste	Espécie de madeira	Cruzeta	Posição proveniente do poste	Seção transversal de referência
2	<i>C.citriodora</i>	2.1	Base	90 mm x 112,5 mm
		2.2	Meio	90 mm x 90 mm
4	<i>C.citriodora</i>	4.1	Base	90 mm x 112,5 mm
		4.2	Meio	90 mm x 112,5 mm
5	<i>C.citriodora</i>	5.1	Meio	90 mm x 90 mm
6	<i>C.citriodora</i>	6.1	Base	90 mm x 90 mm
		6.2	Meio	90 mm x 112,5 mm
7	Outros eucaliptos	7.1	Base	90 mm x 112,5 mm
		7.2	Base	90 mm x 90 mm
		7.3	Meio	90 mm x 112,5 mm
		7.4	Meio	90 mm x 112,5 mm
9	<i>C.citriodora</i>	9.1	Base	90 mm x 90 mm
		9.2	Meio	90 mm x 90 mm
10	Outros eucaliptos	10.1	Base	90 mm x 90 mm
		10.2	Meio	90 mm x 90 mm
11	<i>C.citriodora</i>	11.1	Base	90 mm x 90 mm
		11.2	Meio	90 mm x 90 mm
13	Outros eucaliptos	13.1	Base	90 mm x 90 mm
		13.2	Base	90 mm x 90 mm
		13.3	Meio	90 mm x 90 mm
		13.4	Meio	90 mm x 90 mm
14	<i>C.citriodora</i>	14.1	Base	90 mm x 90 mm
		14.2	Meio	90 mm x 90 mm
		14.3	Topo	90 mm x 90 mm
15	<i>C.citriodora</i>	15.1	Base	90 mm x 90 mm
		15.2	Base	90 mm x 90 mm
		15.3	Base	90 mm x 90 mm
		15.4	Base	90 mm x 90 mm
		15.5	Meio	90 mm x 90 mm
		15.6	Meio	90 mm x 90 mm
		15.7	Meio	90 mm x 90 mm
		15.8	Topo	90 mm x 90 mm
		15.9	Topo	90 mm x 90 mm
16	<i>C.citriodora</i>	16.1	Base	90 mm x 90 mm
		16.2	Base	90 mm x 90 mm
		16.3	Base	90 mm x 90 mm
		16.4	Base	90 mm x 90 mm
		16.5	Meio	90 mm x 90 mm
		16.6	Meio	90 mm x 90 mm
		16.7	Meio	90 mm x 90 mm
17	<i>C.citriodora</i>	17.1	Base	90 mm x 90 mm
		17.2	Meio	90 mm x 90 mm
18	<i>C.citriodora</i>	18.1	Base	90 mm x 90 mm
		18.2	Meio	90 mm x 90 mm

## **5.2 Avaliação das cruzetas segundo as Especificações Técnicas CPFL 2893 (2009) e CPFL 2900 (2009) e as normas NBR 8458 (2010) e NBR 8459 (2010)**

### **5.2.1 Análise visual**

De acordo com os critérios detalhados no item 4.4.1, das 44 cruzetas analisadas, 25 (56,8%) apresentaram condições aceitáveis para reuso (Tabela 7). As cruzetas reprovadas nesse critério apresentaram rachaduras, fendas, orifícios de nós e defeitos nas extremidades das peças.

Tabela 7 – Resultado da análise visual das cruzetas.

<b>Cruzeta</b>	<b>Inspeção visual</b>	<b>Observações</b>
2.1	Aprovada	
2.2	Reprovada	Presença de rachaduras e fendas
4.1	Aprovada	
4.2	Reprovada	Presença de rachaduras
5.1	Aprovada	
6.1	Reprovada	Presença de rachaduras, fendas e defeito na extremidade
6.2	Aprovada	
7.1	Aprovada	
7.2	Aprovada	
7.3	Reprovada	Presença de rachaduras e fendas
7.4	Reprovada	Presença de rachaduras e fendas
9.1	Aprovada	
9.2	Aprovada	
10.1	Aprovada	
10.2	Reprovada	Presença de rachaduras e fendas
11.1	Aprovada	
11.2	Aprovada	Ok, apesar da presença de fissuras.
13.1	Reprovada	Cruzeta não estava íntegra, defeito na extremidade
13.2	Reprovada	Cruzeta não estava íntegra, defeito na extremidade
13.3	Reprovada	Cruzeta não estava íntegra, defeito na extremidade
13.4	Reprovada	Cruzeta não estava íntegra, defeito na extremidade
14.1	Reprovada	Presença de rachadura, fendas e orifício e nó
14.2	Reprovada	Presença de rachaduras e fendas
14.3	Reprovada	Presença de rachaduras e fendas
15.1	Aprovada	
15.2	Aprovada	
15.3	Aprovada	
15.4	Aprovada	
15.5	Aprovada	
15.6	Reprovada	Presença de nó e de defeito na extremidade
15.7	Reprovada	Presença de nó e de defeito na extremidade
15.8	Aprovada	
15.9	Aprovada	
16.1	Aprovada	
16.2	Aprovada	
16.3	Reprovada	Cruzeta não estava íntegra, defeito na extremidade
16.4	Reprovada	Presença de rachaduras
16.5	Aprovada	
16.6	Reprovada	Presença de rachaduras e fendas
16.7	Aprovada	
17.1	Aprovada	
17.2	Aprovada	
18.1	Reprovada	Presença de rachaduras e fendas
18.2	Aprovada	Ok, apesar da presença de Fissuras

Nota:

 Cruzeta reprovada no critério de inspeção visual.

### **5.2.2 Teor de Umidade das Cruzetas**

Segundo os critérios da Especificação Técnica CPFL 2893 (2009) e da norma NBR 8458 (2010), o teor de umidade médio de um lote de cruzetas de madeira não deve ser superior a 20%, assim como, nenhuma cruzeta pode apresentar, individualmente, umidade superior a 22%.

Na avaliação do teor de umidade (Tabela 8), do total de 44 cruzetas avaliadas, 41 (93,2%) foram aprovadas, pois o teor de umidade individual máximo estava inferior ao limite (22%) estabelecido na Especificação Técnica CPFL 2893 (2009) e na norma NBR 8458 (2010). As cruzetas 13.2, 13.4 e 15.6 (destacadas em cinza na Tabela 8) foram reprovadas nesse critério por apresentarem teores de umidade superiores a 22%.

Analisando-se o lote de cruzetas, o teor de umidade médio obtido (17,3%) foi inferior aos 20% admitidos pelas normas.

Tabela 8 – Valores de teor de umidade obtidos em três pontos das cruzetas (U1, U2 e U3) e valor do teor de umidade médio (Umédio).

Cruzeta	Espécie	Umidade			
		U <sub>1</sub> (%)	U <sub>2</sub> (%)	U <sub>3</sub> (%)	U <sub>médio</sub> (%)
2.1	<i>C.citriodora</i>	14,0	15,4	15,3	<b>14,9</b>
2.2	<i>C.citriodora</i>	12,7	12,2	11,7	<b>12,2</b>
4.1	<i>C.citriodora</i>	13,5	14,5	13,7	<b>13,9</b>
4.2	<i>C.citriodora</i>	13,1	12,2	10,3	<b>11,9</b>
5.1	<i>C.citriodora</i>	9,1	9,2	9,6	<b>9,3</b>
6.1	<i>C.citriodora</i>	12,4	11,5	12,6	<b>12,2</b>
6.2	<i>C.citriodora</i>	8,9	8,7	8,9	<b>8,8</b>
7.1	Outros eucaliptos	6,9	6,5	6,4	<b>6,6</b>
7.2	Outros eucaliptos	6,9	6,2	6,6	<b>6,6</b>
7.3	Outros eucaliptos	7,4	7,5	7,4	<b>7,4</b>
7.4	Outros eucaliptos	7,0	7,2	7,1	<b>7,1</b>
9.1	<i>C.citriodora</i>	19,6	22,6	19,9	<b>20,7</b>
9.2	<i>C.citriodora</i>	19,5	20,0	18,1	<b>19,2</b>
10.1	Outros eucaliptos	21,2	18,7	25,9	<b>21,9</b>
10.2	Outros eucaliptos	20,7	20,4	20,4	<b>20,5</b>
11.1	<i>C.citriodora</i>	18,0	19,3	17,0	<b>18,1</b>
11.2	<i>C.citriodora</i>	18,6	18,9	16,0	<b>17,8</b>
13.1	Outros eucaliptos	18,6	21,3	24,6	<b>21,5</b>
13.2	Outros eucaliptos	24,6	23,3	19,9	<b>22,6</b>
13.3	Outros eucaliptos	18,1	23,7	19,1	<b>20,3</b>
13.4	Outros eucaliptos	27,5	24,9	21,0	<b>24,5</b>
14.1	<i>C.citriodora</i>	15,1	14,7	14,0	<b>14,6</b>
14.2	<i>C.citriodora</i>	12,3	13,8	16,7	<b>14,3</b>
14.3	<i>C.citriodora</i>	18,1	18,8	16,7	<b>17,9</b>
15.1	<i>C.citriodora</i>	17,9	21,9	24,8	<b>21,5</b>
15.2	<i>C.citriodora</i>	22,5	20,4	19,2	<b>20,7</b>
15.3	<i>C.citriodora</i>	18,0	14,6	21,6	<b>18,1</b>
15.4	<i>C.citriodora</i>	21,3	19,2	22,8	<b>21,1</b>
15.5	<i>C.citriodora</i>	21,4	19,8	19,2	<b>20,1</b>
15.6	<i>C.citriodora</i>	22,9	23,8	23,9	<b>23,5</b>
15.7	<i>C.citriodora</i>	21,0	20,1	21,3	<b>20,8</b>
15.8	<i>C.citriodora</i>	21,2	18,8	19,5	<b>19,8</b>
15.9	<i>C.citriodora</i>	15,8	17,2	16,2	<b>16,4</b>
16.1	<i>C.citriodora</i>	19,5	22,9	23,4	<b>21,9</b>
16.2	<i>C.citriodora</i>	21,7	18,8	21,6	<b>20,7</b>
16.3	<i>C.citriodora</i>	17,8	19,2	18,5	<b>18,5</b>
16.4	<i>C.citriodora</i>	19,4	20,1	18,8	<b>19,4</b>
16.5	<i>C.citriodora</i>	18,7	20,3	19,9	<b>19,6</b>
16.6	<i>C.citriodora</i>	18,0	18,7	20,0	<b>18,9</b>
16.7	<i>C.citriodora</i>	17,4	14,4	14,7	<b>15,5</b>
17.1	<i>C.citriodora</i>	18,3	18,9	20,7	<b>19,3</b>
17.2	<i>C.citriodora</i>	18,2	18,4	18,4	<b>18,3</b>
18.1	<i>C.citriodora</i>	21,3	18,3	18,3	<b>19,3</b>
18.2	<i>C.citriodora</i>	20,4	20,8	22,7	<b>21,3</b>
<b>Teor de umidade médio do lote (%)</b>					<b>17,3</b>
<b>Coefficiente de variação (%)</b>					<b>28,2%</b>

Nota:

 Cruzeta reprovada no critério de umidade.

### 5.2.3 Dimensões das Cruzetas

Verifica-se, na Tabela 9, que 39 cruzetas apresentaram medidas que excederam, em pelo menos uma das dimensões, os valores estabelecidos pela NBR 8459 (2010): largura:  $90 \pm 2$  mm; altura:  $90 \pm 2$  mm; comprimento:  $2000 \pm 10$  mm ou pela Especificação Técnica CPFL 2900 (2009): largura:  $112 \pm 2,5$  mm; altura:  $90 \pm 2$  mm; comprimento:  $2000 \pm 10$  mm. No caso da altura e largura, 38 cruzetas (86%) apresentaram dimensões acima ou abaixo do erro permitido (Tabela 9). Isso ocorreu porque o equipamento de corte utilizado para a confecção das cruzetas não tinha a exatidão adequada para permitir que as peças fossem cortadas conforme exigido pelas normas.

As cruzetas 7.1, 7.2, 13.1, 13.3, e 15.1 (destacadas em cinza na Tabela 9) apresentaram valores de comprimento, largura e altura dentro dos limites estabelecidos pelas normas.

Para atendimento aos padrões da norma seria necessária a utilização de um equipamento de corte de cruzetas mais apropriado para esse tipo de serviço. Nesta pesquisa, os serviços foram realizados em uma serraria parceira do LabEND, que aceitou interromper sua produção normal para realizar serviços em pequena escala.

Devido a essas dificuldades, nesta pesquisa considerou-se que o critério das dimensões não deveria ser aquele que desclassificasse as cruzetas, já que no caso de uma fábrica ou de um serviço especializado contratado, esse problema não deveria existir. Portanto, os resultados obtidos pela avaliação dimensional foram desconsiderados da avaliação geral de desempenho das cruzetas.

Tabela 9 – Comprimento, largura, altura (mm) das cruzetas e os respectivos valores excedidos (mm) em relação aos limites exigidos pelas normas.

Cruzeta	Comprimento (mm)	Valor excedido (mm)	Altura (mm)	Valor excedido (mm)	Largura (mm)	Valor excedido (mm)
2.1	2.030,0	30	90,0	0,0	112,0	-0,5
2.2	2.030,0	30	99,7	9,7	104,2	14,2
4.1	2.010,0	10	94,0	4,0	120,0	7,5
4.2	2.040,0	40	101,0	11,0	117,5	5,0
5.1	2.020,0	20	93,8	3,8	99,0	9,0
6.1	1.998,0	-2	90,8	0,8	96,2	6,2
6.2	1.999,0	-1	94,4	4,4	113,6	1,1
7.1	2.000,0	0	90,9	0,8	113,9	1,4
7.2	1.999,0	-1	88,3	-1,7	90,4	0,3
7.3	2.000,0	0	98,1	8,1	123,8	11,3
7.4	2.000,0	0	90,0	0,0	116,0	3,5
9.1	2.004,0	4	90,8	0,8	93,6	3,6
9.2	2.003,5	4	98,0	8,0	97,6	7,6
10.1	2.000,3	0	96,8	6,8	91,9	1,9
10.2	2.000,4	0	90,1	0,1	97,5	7,5
11.1	2.000,0	0	92,1	2,1	97,3	7,3
11.2	2.003,0	3	91,5	1,5	93,9	3,9
13.1	2.000,1	0	89,4	-0,6	90,0	0,0
13.2	1.995,3	-5	88,3	-1,7	93,2	3,2
13.3	1.990,7	-9	91,5	1,5	90,9	0,9
13.4	2.000,1	0	92,9	2,9	93,7	3,7
14.1	1.979,5	-21	98,5	8,5	92,0	2,0
14.2	1.995,0	-5	90,2	0,2	92,3	2,3
14.3	1.980,0	-20	90,8	0,8	100,5	10,5
15.1	2.002,5	3	90,5	0,5	90,5	0,5
15.2	2.000,0	0	94,9	4,9	95,9	5,9
15.3	1.999,0	-1	90,1	0,1	96,7	6,7
15.4	2.002,5	3	98,3	8,3	94,4	4,4
15.5	1.968,0	-32	93,0	3,0	91,1	1,1
15.6	1.976,5	-24	89,5	-0,5	93,2	3,2
15.7	1.971,0	-29	94,6	4,6	88,1	-1,9
15.8	2.000,5	1	89,0	-1,0	93,4	3,3
15.9	1.995,5	-5	94,3	4,3	98,6	8,6
16.1	2.002,5	3	95,9	5,9	91,9	1,9
16.2	2.000,0	0	92,1	2,1	90,4	0,4
16.3	2.003,0	3	102,0	12,0	94,5	4,5
16.4	2.004,0	4	93,0	3,0	100,3	10,3
16.5	2.004,0	4	100,8	10,8	93,8	3,8
16.6	2.001,0	1	90,8	0,8	92,7	2,7
16.7	2.002,0	2	98,1	8,1	95,9	5,9
17.1	2.002,5	3	92,8	2,8	97,7	7,7
17.2	2.002,0	2	91,2	1,2	97,6	7,6
18.1	2.003,0	3	100,3	10,3	92,3	2,3
18.2	2.000,0	0	91,1	1,1	94,0	4,0

Nota:

 Dimensões não conformes com os padrões exigidos pelas normas.

 Cruzetas que apresentaram dimensões dentro dos limites estabelecidos pelas normas.

#### 5.2.4 Densidade das Cruzetas

Verificou-se que as cruzetas da espécie *C. citriodora* apresentaram, individualmente, valores de densidade, calculadas de acordo com a Equação 1, superiores ao valor mínimo prescrito pela NBR 8458 (2010), de  $810 \text{ kg.m}^{-3}$  (Tabela 10), com exceção da cruzeta 14.1 que apresentou densidade um pouco inferior ao valor mínimo ( $790 \text{ kg.m}^{-3}$ ).

Para cruzetas de *C. citriodora* o valor de densidade aparente média com 12% de umidade (Equação 3) foi de  $926 \text{ kg.m}^{-3}$ , cerca de 8% inferior ao valor de referência da norma NBR 7190 (1997) para a densidade aparente a 12% de umidade da madeira nova desta espécie ( $999 \text{ kg.m}^{-3}$ ). O valor médio de densidade das cruzetas de *C. citriodora*, calculada com a Equação 1, foi de  $1.021 \text{ kg.m}^{-3}$  (coeficiente de variação de 9,3%).

Por outro lado, cinco das dez cruzetas de outros eucaliptos foram reprovadas por apresentarem valores de densidade (Equação 1) inferiores a  $810 \text{ kg.m}^{-3}$  (Tabela 10).

Tabela 10 - Peso, comprimento, altura, largura e densidade das cruzetas\*.

Cruzetas	Peso (kg)	Comprimento (m)	Altura (m)	Largura (m)	Densidade (kg.m <sup>-3</sup> )
2.1	20,360	2,030	0,112	0,090	1.038
2.2	19,100	2,030	0,104	0,100	942
4.1	22,080	2,010	0,120	0,094	1.011
4.2	22,220	2,040	0,118	0,101	950
5.1	16,220	2,020	0,099	0,094	904
6.1	15,240	1,998	0,096	0,091	917
6.2	18,660	1,999	0,114	0,094	904
7.1	10,400	2,000	0,114	0,091	522
7.2	8,120	1,999	0,090	0,088	535
7.3	12,380	2,000	0,124	0,098	527
7.4	12,200	2,000	0,116	0,090	607
9.1	16,840	2,004	0,094	0,091	1.043
9.2	18,900	2,004	0,098	0,098	1.034
10.1	15,320	2,000	0,092	0,097	906
10.2	14,920	2,000	0,097	0,090	895
11.1	15,720	2,000	0,097	0,092	922
11.2	15,580	2,003	0,094	0,091	954
13.1	12,980	2,000	0,090	0,089	854
13.2	13,640	1,995	0,093	0,088	879
13.3	14,060	1,991	0,091	0,092	897
13.4	13,200	2,000	0,094	0,093	800
14.1	13,500	1,980	0,092	0,099	790
14.2	13,600	1,995	0,092	0,090	863
14.3	16,220	1,980	0,100	0,091	943
15.1	17,560	2,003	0,090	0,091	1.133
15.2	20,100	2,000	0,096	0,095	1.162
15.3	18,260	1,999	0,097	0,090	1.104
15.4	19,600	2,003	0,094	0,098	1.108
15.5	18,220	1,968	0,091	0,093	1.154
15.6	16,200	1,977	0,093	0,089	1.040
15.7	18,000	1,971	0,088	0,095	1.159
15.8	16,860	2,001	0,093	0,089	1.071
15.9	18,920	1,996	0,099	0,094	1.069
16.1	16,650	2,003	0,092	0,096	994
16.2	16,740	2,000	0,090	0,092	1.062
16.3	19,340	2,003	0,094	0,102	1.050
16.4	16,440	2,004	0,100	0,093	924
16.5	19,660	2,004	0,094	0,101	1.088
16.6	17,350	2,001	0,093	0,091	1.087
16.7	18,860	2,002	0,096	0,098	1.049
17.1	20,100	2,003	0,098	0,093	1.164
17.2	18,760	2,002	0,098	0,091	1.107
18.1	16,580	2,003	0,092	0,100	940
18.2	16,820	2,000	0,094	0,091	1.037
				<b>Média</b>	<b>958</b>
				<b>Coefficiente de variação (%)</b>	<b>17,1</b>

Nota: \*Equação 1:  $D \geq \frac{P_c}{(L*b*h) - k * \left( \frac{1+U}{1,15} \right)}$

■ Cruzetas reprovadas no critério de densidade mínima.

### 5.2.5 Resistência e flechas

Do ensaio de flexão estática das cruzetas foram obtidos os deslocamentos verticais nas extremidades 1 (Flecha 1) e 2 (Flecha 2) para o carregamento nominal (4000 N) e para o carregamento excepcional (5600 N), e os valores de carga de ruptura (Tabela 1 do Anexo 2 e exemplo na Tabela 11). Também foram obtidos os valores de deslocamentos residuais nas extremidades 1 (Flecha residual 1) e 2 (Flecha residual 2) para o carregamento nominal (4000 N) e excepcional (5600 N) (Tabela 2 do Anexo 2 e exemplo na Tabela 12).

Do total de 44 cruzetas ensaiadas, 29 (65,9%) foram aprovadas nos ensaios de flexão estática. Destaca-se que a totalidade das cruzetas aprovadas eram da espécie *C. citriodora*.

Em relação às cruzetas reprovadas, 10 (66,7%) se romperam durante o carregamento na carga nominal na primeira ou segunda face ensaiadas, sendo todas essas de outras espécies de eucaliptos.

De um total de 34 cruzetas que não romperam antes de terem sido ensaiadas até a carga excepcional, cinco cruzetas foram reprovadas porque a carga de ruptura foi inferior ao exigido pela norma. Ressalta-se que duas destas cruzetas também foram reprovadas no requisito de flecha máxima exigido pela Especificação Técnica CPFL 2893 (Tabelas 1 do Anexo 2).

Torna-se importante destacar que, adotaram-se os requisitos de flecha máxima da Especificação Técnica CPFL 2893 (2009), por serem mais restritivos (cerca de três vezes) do que a norma NBR 8458 (2010).

Tabela 11 – Exemplo da tabela obtida com resultados dos ensaios de flexão. Valores de deslocamentos verticais nas extremidades 1 (Flecha 1) e 2 (Flecha 2) para o carregamento nominal (4000 N) e excepcional (5600 N) e valores de carga de ruptura das cruzetas.

Cruzeta	Face ensaiada	Carga nominal (4000 N)		Carga excepcional (5600 N)		Carga de ruptura (N)
		Flecha 1 (mm)	Flecha 2 (mm)	Flecha 1 (mm)	Flecha 2 (mm)	
2.1	1	2,08	5,24	5,82	6,88	10.749
	2	5,64	3,52	6,94	8,30	
	3	2,28	5,82	5,66	6,40	
	4	5,72	3,38	6,42	7,94	
2.2	1	5,63	8,50	9,64	9,50	15.666
	2	5,56	6,70	8,41	9,19	
	3	5,46	6,15	8,00	8,62	
	4	6,21	6,61	7,45	9,18	
4.1	1	4,20	2,50	5,02	3,70	10.013
	2	3,64	3,08	5,46	5,06	
	3	5,40	1,44	6,66	3,42	
	4	4,54	3,60	5,82	5,50	
4.2	1	3,05	4,28	4,53	5,78	23.692
	2	3,55	5,20	5,86	6,00	
	3	2,73	6,55	5,12	7,74	
	4	4,25	5,04	6,90	6,62	
5.1	1	11,65	5,65	14,90	9,65	7.408
	2	9,14	8,09	13,00	10,10	
	3	9,48	9,87	14,55	13,65	
	4	10,32	8,80	13,10	13,05	
6.1	1	12,53	12,35	18,61	14,45	8.635
	2	11,08	14,59	17,24	17,89	
	3	11,75	9,61	17,65	14,49	
	4	14,60	8,40	19,00	13,15	
6.2	1	4,22	5,66	6,91	6,51	15.257
	2	5,04	4,42	6,46	5,94	
	3	6,50	6,43	8,81	8,81	
	4	6,38	6,42	8,88	8,79	
7.1	1	-	-	-	-	2.600
	2	-	-	-	-	
	3	-	-	-	-	
	4	-	-	-	-	
7.2	1	-	-	-	-	1.895
	2	-	-	-	-	
	3	-	-	-	-	
	4	-	-	-	-	
7.3	1	9,50	8,68	-	-	3.965
	2	-	-	-	-	
	3	-	-	-	-	
	4	-	-	-	-	
16.3	1	11,9	11,06	16,50	18,23	7.567
	2	10,72	20,62	14,45	18,46	
	3	15,75	13,25	21,31	29,27	
	4	13,80	10,02	18,20	15,55	

Nota:

- Cruzetas aprovadas no critério de carga de ruptura mínima.
- Cruzetas aprovadas no critério de flecha máxima.

Tabela 12 - Exemplo da tabela obtida com resultados dos ensaios de flexão. Valores de deslocamentos residuais nas extremidades 1 (Flecha residual 1) e 2 (Flecha residual 2) para o carregamento nominal (4000 N) e excepcional (5600 N).

Cruzeta	Face ensaiada	Carga nominal (4000 N)		Carga excepcional (5600 N)	
		Flecha residual 1 (mm)	Flecha residual 2 (mm)	Flecha residual 1 (mm)	Flecha residual 2 (mm)
2.1	1	1,36	0,78	2,82	0,78
	2	0,82	1,20	0,82	1,32
	3	0,56	0,00	1,14	0,60
	4	1,26	1,68	1,26	1,70
2.2	1	0,77	1,45	0,24	0,15
	2	0,76	0,31	0,00	0,24
	3	0,81	0,11	0,12	0,00
	4	1,07	0,00	0,15	0,00
4.1	1	0,18	0,00	0,24	0,06
	2	0,00	0,00	0,00	0,10
	3	1,48	0,00	3,10	1,84
	4	0,20	0,00	2,20	0,10
4.2	1	0,00	0,11	0,20	0,12
	2	0,49	0,37	0,00	0,00
	3	0,39	0,76	0,03	0,05
	4	0,36	0,19	0,32	0,05
5.1	1	1,70	0,00	0,60	0,51
	2	0,06	0,44	0,00	0,21
	3	0,17	0,10	0,20	0,27
	4	1,68	0,08	0,05	0,24
6.1	1	0,63	0,94	0,22	0,32
	2	1,70	2,29	0,89	0,45
	3	0,59	0,00	1,45	0,50
	4	0,39	0,36	0,37	0,23
6.2	1	0,05	0,00	0,05	0,00
	2	0,12	0,44	0,00	0,06
	3	0,00	0,16	0,75	0,13
	4	0,22	0,00	0,06	0,10
7.1	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	-	-	-	-
	4	-	-	-	-
7.2	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	-	-	-	-
	4	-	-	-	-
7.3	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	-	-	-	-
	4	-	-	-	-
7.4	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	-	-	-	-
	4	-	-	-	-

Torna-se importante ressaltar que do total de 15 cruzetas reprovadas nos ensaios de flexão, 11 (73,3%) também foram reprovadas em outros critérios, sendo duas delas em densidade (18,2%), cinco em inspeção visual (45,5%), uma (9%) em inspeção visual + teor de umidade, 2 (18,2%) em inspeção visual + densidade e 1 (9%) nos quatro critérios avaliados (visual, densidade, teor de umidade e flexão).

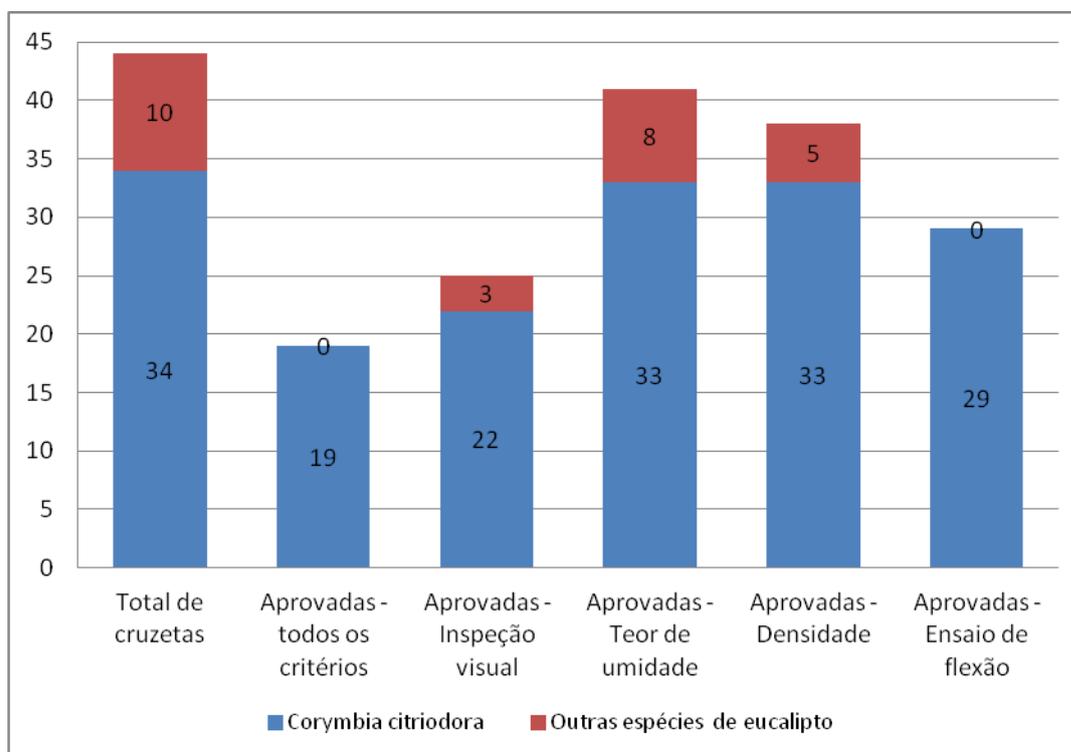
Analisando-se as 29 cruzetas aprovadas nos ensaios de flexão, verificou-se que as mesmas apresentaram valores de carga de ruptura que variaram entre 8.466 N (cruzeta 16.1 – Tabela 1 do Anexo 2) e 23.692 N (cruzeta 4.2 - Tabela 1 do Anexo 2).

### **5.2.6 Análise geral dos ensaios de aprovação das cruzetas**

Analisando-se o desempenho geral das cruzetas segundo os critérios avaliados (Figura 18), excetuando-se o critério de dimensões pelos motivos expostos no item 5.2.4, constatou-se que do total de 44 cruzetas:

- 43,2% das cruzetas foram aprovadas em todos os critérios;
- 56,8% foram aprovadas na inspeção visual;
- 93,2% foram aprovadas no critério de teor de umidade máximo;
- 86,4% foram aprovadas no critério de densidade mínima;
- 65,9% foram aprovadas nos critérios de ensaios de flexão.

Figura 18 - Total de cruzetas aprovadas por critérios de avaliação e por espécie de madeira.



Observa-se que todas as cruzetas de outras espécies de eucaliptos (Figura 18) foram reprovadas no ensaio de flexão.

Analisando-se apenas as 34 cruzetas de madeira *C. citriodora*, o resultado pode ser resumido da seguinte forma:

- 55,9% cruzetas foram aprovadas em todos os critérios;
- 64,7% foram aprovadas no critério análise visual;
- 97,1% foram aprovadas no critério de teor de umidade máximo;
- 97,1% foram aprovadas no critério de densidade mínima;
- 85,3% foram aprovadas nos critérios de ensaios de flexão.

Analisando-se as cruzetas de madeira de outras espécies de eucalipto, apesar de todas terem sido reprovadas nos ensaios de flexão, apenas 50% também foram reprovadas no critério de densidade mínima (7.1, 7.2, 7.3, 7.4 e 13.4 – Tabela 10). Contudo, as demais cruzetas de outras espécies de eucalipto aprovadas no critério de densidade mínima (10.1, 10.2, 13.1, 13.2, 13.3 – Tabela 10) foram aquelas que apresentaram as menores densidades do lote, com valores variando entre 854 e 906 kg.m<sup>-3</sup>.

Por outro lado, do total de seis cruzetas reprovadas no critério de densidade mínima (cinco eram de outras espécies de eucalipto e uma de *C. citriodora*), somente uma (*C. citriodora*) foi aprovada no ensaio de flexão (14.1 – Tabela 1 do anexo 2). Esse resultado indica que efetivamente a densidade é um critério que tem relação estreita com o comportamento da cruzeta em flexão.

O critério de inspeção visual, quando aplicado individualmente, reprovou 34% do total de 25 cruzetas reprovadas (Figura 19). Analisando-se apenas as cruzetas de *C. citriodora* o critério de inspeção visual individualmente reprovou 53% do total de 15 cruzetas reprovadas (Figura 20). As cruzetas reprovadas somente no critério de inspeção visual foram todas da madeira *C. citriodora*. Apesar de não terem sido consideradas aceitáveis visualmente, essas cruzetas apresentaram bom desempenho físico e mecânico, pois foram aprovadas no ensaio de densidade e de flexão.

Considerando que a proposta deste trabalho consiste no reúso de cruzetas retiradas de madeira usada (postes retirados da rede), o presente estudo aponta que a análise visual sozinha não se mostra adequada para descartar uma cruzeta. Portanto, na avaliação de cruzetas produzidas a partir de madeira proveniente de postes usados, o ensaio de inspeção visual deveria ser revisto para melhor se adequar às condições de madeira que já esteve por muitos anos em serviço e, portanto, sujeita à desgastes naturais. É importante salientar, ainda, que os postes não possuem nenhuma proteção superficial, como tinturas, vernizes ou Stein, ficando ainda mais sujeitos ao envelhecimento natural provocado pela exposição ao sol e chuvas. Uma vez que este envelhecimento não prejudique a resistência residual da madeira, a ponto de a cruzeta ser aprovada em relação à sua capacidade portante (resistência e rigidez), sua aparência não deveria ser considerada como impeditivo para reúso ou reciclagem.

Considerando a reprovação das cruzetas por mais de um critério verifica-se que a inspeção visual associada a outros critérios desclassificou 11 cruzetas (44% do total de 25 cruzetas reprovadas) enquanto seis cruzetas (24% do total de 25 cruzetas reprovadas) foram desclassificadas nos critérios densidade e ensaio de flexão.

Para a aprovação de cruzetas provenientes de madeira usada, as atuais normas de classificação de cruzetas de madeira não se mostraram adequadas nos requisitos de avaliação visual e análise dimensional. Portanto, no caso de reúso de madeira para fabricação de cruzetas é necessária a adaptação das normas existentes em relação aos aspectos visuais que desclassificam uma cruzeta, além de aumentar os limites de tolerância quanto à exatidão das

dimensões das peças. É importante destacar que, no caso das dimensões, espera-se que haja maior exatidão se houver contratação de serviço específico para este tipo de desdobro.

Portanto, desconsiderando-se as cruzetas que foram reprovadas isoladamente na inspeção visual, 27 cruzetas de *C. citriodora* produzidas seriam aprovadas, representando 79,4% do total delas (34).

Figura 19 - Total de cruzetas reprovadas por critérios de avaliação.

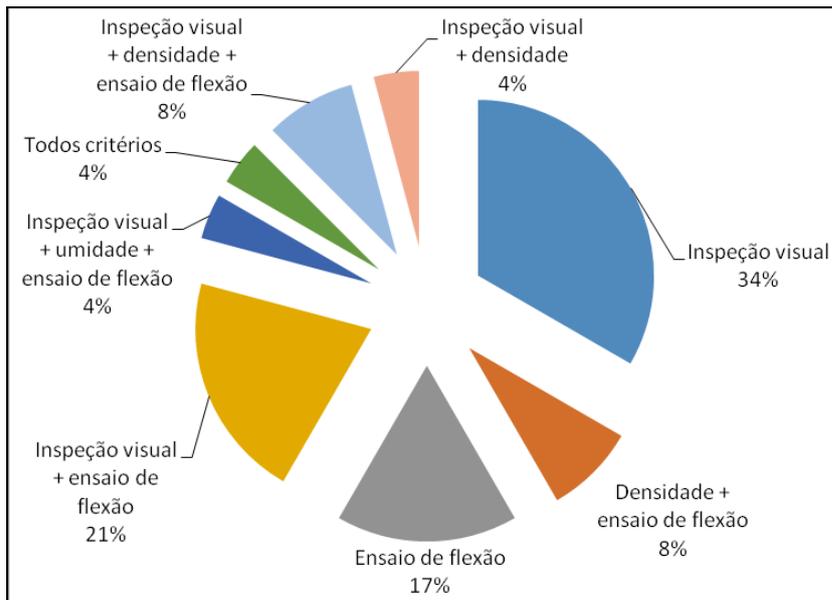
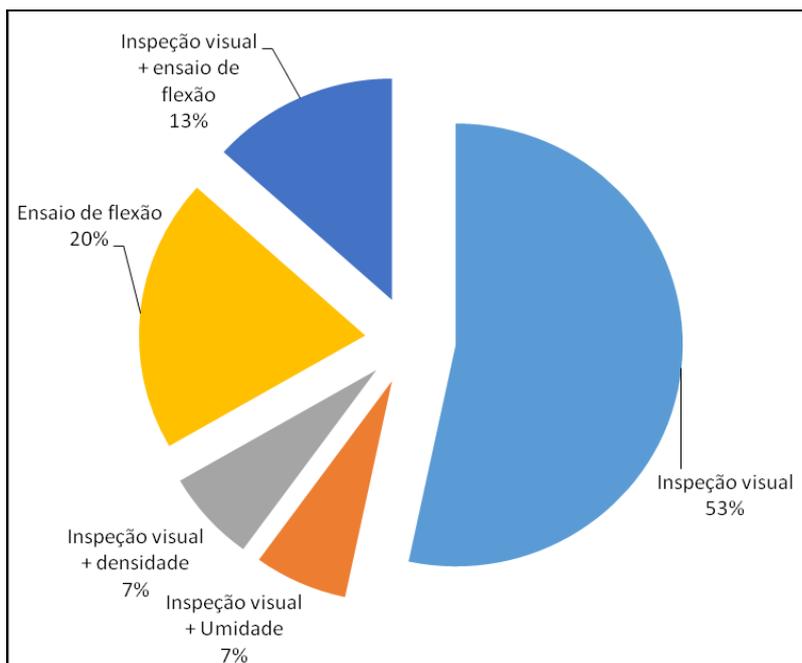


Figura 20 - Total de cruzetas de *C. citriodora* reprovadas por critérios de avaliação.



### 5.3 Análise química

As amostras retiradas do alburno de alguns postes, local onde se espera ocorrer maior penetração do tratamento preservativo, apresentaram retenção média dos componentes químicos de  $9,9 \text{ kg.m}^{-3}$  (Tabela 13), valor levemente superior à retenção mínima esperada no tratamento, que é de  $9,6 \text{ kg.m}^{-3}$  (NBR 8456, 1984). Contudo, analisando-se o balanceamento dos componentes químicos, verificou-se que os teores de cromo (66,7%) e de cobre (33,3%) - Tabela 13 - se encontravam acima dos máximos esperados (53,2% para o cromo e 22,8% para o cobre), enquanto para o arsênio nenhuma porcentagem foi observada (Tabela 13), sendo o mínimo esperado de 40,7%.

No caso da amostra retirada do cerne, o resultado indicou retenção praticamente nula dos produtos químicos ( $0,9 \text{ kg.m}^{-3}$ ) – Tabela 13, valor esse inferior ao valor mínimo ( $9,6 \text{ kg.m}^{-3}$ ), sendo detectado apenas o cobre na amostra. Isso já era esperado uma vez que o cerne é constituído de células mortas, com baixa porosidade e sem atividade de condução de seiva, fazendo com que o tratamento preservativo seja praticamente inviável.

A análise dos resíduos provenientes do desdobro dos postes (Tabela 13), material que contém uma mistura de cerne e de alburno, mostrou que o teor de produtos químicos ainda é elevado ( $5,7 \text{ kg.m}^{-3}$ ), permitindo detectar a presença de todos os elementos químicos da solução preservativa, com o cromo apresentando o maior teor (57,9%), seguido de cobre (21,1%) e do arsênio (21,1%).

Ressalta-se que as amostras analisadas foram provenientes de postes de eucalipto que apresentavam diferentes características quanto a idade, a densidade, a porosidade e a tratabilidade, resultando na grande variabilidade das amostras.

Tabela 13 - Retenção dos ingredientes ativos cromo, cobre e arsênio nas amostras, distribuição dos teores dos ingredientes ativos e os respectivos padrões de distribuição exigidos pela NBR 8456 (1984).

Amostra	Ingredientes ativos	Distribuição dos teores de ingredientes ativos (kg.m <sup>-3</sup> )	Balanço químico		
			Resultado (%)	Padrão	
				Mínimo	Máximo
Amostra 1 - Alburno	Teor de CrO <sup>3</sup> (Cromo)	6,6	66,7	41,8	53,2
	Teor de CuO (Cobre)	3,3	33,3	15,2	22,8
	Teor de As <sup>2</sup> O <sup>5</sup> (Arsênio)	0,0	0,0	27,3	40,7
	Retenção total (kg ingrediente ativo.m <sup>-3</sup> )	9,9			
Amostra 2 - Cerne	Teor de CrO <sup>3</sup> (Cromo)	0,0	0	41,8	53,2
	Teor de CuO (Cobre)	0,9	100	15,2	22,8
	Teor de As <sup>2</sup> O <sup>5</sup> (Arsênio)	0,0	0	27,3	40,7
	Retenção total (kg ingrediente ativo.m <sup>-3</sup> )	0,9			
Amostra 3 - Pó de serra (alburno + cerne)	Teor de CrO <sup>3</sup> (Cromo)	3,3	57,9	41,8	53,2
	Teor de CuO (Cobre)	1,2	21,1	15,2	22,8
	Teor de As <sup>2</sup> O <sup>5</sup> (Arsênio)	1,2	21,1	27,3	40,7
	Retenção total (kg ingrediente ativo.m <sup>-3</sup> )	5,7			

Fonte: Laudos de análises químicas realizados pela empresa *Montana Química S.A.*

Em relação à amostra de resíduos provenientes do desdobro dos postes de madeira, a concentração de arsênio foi de 1,35 mg.L<sup>-1</sup>, valor superior ao limite exigido pela norma (1 mg.L<sup>-1</sup>), sendo o material considerado como resíduo Classe I – Resíduo Perigoso (Tabela 14).

A primeira amostra de resíduos de cruzetas de madeira foi classificada como Classe II A: Resíduo Não Perigoso – Não Inerte (Tabela 14). Nessa amostra foram encontradas concentrações superiores ao limite exigido pela norma das seguintes substâncias: fenóis totais, alumínio, arsênio, chumbo, cobre, cromo total, ferro e manganês. Destaca-se que Resíduo Classe II A podem ter propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

A segunda amostra de resíduos de cruzetas de madeira foi classificada como Classe I – Resíduo Perigoso, uma vez que foi constatada concentração de arsênio superior a 1 mg.L<sup>-1</sup> no ensaio de lixiviação (Tabela 14).

Ressalta-se que as amostras 2 e 3 foram obtidas de cruzetas retiradas de diferentes postes, as quais podem apresentar diferenciação quanto ao tempo de uso e quanto à posição radial (retiradas do cerne ou do alborno) e longitudinal (diferentes alturas) no poste. Esses são prováveis fatores da divergência entre os resultados das análises.

Tabela 14 - Classificação da amostra quanto ao tipo de resíduo, valores de concentração de substâncias excedidos e limites exigidos pela NBR 10004 (2004) considerando a lixiviação (Anexo F: Concentração – limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação) e a solubilização (Anexo G: Padrões para o ensaio de solubilização).

<b>Amostra</b>	<b>Substâncias</b>	<b>Concentrações identificadas (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Valor limite (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Anexo da NBR 10004</b>	<b>Classificação</b>
<b>Amostra 1 - Resíduos de postes de madeira</b>	Arsênio	1,35	1	Anexo F	Classe I - Resíduo Perigoso
<b>Amostra 2 - Resíduo de cruzetas ensaiadas em 2013</b>	Fenóis totais	0,032	0,1	Anexo G	Classe II A - Resíduo não perigoso – não inerte
	Alumínio	0,5	0,2	Anexo G	
	Arsênio	0,59	0,01	Anexo G	
	Chumbo	0,12	0,01	Anexo G	
	Cobre	6,65	2	Anexo G	
	Cromo total	10,8	0,05	Anexo G	
	Ferro	1,16	0,3	Anexo G	
	Manganês	1,39	0,1	Anexo G	
<b>Amostra 3 - Resíduo de cruzetas ensaiadas em 2015</b>	Arsênio	1,24	1	Anexo F	Classe I - Resíduo Perigoso

Fonte: Laudos de análises químicas realizadas pela empresa *TASQA – Serviços Analíticos Ltda.*

Considerando a proposta da pesquisa, a quantidade de análises químicas não tiveram como objetivo obter resultados conclusivos a respeito do tema. As análises químicas foram realizadas apenas com o intuito de reforçar a ideia da importância de se dar um destino correto aos postes de madeira retirados da rede, já que mesmo após muitos anos de uso, os resíduos dos postes continuam a ser classificados como resíduo perigoso. Além disso, os resultados das análises químicas mostram que o cerne encontra-se praticamente não contaminado quimicamente e, conforme ficou demonstrado anteriormente, a metodologia utilizada no desdobro dos postes em cruzetas faz com que a maior parte das cruzetas sejam

retiradas do cerne. Assim, a cruzeta além de permitir que parte da madeira do poste continue em uso (aumentando o tempo de fixação do carbono), pode ser considerado um material mais limpo do que o poste para o descarte. No entanto, considerando que o resultado indicou que parte das cruzetas pode ser classificada como resíduo perigoso, cuidados devem ser tomados durante a cadeia produtiva de cruzetas provenientes de madeira tratada.

#### **5.4 Análise do resíduo gerado no processo de fabricação de cruzetas**

Diminuindo-se o volume de madeira utilizado na fabricação das cruzetas aprovadas (Tabela 16) do volume total de madeira inspecionada para possível reúso, correspondente aos 18 postes inteiros (Tabela 15), verificou-se que, aproximadamente, 5,47 m<sup>3</sup> (91,6%) de madeira não foi reaproveitada no processo de produção de cruzetas.

Contudo, analisando-se o potencial de reúso da madeira de boa qualidade (ou seja, excluindo-se os postes reprovados nas inspeções por ultrassom e a madeira proveniente da base engastada e do topo dos postes) estima-se um reúso de 16,5% do total de madeira (3,034 m<sup>3</sup>) para obtenção de cruzetas. Considerando-se ainda a venda de 70% das cruzetas reprovadas (Tabela 17), o reúso da madeira passa a ser de 23,6%.

Analisando-se somente os postes da espécie *C. citriodora*, que efetivamente apresentam maior potencial de reúso, do total de madeira em boas condições para reúso (proveniente de 11 postes, excluindo-se os postes reprovados nas inspeções por ultrassom e a madeira proveniente da base engastada e do topo) seria reaproveitado 21% do total de madeira (2,336 m<sup>3</sup>) para obtenção de cruzetas. Considerando-se a venda de 70% das cruzetas reprovadas da madeira *C.* (Tabela 17), o reúso da madeira seria de 25%.

Tabela 15 - Volume total\* dos postes ensaiados – base, meio e topo e volume total.

Poste	Volume da Base (m <sup>3</sup> )	Volume do Meio (m <sup>3</sup> )	Volume do Topo (m <sup>3</sup> )	Volume total (m <sup>3</sup> )
1	0,073	0,140	0,033	0,246
2	0,065	0,167	0,034	0,266
3	0,116	0,250	0,057	0,424
4	0,095	0,183	0,080	0,359
5	0,069	0,140	0,030	0,239
6	0,069	0,193	0,032	0,294
7	0,047	0,255	0,062	0,365
8	0,083	0,127	0,038	0,247
9	0,042	0,175	0,050	0,266
10	0,041	0,197	0,051	0,289
11	0,017	0,120	0,045	0,181
12	0,058	0,211	0,042	0,311
13	0,098	0,246	0,053	0,397
14	0,041	0,177	0,015	0,233
15	0,105	0,374	0,101	0,579
16	0,123	0,382	0,117	0,622
17	0,110	0,228	0,029	0,368
18	0,066	0,198	0,017	0,281
<b>Total</b>	<b>1,319</b>	<b>3,762</b>	<b>0,886</b>	<b>5,967</b>
<b>Média</b>	<b>0,073</b>	<b>0,209</b>	<b>0,049</b>	<b>0,332</b>
<b>Coefficiente de variação</b>	<b>40,806</b>	<b>35,173</b>	<b>55,041</b>	<b>35,190</b>
<b>Média</b>				
<b><i>C. citriodora</i></b>	<b>0,076</b>	<b>0,204</b>	<b>0,048</b>	<b>0,328</b>
<b>Coefficiente de variação</b>	<b>40,033</b>	<b>38,790</b>	<b>61,705</b>	<b>38,593</b>
<b>Volume de madeira em boas condições para reuso (m<sup>3</sup>) **</b>				<b>3,034</b>

Nota:

- Postes de outros eucaliptos.  
 Postes reprovados nas inspeções por ultrassom.

\*considerando as partes dos postes que foram descartadas no início dos ensaios por não apresentarem características para reuso, como a base antes do ponto de afloramento (parte que se manteve soterrada durante sua vida útil e apresenta sinais de deterioração por microorganismos) e o topo (parte com presença de furos devido aos equipamentos instalados na rede).

\*\*Excluindo-se a madeira proveniente dos postes reprovados nas inspeções por ultrassom (postes N° 1, 3, 8 e 12), e da base e do topo dos postes.

Tabela 16 - Volume das cruzetas aprovadas por teor de umidade, densidade e flexão, segundo critérios da Especificação Técnica CPFL 2893 (2009) e da NBR 8458 (2010).

<b>Cruzeta</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
2.1	0,020
2.2	0,021
4.1	0,023
4.2	0,024
6.1	0,017
6.2	0,021
9.1	0,017
9.2	0,019
14.3	0,018
15.1	0,016
15.2	0,018
15.3	0,017
15.4	0,019
15.5	0,017
15.7	0,016
15.8	0,017
15.9	0,019
16.1	0,018
16.2	0,017
16.4	0,019
16.5	0,019
16.6	0,017
16.7	0,019
17.1	0,018
17.2	0,018
18.1	0,019
18.2	0,017
<b>Total</b>	<b>0,500</b>

Tabela 17 - Volume das cruzetas reprovadas por teor de umidade, densidade e flexão, segundo critérios da Especificação Técnica CPFL 2893 (2009) e da NBR 8458 (2010).

<b>Cruzeta</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
5.1	0,019
7.1	0,021
7.2	0,016
7.3	0,024
7.4	0,021
10.1	0,018
10.2	0,018
11.1	0,018
11.2	0,017
13.1	0,016
13.2	0,016
13.3	0,017
13.4	0,017
14.1	0,018
14.2	0,017
15.6	0,016
16.3	0,019
<b>Total</b>	<b>0,308</b>

Nota:

 Cruzetas de outras espécies de eucalipto.

Considerando-se os volumes de madeira do poste e das cruzetas dele retiradas verificou-se que, após a produção das cruzetas, haverá grande volume de resíduos que deverá ser destinado para outros usos.

Cruzetas retiradas da rede de energia possuem valor no mercado de arquitetura tornando-se uma opção desejada em função do seu baixo custo e da sua aparência rústica. Essas cruzetas usadas são comercializadas para paisagismo, revestimento geral, decks, assoalhos, fachadas e pisos. Dessa forma, as cruzetas não aprovadas pela norma poderiam ser também comercializadas ou utilizadas para paisagismo nas próprias instalações da CPFL Energia.

Resíduos resultantes do processo de corte e de desdobro poderiam ser reaproveitados na produção de painéis particulados, na produção de compósitos (placas e painéis de madeira-polímero ou de madeira-cimento) ou ainda na geração de energia (pirólise).

É importante ressaltar que, a presente pesquisa foi desenvolvida dentro de um amplo Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento financiado pela CPFL Energia, onde um grupo de pesquisa da Universidade de Caxias do Sul – RS estudou outras formas de reúso de madeira tratada com CCA.

Segundo resultado de pesquisa da Universidade de Caxias do Sul mostra-se viável a fabricação de compósito madeira-polímero, utilizando-se resíduos de madeira tratada (ZIMMERMANM & ZATTERA, 2013). Foi estudada a alternativa de reforçar um compósito de base polimérica com resíduos de postes de madeira tratados com CCA e com resíduos de isoladores de porcelana retirados da rede de energia elétrica. Os postes de madeira CCA foram cortados, triturados e reciclados por meio de lixiviação ácida utilizando 0,2 e 0,4  $\text{NH}_2\text{SO}_4$ , a  $70^\circ\text{C}$  e, em seguida, lavado e seco. Os resultados indicaram que o acréscimo de pó de serra de madeira aumentou a resistência à tração e à flexão do compósito de base polimérica. Os compósitos obtidos a partir de madeira tratada com 0,2  $\text{NH}_2\text{SO}_4$  exibiram as propriedades mecânicas mais elevadas dentre os compósitos.

Na Universidade de Caxias do Sul também foi desenvolvido um estudo sobre a viabilidade técnica de efetuar-se a pirólise de resíduos de madeira tratada com CCA para geração de energia. Contudo, ainda não foram publicados os resultados dessa pesquisa.

Conforme mencionado no Capítulo 3.3, existem diversos estudos sendo realizados no mundo inteiro com o objetivo de encontrar alternativas de reúso de resíduos de madeira tratada.

Esta pesquisa estudou uma alternativa de reúso da parte mais nobre dos postes e com melhores características mecânicas para a obtenção de cruzetas de puro cerne. Contudo, verificou-se que o processo de fabricação de cruzetas gera quantidade significativa de resíduos. Portanto, para que a problemática do uso e descarte inadequados dos resíduos de postes de madeira seja resolvida de forma mais eficaz, é preciso que sejam implementadas paralelamente outras tecnologias de reúso dos resíduos de madeira tratada.

## **5.5 Estudo de Viabilidade Econômica da proposta de reúso dos postes de madeira para obtenção de cruzetas**

### **5.5.1 Condicionantes para a proposta de reúso de postes de madeira descartados**

Existem algumas condicionantes que foram consideradas na análise econômica:

- Disponibilidade de postes de eucalipto de *C. citriodora* sendo de, aproximadamente, 80% do total de postes de eucalipto da rede da CPFL disponível para reúso, utilizando como base a amostragem enviada nesta pesquisa pela CPFL;
- Disponibilidade de veículo adequado para o transporte de postes do local de retirada até a serraria;
- Taxa anual de reposição das cruzetas de duas vezes a taxa de reposição dos postes (com base em dados fornecidos pela CPFL);
- Custo de transporte equivalente ao que a CPFL possui atualmente no processo de transporte: (i) do ponto de retirada dos postes até as EAs localizadas no Estado de São Paulo; e, (ii) das EAs até a CPFL Serviços;
- Disponibilidade de serrarias em diferentes regiões do Estado de São Paulo para realizar os serviços terceirizados de corte e de desdobro dos postes;
- Garantia de que as serrarias produzam cruzetas em conformidade com as dimensões e furação estabelecidas pelas normas;
- Aceitação pela CPFL de cruzetas com aspecto visual de menor qualidade em relação às cruzetas novas;
- Quantidade de cruzetas aprovadas como sendo, aproximadamente, 79% do total de cruzetas produzidas;
- Disponibilidade de venda de 70% das cruzetas reprovadas para o mercado de demolição;
- Disponibilidade de tecnologia para reúso dos resíduos gerados no processo de fabricação das cruzetas, não sendo consideradas na análise econômica possíveis despesas ou receitas relacionadas ao processamento desses resíduos.

### 5.5.2 Análise da viabilidade de utilização dos postes, em termos de quantidade e demanda disponível para reúso

Com base na quantidade (em kg) de postes descartados por Estações Avançadas - EAs da CPFL no Estado de São Paulo, no período de janeiro de 2011 a maio de 2012 (Tabela 18), foi considerado que a taxa de reposição de postes de madeira é de 2.995 postes por mês, ou seja, 35.944 postes por ano.

Tabela 18 - Quantidade (kg) e número dos postes de madeira retirados por EA no Estado de São Paulo no período 01/2011 a 05/2012.

EA	kg <sup>1</sup>	Postes <sup>2</sup> (unidades)
Paulista	3.401.200	10.696
Piratinga	9.382.800	29.506
Santa Cruz	280	1
Leste Paulista	2.896.800	9.109
Sul Paulista	504.560	1.587
Jaguari	7.330	23
Mococa	0	0
<b>Total</b>	<b>16.192.970</b>	<b>50.921</b>

Fonte:

<sup>1</sup>Dados fornecidos pela CPFL em 2012 (Projeto de P&D PA 0037 – MATRIZ HIGH TECH DE REÚSO E DESCARTE LIMPO NA CPFL).

<sup>2</sup> Considerado que cada poste tem em média 0,332 m<sup>3</sup> e a densidade média é de 958 kg.m<sup>3</sup>, portanto, cada poste pesa, em média, 318 kg.

Segundo informações da CPFL, em abril de 2015 haviam 543.740 postes de madeira instalados na rede de distribuição de energia da CPFL (abrangência de 234 municípios do Estado de São Paulo – cerca de 70% do território estadual). Dentre esse total, 81,4% eram postes de eucalipto (442.741 unidades).

Considerando a atual prática da empresa de substituição de postes de madeira por postes de concreto, espera-se significativa geração de resíduos de madeira nos próximos anos.

Considerando os resultados obtidos nesta pesquisa (Item 5.1 – Tabela 5), dos 18 postes de eucalipto recebidos, 14 foram considerados aptos para serem reaproveitados na confecção de cruzetas, contudo, três eram de outros eucaliptos, que produziram cruzetas reprovadas nos critérios mínimos de norma. Portanto, do total de 18 postes apenas 11 (61,1%) foram considerados aptos para reúso nesta destinação específica (cruzetas). Desta forma,

pode-se considerar que haverá, em média, 21.962 postes de eucalipto disponíveis para reúso por ano.

Considerando que há um total de 442.741 unidades de postes de eucalipto instalados na rede, e que a taxa de reposição dos postes é de 35.944,4 postes por ano, estima-se que seriam necessários aproximadamente 12,3 anos para reposição de todos os postes de madeira de eucalipto no Estado de São Paulo.

Considerando a disponibilidade de 21.962 postes bons por ano e, tomando como base que cada poste produz em média 3,1 cruzetas (do total de 14 postes aprovados na inspeção por ultrassom foram obtidas 44 cruzetas), pode-se concluir que há matéria-prima suficiente para produzir 68.082 cruzetas por ano. Utilizando-se os resultados médios desta pesquisa, seriam aprovadas, pelos critérios da norma, 79,4% desse total (conforme resultados detalhados no item 5.2.6), totalizando cerca de 54.057 cruzetas aptas para comercialização por ano.

Seguindo a mesma estratégia atual da CPFL de deixar de utilizar a madeira, atualmente as cruzetas poliméricas e de concreto leve são as mais comumente utilizadas pela empresa. Contudo, ainda são utilizadas cruzetas de madeira em casos especiais (cerca de 15% do total), como por exemplo, quando há a necessidade técnica em se utilizar cruzetas com característica de furação diferente da especificada na norma, uma vez que, apenas as cruzetas de madeira permitem a alteração na localização e nos tipos de furos.

Considerando que a taxa anual de utilização/reposição de cruzetas novas é duas vezes a taxa de reposição dos postes, totalizando 71.889 cruzetas, e que apenas 15% das cruzetas repostas são de madeira, seriam necessárias, por ano, 10.783 cruzetas de madeira, valor inferior à quantidade que poderia ser produzida.

Verifica-se que a disponibilidade de matéria-prima possibilita a produção de um número de cruzetas muito superior à demanda anual. Portanto, nesta pesquisa a capacidade de produção foi limitada na demanda de cruzetas por ano, ou seja, ao total de cruzetas que se fossem fabricadas seriam utilizadas dentro da cadeia produtiva da empresa. Para os cenários 1 e 2 foi considerada a demanda de reposição de cruzetas calculada como sendo 15% do total da demanda anual. Para os cenários 3 e 4 foi considerada a possibilidade da CPFL aumentar o uso de cruzetas de madeira, atingindo 22% da demanda total.

### **5.5.3 Cadeia atual de venda e descarte de resíduos**

Segundo informações da CPFL Energia, atualmente a empresa CPFL Serviços faz a gestão da venda e descarte dos resíduos de madeira tratada. A CPFL Serviços é uma empresa terceirizada da CPFL Energia, localizada no município de São José do Rio Pardo no Estado de São Paulo.

Os postes retirados da rede são transportados até as sete EAs de São Paulo, onde são armazenados até a retirada realizada pela empresa CPFL Serviços. Esta, por sua vez, vende os postes ou as toras (madeira já cortada do poste) para madeireiras e serrarias cadastradas pela empresa. Esse material é geralmente usado para a construção de cercas, partes de construções residenciais, estufas, pergolados, partes de pontes e quiosques, ou então reduzidos em partes menores para serem utilizados como bancos, banquetas e mourões.

O valor que a CPFL paga para a CPFL Serviços inclui a retirada de toda a sucata gerada, incluindo materiais sem valor de revenda (como entulho, etc). Desta forma, torna-se difícil mensurar o valor do poste vendido separadamente. Contudo, foi informado que, em julho de 2016, o valor dos postes vendidos pela CPFL Serviços era de cerca de R\$ 50,00.

### **5.5.4 Descrição das alternativas de investimento**

Foram definidas duas alternativas de investimento, sendo a primeira de produção própria em fábrica nova e a segunda considerando a contratação de serviços de terceiros para a fabricação das cruzetas.

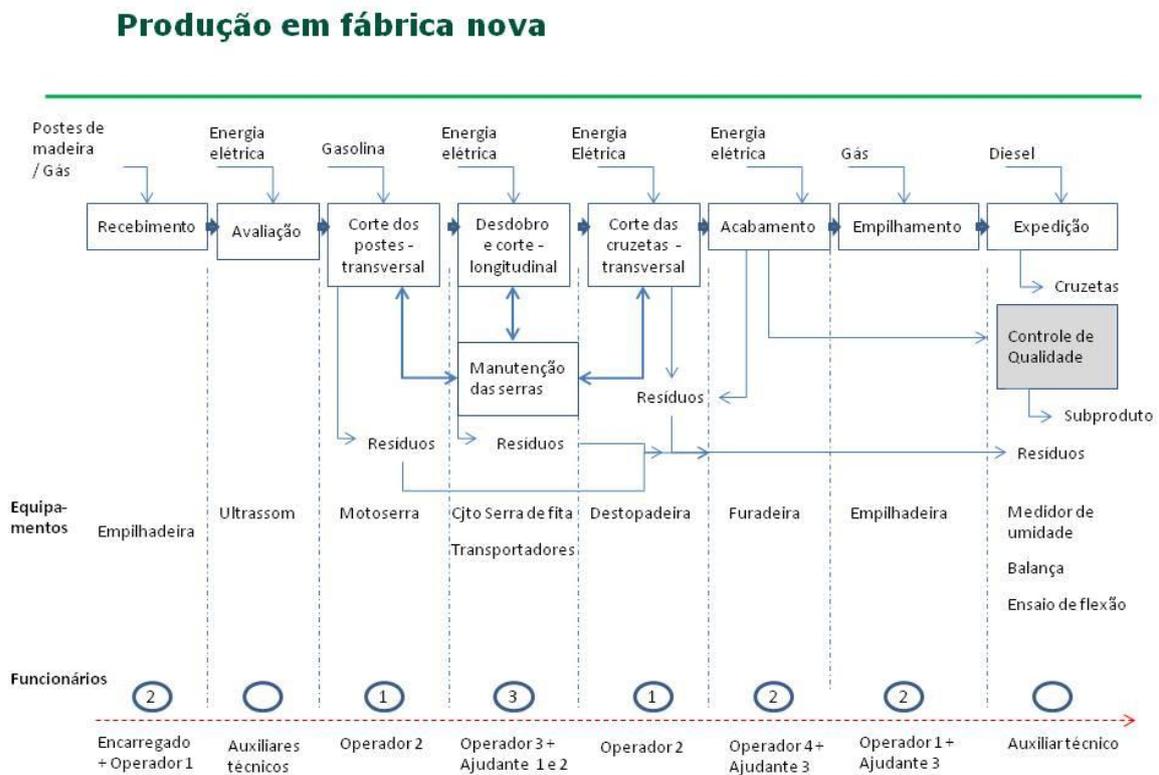
#### 1ª Alternativa: Construção de fábrica nova

Uma das propostas estudadas foi a de implantação de uma fábrica em um terreno próprio da empresa, localizado em ponto estratégico para receber os postes retirados da rede proveniente de todo o Estado de São Paulo.

Para a construção da fábrica seria necessário um terreno de, aproximadamente, 500 m<sup>2</sup>, onde seria construído um galpão para corte e desdobro dos postes (de 300 m<sup>2</sup>) e uma área externa para estocagem da madeira e do resíduo gerado no processamento.

O fluxograma do processo de fabricação de cruzetas de madeira (Figura 21) contempla informações das entradas (matéria-prima e energia) e saídas (resíduos, produtos e subprodutos) do processo, os principais equipamentos e acessórios e a demanda por mão-de-obra em cada etapa do processo.

Figura 21 - Fluxograma do processo de fabricação de cruzetas em uma fábrica construída para esta finalidade específica.



Conforme apresentado na Figura 21, o processo de fabricação de cruzetas consiste nas seguintes etapas:

a) *Recebimento:*

- Os postes retirados da rede são transportados por caminhão munck e são descarregados em um pátio de armazenamento. Posteriormente, é utilizada empilhadeira para transportes dos postes.

b) *Avaliação:*

- Os postes são inspecionados por ultrassom, a cada 20 mm (longitudinalmente e a partir do ponto do engastamento) para avaliar se apresentam volume suficiente de madeira com resistência residual compatível com a necessária para fabricar as cruzetas. Havendo regiões do poste com 11 medições seguidas apresentando velocidade radial de propagação de onda superior ao valor crítico (estabelecido no P&D 133) o poste é considerado adequado para obtenção de cruzetas.

c) *Corte dos postes – transversal:*

- Com uso de motosserra os postes são cortados transversalmente nas regiões marcadas no passo anterior (comprimentos próximos a 2000 mm correspondentes às 11 medições de ultrassom). Assim são produzidas as toras. Nessa etapa serão retirados todos os materiais ferrosos que possam estar fixados nas toras, como pregos, parafusos, chapas, etc.

d) *Desdobro e corte- longitudinal:*

- As toras são depositadas no carro porta-toras pneumático, que as direcionam automaticamente ao equipamento de serra-de-fita, onde se inicia o processo de retirada das costaneiras e, posteriormente, de desdobro da tora para obtenção da madeira serrada nas dimensões estabelecidas na Especificação Técnica CPFL 2900 (ou outra que esteja em uso na companhia).

e) *Corte das cruzetas – transversal:*

- As peças de madeira obtidas da etapa anterior são cortadas no comprimento indicado pela concessionária (Especificação Técnica CPFL 2900 ou outra que esteja em uso na companhia) utilizando-se de destopadeira manual.

f) *Acabamento:*

- As cruzetas passam então por furações, conforme detalhado na Especificação Técnica CPFL 2900/2009.

g) *Controle de qualidade:*

- No local de fabricação será realizado o controle de qualidade que consistirá nas seguintes análises: (i) inspeção visual, (ii) verificação das dimensões, (iii) determinação da densidade, e (iv) teor de umidade de amostras de um lote, conforme Especificação Técnica CPFL 2893 (2009). Serão contratados serviços de terceiros para realização de ensaios de flexão atendendo às exigências de número mínimo de amostras da Especificação Técnica CPFL 2893 (2009).

h) *Empilhamento:*

- Após a furação as cruzetas são empilhadas manualmente em paletes de madeira com, no mínimo, 400 mm de altura em relação ao solo.

i) *Expedição:*

- Utilizando-se de empilhadeiras as cruzetas são transportadas até a área de estocagem localizada em ambiente coberto, limpo e bem ventilado.

Os equipamentos necessários para a fabricação e classificação das cruzetas são:

- Equipamento de ultrassom e transdutores (faces exponenciais, frequência de ressonância de 45 kHz): Utilizado para verificar as partes dos postes em estado adequado para a fabricação das cruzetas.

- Motosserra: corte dos postes nas regiões indicadas pelo ultrassom para obtenção das toras das quais serão produzidas as cruzetas;

- Serra-de-fita: Retirada das costaneiras e desdobro nas dimensões estabelecidas para as cruzetas;

- Destopadeira: corte da cruzeta nos comprimentos estabelecidos;

- Medidor de umidade;

- Balança: para a determinação da massa das cruzetas;

- Empilhadeira: transporte das toras do pátio para a serra-de-fita;

A mão-de-obra para a fabricação e classificação das cruzetas consistirá em:

- 1 encarregado;
- 4 operadores;
- Auxiliares técnicos;
- 3 ajudantes de produção.

É importante ressaltar que, em todas as etapas do processo de produção, devem ser adotadas medidas de segurança do trabalho, buscando prevenir os riscos relacionados ao manuseio de equipamentos e o contato com material contendo substâncias químicas perigosas, provenientes do tratamento preservativo da madeira.

A potência instalada do maquinário da serraria (dado informado pelo fabricante) é de 140 cv, equivalente a 103 kW. Em uma serraria nem todos os motores funcionam ao mesmo tempo com a carga total, sendo assim, normalmente se considera um fator de simultaneidade de 0,7. Portanto, estima-se uma potência total em funcionamento de  $0,7 \times 103 \text{ kW} = 72,1 \text{ kW}$ . Considerando que a serraria opere 8 horas por dia e 22 dias por mês, o consumo energético para manter o processo produtivo em operação é estimado em aproximadamente 13 MWh por mês. Destaca-se que essa estimativa leva em consideração apenas o consumo de energia pelo maquinário durante o processo produtivo, não tendo sido considerado o consumo energético referente ao transporte dos postes até a serraria (matéria-prima do processo).

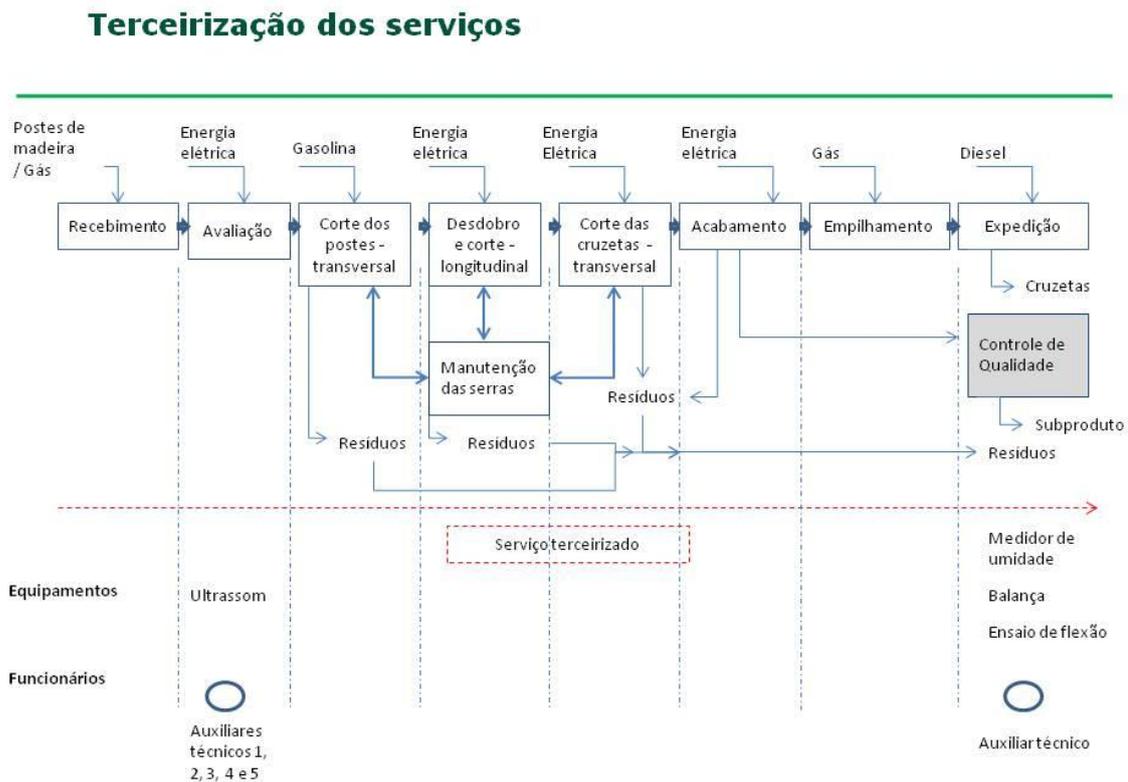
#### 2ª Alternativa: Contratação de serviços em serraria já existente (terceirização)

A alternativa propõe que todo o processo de fabricação de cruzetas de madeira seja realizado por uma serraria já existente no mercado, por meio de um contrato de prestação de serviços por tempo determinado. A serraria contratada disponibilizará sua mão-de-obra, seu espaço físico e seus equipamentos.

O fluxograma do processo de fabricação de cruzetas de madeira (Figura 22) inclui informações das entradas (matéria-prima e energia) e saídas (resíduos, produtos e subprodutos) do processo. Também são informados os principais equipamentos necessários, que serão de propriedade da CPFL Energia.

Por se tratar de uma terceirização de serviços não será necessário incluir custos com mão-de-obra, com exceção de auxiliares técnicos que serão contratados pela CPFL para executar as atividades de inspeções por ultrassom e outros relacionados ao controle de qualidade.

Figura 22 - Mapa de processo – Terceirização dos serviços.



O processo de produção é o mesmo descrito na Produção Própria, contudo, todo o processo será realizado em serraria já existente, que será subcontratada para realizar as atividades. O controle de qualidade deve ser realizado pelo fabricante na presença do inspetor da concessionária, por meio dos ensaios estabelecidos na Especificação Técnica CPFL 2893 (2009), descritos na metodologia desta pesquisa (análise visual, análise dimensional, teor de umidade, densidade). Os ensaios de flexão são realizados por amostragem por empresas contratadas para essa finalidade.

Por se tratar do uso de equipamentos equivalentes ao processo de produção própria, o consumo energético da produção também pode ser considerado de cerca de 13 MWh por mês.

### 5.5.5 Cenários

O estudo de viabilidade econômica está baseado em quatro cenários que se definiram basicamente segundo as alternativas de investimento (fábrica nova ou terceirização) e a demanda por produção (porcentagem de instalação de cruzetas de madeira em relação ao total de cruzetas). Consequentemente, os cenários apresentaram variações em relação à capacidade de processamento de postes, capacidade de produção de cruzetas e outros (Tabela 19).

Tabela 19 – Indicadores dos cenários.

<b>Indicador</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>	<b>Cenário 4</b>
Local de processamento do resíduo	Unidade própria	Serraria já existente	Unidade própria	Serraria já existente
Tipo de produção	Produção própria	Terceirização dos serviços	Produção própria	Terceirização dos serviços
Porcentagem do uso de cruzetas de madeira em relação ao total de cruzetas	15%	15%	22%	22%
Estimativa da demanda de cruzetas aprovadas por ano	10.783	10.783	15.816	15.816
Estimativa de produção de cruzetas por dia, considerando a produção total de cruzetas (aprovadas e não aprovadas) <sup>1</sup>	51	51	75	75
Estimativa de processamento de postes por dia <sup>2</sup>	17	17	24	24
Número de cruzetas reprovadas por ano	2.798	2.798	4.103	4.103

Obs.:

Cenário 1: Fábrica própria e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

Cenário 2: Terceirização e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

Cenário 3: Fábrica própria e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

Cenário 4: Terceirização e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

<sup>1</sup> A partir da estimativa de demanda de cruzetas aprovadas por ano, foi determinada a quantidade total de cruzetas a serem fabricadas por ano (aproveitamento de 79,4%, conforme capítulo 5.2.6). Considerando que o ano tem 264 dias úteis estimou-se a produção de cruzetas por dia.

<sup>2</sup> Para estimar o número de postes processados, determinou-se a quantidade total de cruzetas a serem fabricadas por ano (aproveitamento de 79,4%, conforme capítulo 5.2.6) e considerou-se que cada poste produz, em média, 3,1 cruzetas (conforme resultados desta pesquisa apresentados no capítulo 5.5.2). Considerando que o ano tem 264 dias úteis estimou-se o processamento de postes por dia.

É importante ressaltar que as estimativas de tempo necessário para a avaliação por ultrassom e o desdobro do poste foram baseadas na metodologia testada nesta pesquisa. Considerando a disponibilidade de pessoal habilitado para a atividade e equipamentos de corte e de desdobro apropriados para a dimensão dos postes, é possível esperar que a produção diária de cruzetas seja superior às estimativas consideradas.

### 5.5.6 Produção e receitas

#### *Estimativa de produção*

A estimativa de produção anual é de, aproximadamente, 10.800 cruzetas aprovadas para os cenários 1 e 2, e de 15.800 cruzetas aprovadas para os cenários 3 e 4 (Tabela 20). Considerou-se a demanda de 15% (cenários 1 e 2) e 22% (cenários 3 e 4) por cruzetas de madeira em relação ao total de cruzetas novas utilizadas na rede de distribuição de energia elétrica em um ano.

Tabela 20 - Estimativa de produção de cruzetas (em unidades).

Cenário	Produção (em unidades)					
	Diária <sup>1</sup>			Anual		
	Aprovadas	Reprovadas	Total	Aprovadas	Reprovadas	Total
Cenário 1	41	10	51	10.783	2.798	13.581
Cenário 2	41	10	51	10.783	2.798	13.581
Cenário 3	60	15	75	15.816	4.103	19.919
Cenário 4	60	15	75	15.816	4.103	19.919

Obs.:

Cenário 1: Fábrica própria e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

Cenário 2: Terceirização e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

Cenário 3: Fábrica própria e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

Cenário 4: Terceirização e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

<sup>1</sup> Considerando 8 h de serviço por dia e 22 dias úteis de trabalho por mês.

#### *Estimativa de receita*

Estimou-se a receita de, aproximadamente, R\$727.000,00 para os cenários 1 e 2 e de, aproximadamente, R\$1.000.000,00 para os cenários 3 e 4 (Tabela 21).

Tabela 21 - Estimativa de receita anual total (em reais).

<b>Descrição</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>	<b>Cenário 4</b>
Venda de cruzetas aprovadas (R\$)	916.592	916.592	1.344.336	1.344.336
Venda de cruzetas reprovadas <sup>1</sup> (R\$)	29.376	29.376	43.085	43.085
Venda dos postes usados (R\$) <sup>2</sup>	-219.051	-219.051	-321.275	-321.275
<b>Receita anual total (R\$)<sup>3</sup></b>	<b>726.917</b>	<b>726.917</b>	<b>1.066.146</b>	<b>1.066.146</b>

Obs.:

Cenário 1: Fábrica própria e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

Cenário 2: Terceirização e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

Cenário 3: Fábrica própria e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

Cenário 4: Terceirização e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

O Anexo 3 (Tabelas 1, 5, 9, e 13) apresenta o detalhamento das receitas e respectivos valores de venda considerados.

<sup>1</sup> Considerando a venda para terceiros de 70% do total de cruzetas reprovadas e o valor de venda de cruzetas usadas praticado pela CPFL Serviços em julho de 2016.

<sup>2</sup> Refere-se ao valor da venda dos postes de madeira que deixariam de ser vendidos pela CPFL, considerando o atual processo da empresa.

<sup>3</sup> Considerando: (i) o valor positivo da produção de cruzetas de madeira suficiente para repor a demanda da CPFL; (ii) o valor positivo correspondente à venda de 70% das cruzetas reprovadas; e, (iii) o valor negativo que a CPFL deixaria de receber pela venda dos postes (conforme Equação 4, pág. 47).

Ressalta-se que, da receita gerada a partir da venda de cruzetas aprovadas e de cruzetas reprovadas foi descontado o valor referente à venda dos postes de madeira que deixariam de ser comercializados pela CPFL, considerando o atual processo adotado pela empresa.

Neste estudo também foi levado em consideração a venda para terceiros de 70% cruzetas reprovadas. O custo da venda considerado foi de R\$ 15,00 que era o valor de venda de cruzetas usadas praticado pela CPFL Serviços em julho de 2016.

### **5.5.7 Custos de produção**

Os custos de produção total dos cenários variam entre R\$667.000,00 (cenário 2) e de quase R\$1.000.000,00 (cenário 4), conforme Tabela 22.

Tabela 22 - Estimativa dos custos de produção anuais fixos e variáveis (em reais) e custo total anual (em reais).

<b>Descrição</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>	<b>Cenário 4</b>
Custos fixos <sup>1</sup> (R\$)	447.914	46.300	456.261	75.734
Custos variáveis <sup>2</sup> (R\$)	254.440	620.779	389.254	887.932
<b>Custo total anual (R\$)</b>	<b>702.353</b>	<b>667.080</b>	<b>845.515</b>	<b>963.665</b>

Obs.:

Cenário 1: Fábrica própria e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

Cenário 2: Terceirização e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

Cenário 3: Fábrica própria e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

Cenário 4: Terceirização e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

O Anexo 3 (Tabelas 2, 6, 10, e 14) apresenta o detalhamento dos custos de produção.

<sup>1</sup> Custos fixos: são os gastos que permanecem constantes, independentemente da variação da produção: despesas com salários da produção (encarregado, operadores e ajudantes), depreciação de equipamentos, serviço de contabilidade e serviço de ensaio de flexão.

<sup>2</sup> Custos variáveis: são os gastos que variam em função da variação da produção: despesas com salários de assistentes técnicos (ultrassom), energia, combustível, materiais diversos, impostos e reserva de contingência.

### 5.5.8 Indicadores de rentabilidade

#### *Investimento Total*

Os menores investimentos iniciais são estimados para os cenários 2 e 4, sendo de R\$80.000,00 e R\$106.000,00, respectivamente (Tabela 23). Para os cenários 1 e 3 que consideram a construção de um fábrica, os investimentos iniciais totais são superiores a R\$900.000,00.

Tabela 23 - Estimativa de investimento em máquinas e equipamentos (em reais), em obras civis e instalações (em reais) e custo de investimento total (em reais).

<b>Item</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>	<b>Cenário 4</b>
Máquinas e equipamentos (R\$)	491.300	80.000	517.300	106.000
Obras civis e instalações (R\$)	450.000	0	450.000	0
<b>Investimento total (R\$)</b>	<b>941.300</b>	<b>80.000</b>	<b>967.300</b>	<b>106.000</b>

Obs.:

Cenário 1: Fábrica própria e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

Cenário 2: Terceirização e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

Cenário 3: Fábrica própria e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

Cenário 4: Terceirização e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

O Anexo 3 (Tabelas 3, 7, 11, e 15) apresenta o detalhamento dos custos de investimento inicial.

### *Indicadores de rentabilidade*

Os cenários de produção das cruzetas de madeira apresentam um resultado anual positivo, com exceção do Cenário 1 (Tabela 24), que é caracterizado por produção própria considerando uma taxa anual de reposição de cruzetas de 15% do total.

Os melhores indicadores de rentabilidade (VPL, TIR e Tempo de Retorno do Investimento) são obtidos para o Cenário 2 e o Cenário 4, apresentando TIR acima de 15% e Tempo de Retorno de Investimento de 5 e 3 anos, respectivamente (Tabela 24). O principal aspecto relevante é que ambos os cenários consideram a terceirização dos serviços de serraria. Neste caso, os indicadores são favorecidos pelo fato de que não existe custo com investimento inicial de implantação de uma serraria nova, incluindo os elevados valores com compra de equipamentos, de terreno e de construção. Em princípio, isso indica que o estabelecimento de parceria entre a empresa CPFL e serraria já existente se mostra essencial para aumentar os ganhos do negócio.

Contudo, a produção própria em serraria nova (Cenário 3) também se mostrou atrativa quando há maior demanda por reposição de cruzetas do que a média atual, apresentando TIR igual a 12% e um Tempo de Retorno do Investimento de 9 anos (Tabela 24). Nesse caso, se a CPFL passasse a utilizar 22% do total de cruzetas repostas por ano por cruzetas de madeira (apenas 7 pontos percentuais a mais que a situação atual) o negócio também se tornaria atrativo (Cenário 3).

Tabela 24 - Indicadores financeiros Valor Presente Líquido – VPL (em reais) e Taxa Interna de Retorno – TIR (%) e Tempo de Retorno do Investimento (em anos).

<b>Cenário</b>	<b>VPL<sup>1</sup> (R\$)</b>	<b>TIR</b>	<b>Tempo de Retorno do investimento</b>
Cenário 1	-1.011.568	0%	-
Cenário 2	10.365	15%	5 anos
Cenário 3	95.992	12%	9 anos
Cenário 4	59.327	40%	3 anos

Obs.:

Cenário 1: Fábrica própria e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

Cenário 2: Terceirização e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

Cenário 3: Fábrica própria e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

Cenário 4: Terceirização e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

<sup>1</sup> Considerando a Taxa Mínima de Atratividade de 10%.

## 6. CONCLUSÕES

Esta pesquisa avaliou do ponto de vista técnico e econômico a alternativa de reúso de postes de madeira retirados da rede de energia elétrica para fabricação de cruzetas.

A partir dos resultados do estudo de viabilidade técnica foi possível concluir que:

- A metodologia de uso de ultrassom para a avaliação das zonas dos postes em condições para serem reutilizadas foi adequada;
- 61% dos postes, incluindo todas as espécies de *Eucalyptus*, foram considerados aptos para reúso para obtenção de cruzetas;
- A metodologia definida para a obtenção da cruzeta a partir do desdobro do poste foi adequada;
- O critério de análise visual isolado não é adequado para descartar uma cruzeta, pois se verificou que 53% das cruzetas de *C. citriodora* reprovadas no critério de inspeção visual foram aprovadas nos demais critérios técnicos.
- 79% das cruzetas de *C. citriodora* apresentaram potencial para serem utilizadas na rede de energia elétrica, desconsiderando os critérios de inspeção visual e de avaliação dimensional;
- Para o uso de cruzetas fabricadas com madeira usada (postes retirados da rede), as atuais normas de classificação de cruzetas de madeira não se mostraram adequadas nos requisitos de avaliação visual. .

Quanto à avaliação da porcentagem de madeira reaproveitada para obtenção de cruzetas em relação ao volume total de madeira disponível, verificou-se que há reúso de 25% do total de madeira dos postes de *C. citriodora* para a fabricação de cruzetas, indicando que após o reúso ainda há grande volume de madeira que deverá ser destinado a outros usos, tais como a produção de painéis particulados, a produção de compósitos (madeira-polímero e/ou madeira-cimento) ou ainda a geração de energia (pirólise).

Em relação ao estudo de viabilidade econômica, três dos quatro cenários de produção das cruzetas de madeira analisados apresentaram resultado anual positivo. Os melhores indicadores financeiros foram verificados nos cenários que consideraram a terceirização dos serviços de serraria (Cenários 2 e 4), com TIR acima de 15% e Tempo de Retorno do Investimento inferior a 5 anos.

A produção própria em serraria nova (Cenário 3) também se mostra economicamente viável em uma situação em que ocorra demanda mais elevada por reposição de cruzetas do que a média atual.

De um modo geral, a alternativa de reúso da madeira estudada neste trabalho, sugere o reaproveitamento da parte mais nobre da madeira e com melhores condições mecânicas, por meio de um processo de fabricação simples, possibilitando prolongar a vida útil da madeira e, como consequência, os benefícios ambientais do armazenamento de carbono.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTOLINI, et al. Painéis de partículas provenientes de rejeitos de *Pinus* ‘. Tratado com preservante CCA e resina derivada de biomassa. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 38, p. 339-346, mar. 2014.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Relatórios de consumo e receita de distribuição – Tarifa média por classe e por consumo**. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/relatorios-de-consumo-e-receita>. Acesso em: 5 jun. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRESERVADORES DE MADEIRA – ABPM. **Destinação de Resíduos de Madeira Tratada**. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.abpm.com.br/static/site/pdf/apresentacoes/3Simposio-Madeira-e-Construcao.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8456**: Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia elétrica. Rio de Janeiro, 1984. 31 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 16 p.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS BRASILEIRAS TÉCNICAS. **NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8458**: Cruzetas de Madeira para Rede de Distribuição de Energia Elétrica – Especificação. Rio de Janeiro, 2010. 15 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8459**: Cruzetas de madeira – Dimensões – Padronização. Rio de Janeiro, 2010. 8 p.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 03 ago. 2010. Seção 1.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA n. 307 de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**, Brasília, n.136, p.95-96, 17 jul. 2002.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 448 de 18 de janeiro de 2012. Altera os artigos 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10º e 11º da Resolução n. 307, de 05 de julho de 2002 do CONAMA. **Diário Oficial da União**, Brasília, n.14, p.76, 19 jan. 2012.

CLAUSEN, C. A.; MUEHL, J. H.; KRZYSIK, A. M. Properties of structural panels fabricated from bioremediated CCA-treated wood: Pilot scale. **Forest Products Journal**, Madison/USA, v. 56, n. 3, p. 32-35, mar. 2006.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. **CPFL 2893**: Cruzetas de madeira preservada e não preservada para redes aéreas de distribuição de energia. Brasil, 2009. 25 p.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. **CPFL 2900**: Cruzetas de Madeira Preservada e Não Preservada 2000 mm. Brasil, 2009. 5 p.

COOPER, P., UNG, T., AUCOIN J. P., TIMUSK, C. The Potential for Re-Use of Preservative-Treated Utility Poles Removed From Service. **Waste Management & Research**, v. 14, n. 3, p. 263-279, jun. 1996.

Faculdade de Engenharia Agrícola / Universidade Estadual de Campinas; Agricef; CPFL ENERGIA. **Relatório do Projeto P&D 121: Inspeção de materiais e estruturas da rede por ultrassom**. Relatórios Anos 1 e 2. 2005. 154 p.

Faculdade de Engenharia Agrícola / Universidade Estadual de Campinas; Agricef; CPFL ENERGIA. **Relatório do Projeto P&D 133: Gestão Global – Classificação e monitoramento – de postes das linhas aéreas**. Relatório Final. 2010. 153 p.

FELTON, C. C.; GROOT, R. C. The recycling potential of preservative-treated wood. **Forest Products Journal**, Madison/USA, v. 46, n. 7/8, p. 37-46, jul. 1996.

GEZER, E. D. et al. Properties of wood plastic composites made of recycled HDPE and remediated wood flour from CCA/CCB treated wood removed from service. In: IRG ANNUAL MEETING, 47, 2016, Lisbon, Portugal. **Annals...** Stockholm: The International Research Group on Wood Protection, 2016. 11 p.

GUTKOWSKI, R. M. et al. Composite Wood-Concrete Beams Using Utility Poles: Time-Dependent Behavior. **Journal of Structural Engineering**, v. 137, n. 6, p. 625-634, jun. 2011.

HELSEN, L.; BULCK, E. V. D.; HERY, J. S. Total recycling of CCA treated wood waste by low-temperature pyrolysis. **Waste Management**, v. 18, n. 6-8, p. 571-578, out. 1998.

HELSEN, L.; BULCK, E. V. D. Review of disposal technologies for chromated copper arsenate (CCA) treated wood waste, with detailed analyses of thermochemical conversion processes. **Environmental Pollution**, v. 134, n. 2, p. 301-14, mar. 2005.

HELSEN, L.; HACALA, A. Formation of metal agglomerates during carbonisation of chromated copper arsenate (CCA) treated wood waste: Comparison between a lab scale and an industrial plant. **Journal of Hazardous Materials**, v. 137, n. 3, p. 1438-1452, out. 2006.

HUANG, C.; COOPER, P. A. Cement-bonded particleboards using CCA-treated wood removed from service. **Forest Products Journal**, Madison/USA, v. 50, n. 6, p. 49-56, jun. 2000.

IPASA - Pesquisa salarial S/C Ltda. **Pesquisa salarial on line**. Disponível em: <<http://www.ipasapesquisa.com.br>>. Acesso em: 5 jun. 2016.

JAMBECK, J. et al. CCA-treated wood disposed in landfills and life-cycle trade-offs with waste-to-energy and MSW landfill disposal. **Waste Management**, New York, v. 27, n. 8, p. S21-28, jan. 2007.

JANIN, A. et al. Optimization of a chemical leaching process for decontamination of CCA-treated wood. **Journal of Hazardous Materials**, v. 169, n. 1-3, p. 136-145, set. 2009.

KAMDEM, D. P. et al. Properties of wood plastic composites made of recycled HDPE and wood flour from CCA-treated wood removed from service. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 35, n. 3, p. 347-355, mar. 2004.

KING, S. A.; LEWIS, D. K. Manufacturing solid wood products from used utility poles: An economic feasibility study. **Forest Products Journal**, Madison/USA, v. 50, n. 11/12, p. 69-78, nov/dez. 2000.

LEICHTI, R. J.; MEISENZAHN, M.; PARRY, D. Structural timbers from retired Douglas-fir utility poles. **Forest Products Journal**, Madison/USA, v. 55, n. 3, p. 61-65, mar. 2005.

LI, W.; SHUPE, T. F.; HSE, C. Y. Physical and mechanical properties of flakeboard produced from recycled CCA-treated wood. **Forest Products Journal**, Madison/USA, v. 54, n. 2, p. 89-94, fev. 2004.

MAI, C.; KÜES, U.; MILITZ, H. Biotechnology in the wood industry. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 63, n. 5, p. 477-94, mai. 2004.

MUNSON, J. M.; KAMDEM, D. Reconstituted particleboards from CCA-treated red pine utility poles. **Forest Products Journal**, Madison/USA, v. 48, n. 3, p. 55-62, mar. 1998.

NANSEU-NJIKI, C.-P. et al. Electrolytic arsenic removal for recycling of washing solutions in a remediation process of CCA-treated wood. **The Science of the Total Environment**, v. 384, n. 1-3, p. 48-54, 1 out. 2007.

OBATA, Y. et al. Recycling of wood waste as sustainable industrial resources—Design of energy saving wood-based board for floor heating systems. **Energy**, v. 31, n. 13, p. 2341-2349, out. 2006.

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

PIAO, C., MONLEZUN, C. J., WANG, J. J., GROOM, L. H.. Recycling of Pentachlorophenol- Treated Southern Pine Utility Poles. Part I: Preservative Retention and Mechanical Properties. **Forest Products Journal**, Madison/USA, v. 61, n. 1, p. 38-45, 2011.

PIAO, C.; MONLEZUN, C. J. Laminated Crossarms Made from Decommissioned Chromated Copper Arsenate- Treated Utility Pole Wood. Part I: Mechanical and Acoustic Properties. **Forest Products Journal**, Madison/USA, v. 60, n. 2, p. 157-165, 2010.

ROLIADI, H. et al. Decay resistance of out-of-service utility poles as related to the distribution of residual creosote content. **Forest Products Journal**, Madison/USA, v. 50, n. 11/12, p. 64-68, nov/dez. 2000.

SANDRI, et al. Análise da retenção de Cobre (Cu), Cromo (Cr) e Arsênio (As) em postes de madeira preservada com arseniato de cobre cromatado. In: Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 3º, 2012, Bento Gonçalves/RS, Brasil. **Annais...** 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 2012. 8 p. Disponível em <<http://www.proamb.com.br/downloads/In5eqy.pdf>>.

SINDIMAD - Sindicato da Indústria da Madeira. **Convenção Coletiva de Trabalho 2015/2016**. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.siticecom.com.br/wp-content/uploads/2015/09/CC-SERRARIA-ESTADO-2015.2016.pdf>>. Acesso em: 5 jun. 2016.

SOLO-GABRIELE, H.; TOWNSEND, T. Disposal practices and management alternatives for CCA-treated wood waste. **Waste Management & Research**, v. 17, n. 5, p. 378-389, out. 1999.

VICK, C. B.; GEIMER, R. L.; WOOD JR, J. E. Flakeboards from recycled CCA-treated southern pine lumber. **Forest Products Journal**, Madison/USA, v. 46, n. 11/12, p. 89-91, nov/dez. 1996.

ZIMMERMANN, M. V. G.; ZATTERA, A. J. Recycling and reuse of waste from electricity distribution networks as reinforcement agents in polymeric composites. **Waste Management**, v.33, p. 1667-1674. 2013.

## ANEXOS

## ANEXO 1

Tabela 1 - Exemplo (Poste 1) de tabela obtida para avaliação das seções dos postes. Valores de diâmetro, umidade, tempo de propagação das ondas (T1 e T2), respectivas velocidades (V1 e V2) e velocidade radial média no poste 1.

Pontos de medição	Diâmetro (m)	Umidade média (%)	Tempo de propagação da onda ( $\mu\text{s}$ )		Velocidades ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )		
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>média</sub>
1.00	0,2021	5,3	1.622,2	1.581,8	124,6	127,8	126,2
1.01	0,2021	4,8	1.027,2	1.153,0	196,8	175,3	186,0
1.02	0,1996	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1.03	0,1996	4,6	217,0	1.105,0	919,7	180,6	550,2
1.04	0,1942	5,9	285,0	911,0	681,3	213,1	447,2
1.05	0,1942	5,8	235,0	860,0	826,3	225,8	526,0
1.06	0,1974	5,2	257,0	863,4	767,9	228,6	498,2
1.07	0,1942	5,2	1.350,0	1.080,0	143,8	179,8	161,8
1.08	0,1926	5,6	216,0	154,0	891,6	1.250,5	1.071,0
1.09	0,1926	5,4	1.004,9	996,0	191,6	193,4	192,5
1.10	0,1916	5,8	1.630,0	1.600,0	117,6	119,8	118,7
1.11	0,1878	7,0	1.063,3	940,0	176,6	199,8	188,2
1.12	0,1894	6,6	1.722,0	1.599,0	110,0	118,4	114,2
1.13	0,1894	6,3	1.244,0	1.469,0	152,2	128,9	140,6
1.14	0,1846	6,3	1.698,4	1.466,0	108,7	125,9	117,3
1.15	0,1894	6,0	1.739,0	1.075,0	108,9	176,2	142,5
1.16	0,1894	5,9	163,2	256,3	1.160,5	739,0	949,7
1.17	0,1814	6,4	733,4	628,7	247,4	288,6	268,0
1.18	0,1830	7,3	391,0	254,0	468,1	720,6	594,3
1.19	0,1821	6,6	344,0	177,0	529,3	1.028,7	779,0
1.20	0,1783	5,8	1.734,0	1.736,4	102,8	102,7	102,7
1.21	0,1783	6,1	173,0	187,0	1.030,4	953,2	991,8
1.22	0,1808	6,6	322,0	125,0	561,5	1.446,4	1.003,9
1.23	0,1751	6,3	165,0	141,0	1.061,0	1.241,6	1.151,3
1.24	0,1773	6,2	119,0	125,0	1.489,9	1.418,4	1.454,1
1.25	0,1767	5,4	117,7	119,0	1.501,0	1.484,6	1.492,8

Nota:



Pontos com velocidades indicativas de boas condições para reuso.

Tabela 2 - Exemplo (Poste 2) de tabela obtida para avaliação das seções dos postes. Valores de diâmetro, umidade, tempo de propagação das ondas (T1 e T2), respectivas velocidades (V1 e V2) e velocidade radial média no poste 2.

Pontos de medição	Diâmetro (m)	Umidade média (%)	Tempo de propagação da onda ( $\mu\text{s}$ )		Velocidades ( $\text{m.s}^{-1}$ )		
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>média</sub>
1.00	0,207	6,85	118,1	118,7	1.751,9	1.743,1	1.747,5
1.01	0,205	7,85	121,5	127,0	1.689,8	1.616,6	1.653,2
1.02	0,202	7,75	128,0	129,8	1.579,1	1.557,2	1.568,2
1.03	0,201	7,5	121,1	133,4	1.663,8	1.510,4	1.587,1
1.04	0,201	7,65	115,5	123,8	1.741,7	1.625,0	1.683,4
1.05	0,201	7,8	114,8	122,3	1.746,8	1.639,7	1.693,3
1.06	0,201	7,65	202,0	126,4	992,7	1.586,5	1.289,6
1.07	0,198	7,55	114,6	114,7	1.727,7	1.726,1	1.726,9
1.08	0,198	6,95	120,7	108,2	1.640,3	1.829,8	1.735,1
1.09	0,199	7,6	116,3	112,3	1.707,9	1.768,7	1.738,3
1.10	0,196	7,8	117,2	115,5	1.670,3	1.694,9	1.682,6
1.11	0,194	7,85	112,7	107,2	1.722,9	1.811,3	1.767,1
1.12	0,192	7,3	102,8	108,3	1.864,0	1.769,4	1.816,7
1.13	0,191	7,85	105,9	127,8	1.800,4	1.491,9	1.646,2
1.14	0,192	7,8	108,0	110,5	1.774,3	1.734,1	1.754,2
1.15	0,190	8,15	107,0	115,0	1.773,0	1.649,7	1.711,3
1.16	0,188	8,45	115,5	112,0	1.626,0	1.676,8	1.651,4
1.17	0,188	8,3	102,2	106,3	1.840,7	1.769,7	1.805,2
1.18	0,188	8,55	103,5	109,1	1.814,5	1.721,4	1.768,0
1.19	0,189	8,4	109,0	113,8	1.734,6	1.661,5	1.698,1
1.20	0,181	8,1	104,8	107,0	1.731,3	1.695,7	1.713,5
1.21	0,179	8,5	105,0	108,3	1.703,7	1.651,8	1.677,8
1.22	0,179	8,5	107,9	170,5	1.657,9	1.049,2	1.353,6
1.23	0,176	8,1	111,0	109,3	1.588,7	1.613,4	1.601,0
1.24	0,175	8,15	100,7	102,3	1.738,5	1.711,3	1.724,9
1.25	0,173	8,35	99,1	107,8	1.747,3	1.606,3	1.676,8
1.26	0,172	8,5	98,5	110,8	1.745,0	1.551,3	1.648,2
1.27	0,172	8,35	111,5	106,5	1.541,6	1.614,0	1.577,8
1.28	0,173	8,75	105,0	108,7	1.652,2	1.595,9	1.624,1
1.29	0,169	8,6	109,0	99,0	1.547,7	1.704,1	1.625,9
1.30	0,170	8,6	100,1	117,0	1.698,1	1.452,8	1.575,4

Nota:



Pontos com velocidades indicativas de boas condições para reúso.

Tabela 3 - Exemplo (Poste 3) de tabela obtida para avaliação das seções dos postes. Valores de diâmetro, umidade, tempo de propagação das ondas (T1 e T2), respectivas velocidades (V1 e V2) e velocidade radial média no poste 3.

Pontos de medição	Diâmetro (m)	Umidade média (%)	Tempo de propagação da onda ( $\mu\text{s}$ )		Velocidades ( $\text{m.s}^{-1}$ )		
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>média</sub>
1.00	0,267	7,3	1919,0	1959,0	139,3	136,5	137,9
1.01	0,267	7,9	2339,4	2009,0	114,3	133,1	123,7
1.02	0,266	7,7	1885,0	1848,0	141,0	143,8	142,4
1.03	0,265	7,7	1899,0	1882,0	139,5	140,7	140,1
1.04	0,265	8,2	790,0	1470,0	334,8	179,9	257,4
1.05	0,259	7,8	648,0	1578,0	399,4	164,0	281,7
1.06	0,258	7,3	674,0	592,0	382,5	435,5	409,0
1.07	0,255	7,6	1932,0	1125,0	131,8	226,4	179,1
1.08	0,258	7,6	1205,8	1219,0	213,8	211,5	212,7
1.09	0,248	7,7	1221,0	1910,0	203,3	130,0	166,7
1.10	0,245	8,5	1936,0	1345,9	126,6	182,1	154,4
1.11	0,244	8,5	1415,0	1369,0	172,1	177,9	175,0
1.12	0,248	8,3	1378,0	1913,0	179,7	129,5	154,6
1.13	0,244	7,9	520,0	1504,7	468,3	161,8	315,1
1.14	0,244	8,3	1429,4	1453,3	170,8	168,0	169,4
1.15	0,241	8,5	1473,0	1627,0	163,8	148,3	156,0
1.16	0,244	7,9	1256,0	1638,4	194,1	148,8	171,5
1.17	0,242	7,8	1544,0	1665,0	156,7	145,3	151,0
1.18	0,237	7,8	1553,7	875,0	152,4	270,7	211,5
1.19	0,237	7,2	1682,0	1530,0	141,2	155,2	148,2
1.20	0,237	8,4	1532,3	1588,7	154,8	149,3	152,0
1.21	0,238	7,8	1534,0	1681,0	155,0	141,5	148,2
1.22	0,236	8,2	772,9	1445,0	305,6	163,5	234,5
1.23	0,237	8,3	1691,0	1438,0	140,2	164,9	152,6
1.24	0,236	8,4	1747,0	1583,0	134,8	148,8	141,8
1.25	0,236	8,0	1678,0	1594,9	140,4	147,7	144,0
1.26	0,234	8,4	441,0	1581,7	530,5	147,9	339,2

Nota:

 Pontos com velocidades indicativas de boas condições para reúso.

Tabela 4 - Exemplo (Poste 4) de tabela obtida para avaliação das seções dos postes. Valores de diâmetro, umidade, tempo de propagação das ondas (T1 e T2), respectivas velocidades (V1 e V2) e velocidade radial média no poste 4.

Pontos de medição	Diâmetro (m)	Umidade média (%)	Tempo de propagação da onda ( $\mu\text{s}$ )		Velocidades ( $\text{m.s}^{-1}$ )		
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>média</sub>
1.00	0,23	9,1	144,1	354,0	1.568,4	638,4	1.103,4
1.01	0,22	8,3	173,4	154,4	1.294,2	1.453,4	1.373,8
1.02	0,22	8,3	123,3	234,5	1.812,3	952,9	1.382,6
1.03	0,22	8,4	120,1	243,2	1.855,3	916,2	1.385,7
1.04	0,22	8,4	141,3	148,2	1.565,6	1.492,7	1.529,2
1.05	0,22	8,1	146,4	151,9	1.493,7	1.439,6	1.466,7
1.06	0,22	8,6	161,0	160,9	1.364,2	1.365,0	1.364,6
1.07	0,22	9,2	221,7	181,7	976,3	1.191,3	1.083,8
1.08	0,21	8,6	178,9	197,8	1.197,4	1.083,0	1.140,2
1.09	0,21	8,9	169,2	129,7	1.254,8	1.637,0	1.445,9
1.10	0,21	8,9	133,0	139,8	1.596,3	1.518,7	1.557,5
1.11	0,21	8,6	144,5	178,7	1.445,1	1.168,5	1.306,8
1.12	0,21	8,8	127,2	132,3	1.641,6	1.578,3	1.610,0
1.13	0,21	8,8	141,9	197,8	1.471,5	1.055,7	1.263,6
1.14	0,21	8,9	125,1	141,5	1.646,3	1.455,5	1.550,9
1.15	0,20	9,1	149,6	116,5	1.361,8	1.748,7	1.555,2
1.16	0,20	8,8	125,7	131,9	1.615,6	1.539,7	1.577,6
1.17	0,20	9,0	135,4	135,9	1.488,1	1.482,6	1.485,4
1.18	0,21	9,1	121,0	143,7	1.704,7	1.435,4	1.570,0
1.19	0,20	9,0	122,0	133,4	1.638,5	1.498,5	1.568,5
1.20	0,20	9,2	169,2	293,7	1.177,7	678,5	928,1
1.21	0,20	9,3	157,9	132,5	1.266,0	1.508,7	1.387,3
1.22	0,20	9,1	121,6	138,2	1.625,6	1.430,3	1.528,0
1.23	0,19	9,3	125,5	137,0	1.544,6	1.415,0	1.479,8
1.24	0,19	9,2	109,3	197,8	1.764,8	975,2	1.370,0
1.25	0,20	8,6	116,9	136,4	1.693,7	1.451,5	1.572,6
1.26	0,19	8,8	116,1	118,6	1.672,4	1.637,2	1.654,8
1.27	0,19	9,1	119,2	108,8	1.588,9	1.740,8	1.664,8

Nota:

Pontos com velocidades indicativas de boas condições para reúso.

Tabela 5 - Exemplo (Poste 5) de tabela obtida a para avaliação das seções dos postes. Valores de diâmetro, umidade, tempo de propagação das ondas (T1 e T2), respectivas velocidades (V1 e V2) e velocidade radial média no poste 5.

Pontos de medição	Diâmetro (m)	Umidade média (%)	Tempo de propagação da onda ( $\mu\text{s}$ )		Velocidades ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )		
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>média</sub>
1.00	0,196	9,6	113,7	476,0	1.721,7	411,3	1.066,5
1.01	0,193	9,6	106,1	236,0	1.818,1	817,4	1.317,7
1.02	0,192	9,4	106,2	157,0	1.804,4	1.220,5	1.512,4
1.03	0,190	9,6	100,3	147,7	1.894,6	1.286,6	1.590,6
1.04	0,189	9,8	106,7	310,5	1.775,0	610,0	1.192,5
1.05	0,188	9,9	104,5	338,6	1.803,2	556,5	1.179,9
1.06	0,188	10,0	104,1	319,1	1.810,2	590,5	1.200,4
1.07	0,187	9,5	104,0	559,2	1.796,6	334,1	1.065,4
1.08	0,186	10,2	108,0	517,2	1.724,2	360,0	1.042,1
1.09	0,188	10,5	129,0	445,0	455,8	422,0	438,9
1.10	0,186	10,3	113,2	455,0	645,0	409,3	527,1
1.11	0,183	10,7	240,2	528,0	763,3	347,2	555,3
1.12	0,178	9,8	130,2	520,0	1.369,1	342,8	855,9
1.13	0,177	9,6	138,1	440,0	1.279,2	401,5	840,4
1.14	0,175	9,8	131,5	578,0	1.331,3	302,9	817,1
1.15	0,174	10,1	101,8	530,0	1.707,2	327,9	1.017,6
1.16	0,173	10,1	101,3	144,0	1.712,5	1.204,7	1.458,6
1.17	0,172	9,9	104,7	185,4	1.641,7	927,1	1.284,4
1.18	0,172	9,9	104,4	130,0	1.646,4	1.322,2	1.484,3
1.19	0,172	9,6	117,4	121,3	1.464,1	1.417,0	1.440,6
1.20	0,171	9,5	113,0	165,0	1.515,5	1.037,9	1.276,7
1.21	0,171	9,5	105,2	265,0	1.621,8	643,8	1.132,8
1.22	0,171	9,7	193,0	147,0	885,7	1.162,8	1.024,2
1.23	0,170	9,5	281,5	113,1	605,0	1.505,7	1.055,3
1.24	0,169	9,6	174,3	104,0	967,9	1.622,2	1.295,0
1.25	0,169	9,8	193,1	120,1	873,7	1.404,7	1.139,2
1.26	0,165	9,1	230,9	113,6	712,7	1.448,6	1.080,7
1.27	0,164	9,1	106,3	97,6	1.542,1	1.679,6	1.610,9
1.28	0,162	8,7	114,2	165,6	1.418,7	978,4	1.198,6

Nota:

Pontos com velocidades indicativas de boas condições para reúso.

Tabela 6 - Exemplo (Poste 6) de tabela obtida para avaliação das seções dos postes. Valores de diâmetro, umidade, tempo de propagação das ondas (T1 e T2), respectivas velocidades (V1 e V2) e velocidade radial média no poste 6.

Pontos de medição	Diâmetro (m)	Umidade média (%)	Tempo de propagação da onda ( $\mu\text{s}$ )		Velocidades ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )		
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>média</sub>
1.00	0,240	9,2	943,0	240,7	254,9	998,4	626,6
1.01	0,246	9,9	141,3	136,8	1.739,1	1.796,3	1.767,7
1.02	0,253	10,0	357,0	136,1	709,7	1.861,7	1.285,7
1.03	0,252	9,7	596,3	184,5	423,3	1.368,1	895,7
1.04	0,247	9,6	523,1	121,0	472,2	2.041,4	1.256,8
1.05	0,248	10,0	350,1	125,0	709,2	1.986,3	1.347,7
1.06	0,234	9,2	221,1	134,3	1.058,2	1.742,1	1.400,1
1.07	0,229	9,1	118,2	196,1	1.938,9	1.168,7	1.553,8
1.08	0,244	9,6	161,2	201,5	1.510,6	1.208,5	1.359,5
1.09	0,242	9,6	139,6	241,7	1.732,9	1.000,9	1.366,9
1.10	0,231	9,7	179,5	203,3	1.285,7	1.135,1	1.210,4
1.11	0,224	9,1	142,5	290,7	1.574,8	772,0	1.173,4
1.12	0,221	9,3	120,5	290,6	1.835,9	761,3	1.298,6
1.13	0,216	9,4	124,1	141,6	1.744,2	1.528,6	1.636,4
1.14	0,214	9,0	200,4	213,9	1.069,0	1.001,5	1.035,2
1.15	0,214	9,1	122,4	132,2	1.745,0	1.615,6	1.680,3
1.16	0,214	8,7	129,5	252,0	1.651,8	848,8	1.250,3
1.17	0,213	9,0	146,1	171,5	1.459,7	1.243,5	1.351,6
1.18	0,215	9,0	125,0	297,4	1.716,3	721,4	1.218,9
1.19	0,210	9,1	165,0	183,3	1.273,2	1.146,1	1.209,7
1.20	0,210	8,5	120,3	116,6	1.743,7	1.799,0	1.771,4
1.21	0,211	8,4	167,2	102,7	1.264,1	2.058,0	1.661,1
1.22	0,210	8,5	108,5	111,9	1.936,3	1.877,4	1.906,8
1.23	0,209	8,0	103,2	198,1	2.029,5	1.057,3	1.543,4
1.24	0,211	9,2	103,3	103,0	2.043,0	2.048,9	2.046,0

Nota:

Pontos com velocidades indicativas de boas condições para reuso.

Tabela 7 - Exemplo (Poste 7) de tabela obtida para avaliação das seções dos postes. Valores de diâmetro, umidade, tempo de propagação das ondas (T1 e T2), respectivas velocidades (V1 e V2) e velocidade radial média no poste 7.

Pontos de medição	Diâmetro (m)	Umidade média (%)	Tempo de propagação da onda ( $\mu\text{s}$ )		Velocidades ( $\text{m.s}^{-1}$ )		
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>média</sub>
1.00	0,264	8,5	151,8	147,1	1.740,4	1.796,0	1.768,2
1.01	0,262	7,6	160,3	214,5	1.636,2	1.222,8	1.429,5
1.02	0,263	8,0	201,0	213,6	1.308,1	1.230,9	1.269,5
1.03	0,265	7,7	147,0	139,3	1.799,4	1.898,9	1.849,2
1.04	0,258	7,9	147,0	145,1	1.756,1	1.779,1	1.767,6
1.05	0,259	7,8	166,0	194,2	1.559,0	1.332,6	1.445,8
1.06	0,258	8,1	227,0	152,9	1.137,2	1.688,4	1.412,8
1.07	0,256	7,9	153,9	177,7	1.662,9	1.440,2	1.551,5
1.08	0,255	7,7	143,0	148,0	1.780,8	1.720,6	1.750,7
1.09	0,255	7,9	182,7	140,0	1.395,5	1.821,2	1.608,4
1.10	0,254	8,2	141,1	149,6	1.802,5	1.700,1	1.751,3
1.11	0,252	8,6	135,1	136,7	1.866,0	1.844,2	1.855,1
1.12	0,252	7,7	136,1	139,2	1.850,0	1.808,8	1.829,4
1.13	0,250	8,1	148,2	138,0	1.688,2	1.813,0	1.750,6
1.14	0,248	8,4	140,5	175,6	1.764,9	1.412,1	1.588,5
1.15	0,249	7,9	140,8	150,0	1.767,9	1.659,5	1.713,7
1.16	0,248	8,6	145,5	139,1	1.706,4	1.784,9	1.745,7
1.17	0,245	8,4	136,9	145,8	1.790,3	1.681,1	1.735,7
1.18	0,244	8,9	142,4	137,4	1.714,5	1.776,9	1.745,7
1.19	0,243	8,7	158,4	131,9	1.535,3	1.843,7	1.689,5
1.20	0,243	8,5	149,9	137,3	1.618,1	1.766,6	1.692,3
1.21	0,242	8,9	142,5	137,6	1.699,9	1.760,4	1.730,2
1.22	0,239	9,1	141,0	138,0	1.695,4	1.732,3	1.713,8
1.23	0,237	8,6	136,3	187,8	1.737,5	1.261,0	1.499,3
1.24	0,239	8,5	130,7	139,1	1.826,6	1.716,3	1.771,4
1.25	0,236	8,4	131,9	160,0	1.785,8	1.472,2	1.629,0
1.26	0,235	9,3	130,7	136,0	1.799,8	1.729,6	1.764,7

Nota:

Pontos com velocidades indicativas de boas condições para reúso.

Tabela 8 - Exemplo (Poste 8) de tabela obtida para avaliação das seções dos postes. Valores de diâmetro, umidade, tempo de propagação das ondas (T1 e T2), respectivas velocidades (V1 e V2) e velocidade radial média no poste 8.

Pontos de medição	Diâmetro (m)	Umidade média (%)	Tempo de propagação da onda ( $\mu\text{s}$ )		Velocidades ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )		
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>média</sub>
1.00	0,194	7,6	650,0	214,0	298,7	907,3	603,0
1.01	0,187	8,3	1062,2	318,0	176,5	589,6	383,0
1.02	0,187	8,1	954,0	548,0	196,5	342,1	269,3
1.03	0,186	7,9	413,0	824,0	450,9	226,0	338,4
1.04	0,182	7,9	476,6	296,0	381,4	614,0	497,7
1.05	0,181	8,2	765,6	245,0	236,2	738,0	487,1
1.06	0,183	8,7	434,2	447,4	421,5	409,1	415,3
1.07	0,183	8,5	495,6	333,3	368,7	548,2	458,4
1.08	0,187	8,8	263,3	208,1	710,8	899,4	805,1
1.09	0,181	8,5	310,0	285,0	585,3	636,6	610,9
1.10	0,184	8,2	411,9	308,5	446,7	596,4	521,5
1.11	0,182	8,1	692,0	229,4	263,6	795,1	529,3
1.12	0,173	8,2	324,3	505,4	534,9	343,3	439,1
1.13	0,170	8,2	262,9	376,2	646,5	451,8	549,2
1.14	0,168	8,2	233,0	305,5	720,0	549,1	634,5
1.15	0,163	8,5	576,0	330,1	283,5	494,7	389,1
1.16	0,161	8,5	260,0	513,8	618,3	312,9	465,6
1.17	0,162	7,8	227,0	425,0	715,1	382,0	548,6
1.18	0,162	8,4	282,7	228,3	572,0	708,3	640,1
1.19	0,158	8,2	313,3	197,4	504,9	601,4	553,1
1.20	0,158	8,0	161,4	118,2	976,2	1.333,0	1.154,6
1.21	0,155	8,5	174,2	201,0	888,1	769,6	828,8
1.22	0,153	7,7	278,0	364,0	551,9	421,5	486,7
1.23	0,153	7,6	190,5	323,0	602,0	473,0	537,5
1.24	0,158	8,1	181,0	171,8	872,3	919,0	895,6
1.25	0,154	8,6	198,7	195,8	773,7	785,2	779,5
1.26	0,152	8,8	124,7	290,3	1222,7	525,2	874,0
1.27	0,156	8,2	154,9	210,4	1006,9	741,3	874,1
1.28	0,149	7,8	139,0	242,0	1069,4	614,3	841,8

Nota:

Pontos com velocidades indicativas de boas condições para reúso.

Tabela 9 - Exemplo (Poste 9) de tabela obtida para avaliação das seções dos postes. Valores de diâmetro, umidade, tempo de propagação das ondas (T1 e T2), respectivas velocidades (V1 e V2) e velocidade radial média no poste 9.

Pontos de medição	Diâmetro (m)	Umidade média (%)	Tempo de propagação da onda ( $\mu\text{s}$ )		Velocidades ( $\text{m.s}^{-1}$ )		
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>média</sub>
1.00	0,228	14,0	0,0	155,0	0	1.470,4	0
1.01	0,228	13,1	1.600,0	400,0	142,2	569,0	355,6
1.02	0,227	13,6	156,0	125,0	1.456,9	1.818,2	1.637,5
1.03	0,227	13,2	1.540,0	105,0	147,4	2.161,5	1.154,4
1.04	0,225	13,3	266,0	134,7	846,0	1.670,7	1.258,4
1.05	0,224	13,0	82,2	121,0	2.726,2	1.852,0	2.289,1
1.06	0,222	12,9	105,0	230,0	2.119,0	967,4	1.543,2
1.07	0,221	13,4	170,0	171,0	1.299,5	1.291,9	1.295,7
1.08	0,218	14,3	1.054,0	82,0	206,9	2.659,1	1.433,0
1.09	0,218	14,8	670,0	112,0	325,0	1.944,0	1.134,5
1.10	0,215	14,9	283,0	103,1	759,2	2.084,0	1.421,6
1.11	0,213	14,4	163,0	275,0	1.306,4	774,4	1.040,4
1.12	0,212	13,8	109,0	91,5	1.947,8	2.320,4	2.134,1
1.13	0,213	14,1	82,5	107,4	2.577,3	1.979,8	2.278,6
1.14	0,213	13,5	137,4	144,3	1.547,5	1.473,5	1.510,5
1.15	0,213	14,1	103,4	197,8	2.056,4	1.075,0	1.565,7
1.16	0,211	15,4	114,3	114,7	1.846,4	1.839,9	1.843,1
1.17	0,210	15,8	212,0	180,8	992,5	1.163,7	1.078,1
1.18	0,209	15,3	111,2	170,0	1.877,8	1.228,3	1.553,1
1.19	0,208	14,1	118,0	155,0	1.758,8	1.339,0	1.548,9
1.20	0,207	15,0	83,3	88,0	2.483,8	2.351,2	2.417,5
1.21	0,207	14,6	80,5	145,4	2.574,2	1.425,2	1.999,7
1.22	0,205	14,8	277,8	133,4	736,8	1.534,3	1.135,5
1.23	0,204	14,2	212,1	102,4	960,5	1.989,4	1.475,0
1.24	0,203	14,2	105,6	161,7	1.923,1	1.255,9	1.589,5

Nota:

Pontos com velocidades indicativas de boas condições para reuso.

Tabela 10 - Exemplo (Poste 10) de tabela obtida para avaliação das seções dos postes. Valores de diâmetro, umidade, tempo de propagação das ondas (T1 e T2), respectivas velocidades (V1 e V2) e velocidade radial média no poste 10.

Pontos de medição	Diâmetro (m)	Umidade média (%)	Tempo de propagação da onda ( $\mu\text{s}$ )		Velocidades ( $\text{m.s}^{-1}$ )		
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>média</sub>
1.00	0,237	11,5	401,0	480,0	591,4	494,0	542,7
1.01	0,232	12,1	425,0	410,0	546,7	566,7	556,7
1.02	0,229	11,6	394,0	345,0	581,7	664,3	623,0
1.03	0,232	12,3	330,0	361,0	702,2	641,9	672,1
1.04	0,228	11,5	355,0	320,0	642,0	712,2	677,1
1.05	0,226	11,1	190,0	310,0	1.187,8	728,0	957,9
1.06	0,225	10,0	282,0	383,0	796,9	586,8	691,8
1.07	0,225	11,2	221,0	347,0	1.016,9	647,6	832,2
1.08	0,230	14,5	340,0	415,0	675,9	553,8	614,9
1.09	0,225	18,6	195,0	329,0	1.152,4	683,1	917,8
1.10	0,221	12,5	245,0	265,0	903,0	834,8	868,9
1.11	0,218	11,8	193,0	327,0	1.131,4	667,8	899,6
1.12	0,218	11,1	94,0	383,0	2.316,2	568,5	1.442,3
1.13	0,214	12,0	247,0	282,0	866,0	758,5	812,3
1.14	0,215	12,2	230,0	243,0	935,6	885,5	910,5
1.15	0,212	12,0	295,0	189,0	717,5	1.120,0	918,8
1.16	0,209	12,5	167,0	187,0	1.250,4	1.116,6	1.183,5
1.17	0,208	12,5	110,0	143,0	1.889,6	1.453,5	1.671,6
1.18	0,207	11,9	197,0	135,0	1.051,9	1.535,0	1.293,4
1.19	0,209	11,9	113,0	84,7	1.853,5	2.472,8	2.163,2
1.20	0,205	11,9	102,0	89,5	2.012,8	2.294,0	2.153,4
1.21	0,203	11,5	93,6	91,6	2.166,3	2.213,6	2.189,9
1.22	0,201	11,5	103,5	110,3	1.943,7	1.823,9	1.883,8
1.23	0,200	11,7	106,3	89,0	1.883,5	2.249,6	2.066,6
1.24	0,199	12,0	104,0	168,0	1.912,9	1.184,2	1.548,6
1.25	0,203	12,1	96,5	109,7	2.107,8	1.854,1	1.981,0
1.26	0,200	12,0	96,1	85,6	2.080,1	2.335,3	2.207,7
1.27	0,203	11,2	88,0	89,3	2.304,1	2.270,6	2.287,4

Nota:

Pontos com velocidades indicativas de boas condições para reúso.

Tabela 11 - Exemplo (Poste 11) de tabela obtida para avaliação das seções dos postes. Valores de diâmetro, umidade, tempo de propagação das ondas (T1 e T2), respectivas velocidades (V1 e V2) e velocidade radial média no poste 11.

Pontos de medição	Diâmetro (m)	Umidade média (%)	Tempo de propagação da onda ( $\mu\text{s}$ )		Velocidades ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )		
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>média</sub>
1.00	0,201	12,3	100,0	144,0	2.011,7	1.397,0	1.704,4
1.01	0,201	12,4	244,0	105,0	824,5	1.915,9	1.370,2
1.02	0,202	13,3	144,0	104,0	1.403,7	1.943,5	1.673,6
1.03	0,205	13,4	190,0	156,0	1.078,9	1.314,0	1.196,5
1.04	0,202	14,1	95,0	133,0	2.127,7	1.519,8	1.823,7
1.05	0,221	13,7	96,6	146,0	2.290,1	1.515,2	1.902,7
1.06	0,201	13,6	173,0	120,0	1.159,2	1.671,1	1.415,1
1.07	0,200	13,5	246,0	571,0	811,3	349,5	580,4
1.08	0,195	13,1	88,9	231,0	2.198,5	846,1	1.522,3
1.09	0,193	14,2	265,0	94,0	726,7	2.048,7	1.387,7
1.10	0,196	14,0	266,0	110,0	735,9	1.779,6	1.257,8
1.11	0,196	13,8	144,0	134,9	1.359,4	1.451,2	1.405,3
1.12	0,190	14,7	148,0	103,0	1.284,0	1.845,0	1.564,5
1.13	0,188	14,0	123,0	102,0	1.526,9	1.841,2	1.684,0
1.14	0,191	14,3	125,0	84,0	1.527,9	2.273,6	1.900,8
1.15	0,190	13,9	90,5	82,7	2.096,3	2.294,0	2.195,1
1.16	0,187	14,4	97,0	110,0	1.932,8	1.704,4	1.818,6
1.17	0,187	13,8	82,7	165,0	2.259,3	1.132,4	1.695,9
1.18	0,184	13,7	78,2	82,8	2.356,8	2.225,9	2.291,3
1.19	0,186	14,1	99,1	109,0	1.872,6	1.702,5	1.787,6
1.20	0,185	13,6	113,0	151,0	1.639,4	1.226,9	1.433,2

Nota:

Pontos com velocidades indicativas de boas condições para reúso.

Tabela 12 - Exemplo (Poste 12) de tabela obtida para avaliação das seções dos postes. Valores de diâmetro, umidade, tempo de propagação das ondas (T1 e T2), respectivas velocidades (V1 e V2) e velocidade radial média no poste 12.

Pontos de medição	Diâmetro (m)	Umidade média (%)	Tempo de propagação da onda ( $\mu\text{s}$ )		Velocidades ( $\text{m.s}^{-1}$ )		
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>média</sub>
1.00	0,227	23,6	357,0	335,0	634,8	676,5	655,7
1.01	0,226	20,8	800,0	800,0	282,5	282,5	282,5
1.02	0,227	14,5	1.942,0	779,0	116,7	290,9	203,8
1.03	0,226	15,7	0,0	2.000,0	0	113,0	0
1.04	0,224	15,5	1.153,0	685,0	194,1	326,7	260,4
1.05	0,221	15,3	1.005,0	0,0	219,8	0	0
1.06	0,219	15,1	695,0	675,0	315,1	324,4	319,8
1.07	0,218	15,8	711,0	666,0	306,2	326,9	316,6
1.08	0,216	14,3	775,0	693,0	279,3	312,3	295,8
1.09	0,216	15,1	838,0	714,0	257,9	302,7	280,3
1.10	0,215	15,1	0,0	878,0	0	244,7	0
1.11	0,214	15,3	0,0	667,0	0	321,2	0
1.12	0,215	13,7	721,0	0,0	297,6	0	0
1.13	0,215	14,3	0,0	1.100,0	0	195,3	0
1.14	0,214	13,2	1.700,0	602,0	126,0	355,9	240,9
1.15	0,213	13,0	0,0	1.096,0	0	194,6	0
1.16	0,211	13,0	0,0	582,0	0	362,6	0
1.17	0,208	13,7	1.100,0	744,0	189,0	279,4	234,2
1.18	0,207	14,4	1.300,0	388,0	158,9	532,4	345,7
1.19	0,207	13,0	1.030,0	367,0	200,9	563,8	382,3
1.20	0,210	14,5	314,0	289,0	670,1	728,0	699,1
1.21	0,207	14,9	439,0	478,0	470,6	432,2	451,4
1.22	0,204	15,2	454,0	457,0	448,7	445,8	447,2
1.23	0,202	15,5	352,0	315,0	573,3	640,7	607,0
1.24	0,202	13,2	335,0	299,0	603,4	676,0	639,7
1.25	0,201	13,9	286,0	244,0	702,3	823,2	762,7
1.26	0,200	14,8	203,0	207,0	984,7	965,7	975,2
1.27	0,201	14,5	260,0	225,0	771,3	891,3	831,3
1.28	0,199	13,7	333,0	205,0	597,4	970,5	783,9
1.29	0,199	14,0	226,0	203,0	880,3	980,0	930,1
1.30	0,196	13,4	280,0	329,0	699,1	595,0	647,1

Nota:

Pontos com velocidades indicativas de boas condições para reúso.

Tabela 13 - Exemplo (Poste 13) de tabela obtida para avaliação das seções dos postes. Valores de diâmetro, umidade, tempo de propagação das ondas (T1 e T2), respectivas velocidades (V1 e V2) e velocidade radial média no poste 13.

Pontos de medição	Diâmetro (m)	Umidade média (%)	Tempo de propagação da onda ( $\mu\text{s}$ )		Velocidades ( $\text{m.s}^{-1}$ )		
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>média</sub>
1.00	0,274	9,8	400,0	475,0	684,4	576,3	630,3
1.01	0,271	9,7	501,0	558,0	540,0	484,9	512,5
1.02	0,269	10,6	560,0	439,0	480,9	613,4	547,1
1.03	0,270	11,1	377,0	510,0	716,0	529,3	622,6
1.04	0,263	11,1	427,0	515,0	615,0	509,9	562,5
1.05	0,262	11,3	569,0	510,0	460,4	513,7	487,0
1.06	0,261	10,6	473,0	450,0	551,8	580,0	565,9
1.07	0,258	11,1	491,0	478,0	526,4	540,7	533,6
1.08	0,258	11,7	365,0	404,0	706,4	638,2	672,3
1.09	0,255	11,4	322,0	361,0	791,8	706,3	749,0
1.10	0,254	11,9	466,0	405,0	545,1	627,2	586,1
1.11	0,252	12,0	149,5	419,0	1.688,4	602,4	1.145,4
1.12	0,254	11,3	228,0	532,0	1.114,1	477,5	795,8
1.13	0,251	11,7	286,0	458,0	875,9	547,0	711,4
1.14	0,253	12,2	182,0	568,0	1.390,4	445,5	918,0
1.15	0,250	11,1	242,0	433,0	1.032,5	577,1	804,8
1.16	0,249	11,5	165,0	503,0	1.510,5	495,5	1.003,0
1.17	0,250	11,6	235,0	413,0	1.061,9	604,2	833,1
1.18	0,244	11,8	217,0	411,0	1.125,1	594,0	859,6
1.19	0,245	11,5	173,0	500,0	1.416,8	490,2	953,5
1.20	0,250	11,8	152,5	400,0	1.638,5	624,7	1.131,6
1.21	0,248	12,3	142,0	474,0	1.748,5	523,8	1.136,1
1.22	0,246	12,7	157,0	454,0	1.565,2	541,3	1.053,2
1.23	0,251	12,4	230,0	306,0	1.089,2	818,7	953,9
1.24	0,244	13,5	378,0	241,0	645,9	1.013,0	829,5

Nota:

Pontos com velocidades indicativas de boas condições para reuso.

Tabela 14 - Exemplo (Poste 14) de tabela obtida para avaliação das seções dos postes. Valores de diâmetro, umidade, tempo de propagação das ondas (T1 e T2), respectivas velocidades (V1 e V2) e velocidade radial média no poste 14.

Pontos de medição	Diâmetro (m)	Umidade média (%)	Tempo de propagação da onda ( $\mu\text{s}$ )		Velocidades ( $\text{m.s}^{-1}$ )		
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>média</sub>
1.00	0,208	14,9	98,0	180,0	2.117,7	1.153,0	1.635,4
1.01	0,209	15,3	116,9	91,0	1.786,2	2.294,6	2.040,4
1.02	0,205	15,7	104,5	118,0	1.961,6	1.737,2	1.849,4
1.03	0,205	13,9	118,0	125,0	1.737,2	1.639,9	1.688,6
1.04	0,201	12,6	104,5	112,0	1.919,0	1.790,5	1.854,7
1.05	0,201	13,2	141,0	101,7	1.422,2	1.971,8	1.697,0
1.06	0,200	13,6	97,8	105,5	2.044,0	1.894,8	1.969,4
1.07	0,200	14,1	135,8	100,0	1.469,7	1.995,8	1.732,7
1.08	0,201	13,9	130,0	100,1	1.547,5	2.009,7	1.778,6
1.09	0,200	13,9	89,2	160,0	2.244,6	1.251,4	1.748,0
1.10	0,200	13,4	115,0	157,0	1.735,5	1.271,2	1.503,3
1.11	0,196	13,9	144,5	140,5	1.359,2	1.397,8	1.378,5
1.12	0,196	14,4	124,0	114,0	1.578,7	1.717,2	1.648,0
1.13	0,194	14,3	104,0	111,0	1.870,1	1.752,1	1.811,1
1.14	0,195	13,7	105,0	176,5	1.855,3	1.103,7	1.479,5
1.15	0,196	13,0	148,0	119,0	1.322,7	1.645,0	1.483,9
1.16	0,195	13,1	101,5	98,0	1.919,3	1.987,8	1.953,5
1.17	0,191	13,5	90,0	107,0	2.122,1	1.784,9	1.953,5
1.18	0,191	14,2	85,5	150,0	2.233,8	1.273,2	1.753,5
1.19	0,189	13,2	136,0	118,5	1.392,6	1.598,3	1.495,4
1.20	0,191	13,6	133,0	145,0	1.438,4	1.319,3	1.378,9
1.21	0,189	13,3	197,5	143,5	957,3	1.317,6	1.137,5
1.22	0,186	12,6	129,5	113,0	1.435,5	1.645,1	1.540,3
1.23	0,185	12,5	102,0	92,0	1.810,0	2.006,7	1.908,4
1.24	0,185	13,6	97,0	160,0	1.909,9	1.157,9	1.533,9
1.25	0,187	13,4	106,0	231,0	1.762,7	808,9	1.285,8
1.26	0,186	12,8	89,5	95,0	2.080,6	1.960,1	2.020,3
1.27	0,186	13,2	97,5	110,0	1.903,3	1.687,0	1.795,2
1.28	0,183	13,5	115,0	84,5	1.591,5	2.166,0	1.878,8
1.29	0,183	13,1	134,0	109,0	1.363,5	1.676,2	1.519,9
1.30	0,181	12,0	87,5	91,0	2.073,6	1.993,8	2.033,7

Nota:



Pontos com velocidades indicativas de boas condições para reúso.

Tabela 15 - Exemplo (Poste 15) de tabela obtida para avaliação das seções dos postes. Valores de diâmetro, umidade, tempo de propagação das ondas (T1 e T2), respectivas velocidades (V1 e V2) e velocidade radial média no poste 15.

Pontos de medição	Diâmetro (m)	Umidade média (%)	Tempo de propagação da onda ( $\mu\text{s}$ )		Velocidades ( $\text{m.s}^{-1}$ )		
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>média</sub>
1.00	0,302	11,9	134,0	125,0	2.254,3	2.416,6	2.335,5
1.01	0,297	12,4	131,0	131,5	2.264,6	2.256,0	2.260,3
1.02	0,293	12,3	129,0	131,0	2.275,1	2.240,3	2.257,7
1.03	0,293	11,5	147,0	129,0	1.992,1	2.270,1	2.131,1
1.04	0,293	11,9	124,0	133,5	2.361,7	2.193,6	2.277,6
1.05	0,290	12,6	125,0	145,0	2.319,8	1.999,9	2.159,9
1.06	0,288	13,2	121,5	122,0	2.368,3	2.358,6	2.363,5
1.07	0,286	13,0	151,0	121,0	1.897,2	2.367,6	2.132,4
1.08	0,286	12,7	133,5	123,0	2.143,5	2.326,5	2.235,0
1.09	0,284	13,2	137,5	123,0	2.067,3	2.311,0	2.189,1
1.10	0,282	11,7	126,5	122,0	2.229,4	2.311,7	2.270,5
1.11	0,285	11,8	124,5	126,0	2.285,7	2.258,5	2.272,1
1.12	0,283	12,8	151,5	121,7	1.867,8	2.325,2	2.096,5
1.13	0,286	13,2	135,5	120,5	2.114,2	2.377,4	2.245,8
1.14	0,284	12,5	128,5	126,0	2.207,1	2.250,9	2.229,0
1.15	0,284	13,1	133,0	508,0	2.137,2	559,5	1.348,4
1.16	0,281	12,9	163,0	353,0	1.722,4	795,3	1.258,9
1.17	0,280	12,8	210,0	254,0	1.333,9	1.102,8	1.218,3
1.18	0,282	13,4	183,0	328,0	1.539,4	858,9	1.199,1
1.19	0,281	12,8	123,0	126,0	2.287,7	2.233,2	2.260,5
1.20	0,278	13,1	130,0	240,0	2.140,0	1.159,2	1.649,6
1.21	0,277	12,9	137,0	293,0	2.023,7	946,2	1.485,0
1.22	0,275	13,5	122,0	139,0	2.254,3	1.978,6	2.116,4
1.23	0,273	13,4	115,0	156,0	2.377,6	1.752,7	2.065,2
1.24	0,271	14,2	114,5	259,0	2.368,6	1.047,1	1.707,8
1.25	0,271	13,1	145,5	124,0	1.861,7	2.184,5	2.023,1
1.26	0,274	12,6	114,5	283,5	2.390,8	965,6	1.678,2
1.27	0,271	12,7	120,0	217,0	2.254,7	1.246,8	1.750,8
1.28	0,267	13,2	112,5	118,0	2.376,7	2.265,9	2.321,3
1.29	0,265	13,4	113,5	153,5	2.338,9	1.729,4	2.034,2
1.30	0,266	12,8	209,0	267,0	1.273,2	996,7	1.134,9

Nota:



Pontos com velocidades indicativas de boas condições para reúso.

Tabela 16 - Exemplo (Poste 16) de tabela obtida para avaliação das seções dos postes. Valores de diâmetro, umidade, tempo de propagação das ondas (T1 e T2), respectivas velocidades (V1 e V2) e velocidade radial média no poste 16.

Pontos de medição	Diâmetro (m)	Umidade média (%)	Tempo de propagação da onda ( $\mu\text{s}$ )		Velocidades ( $\text{m.s}^{-1}$ )		
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>média</sub>
1.00	0,309	10,6	273,0	288,0	1.131,0	1.072,1	1.101,5
1.01	0,303	10,1	395,5	301,0	766,2	1.006,7	886,5
1.02	0,302	9,8	132,0	141,5	2.290,9	2.137,1	2.214,0
1.03	0,300	10,2	141,5	151,0	2.119,1	1.985,7	2.052,4
1.04	0,299	10,2	139,5	157,0	2.144,9	1.905,8	2.025,3
1.05	0,299	10,4	141,6	159,5	2.108,6	1.871,9	1.990,3
1.06	0,298	10,2	141,0	168,5	2.113,0	1.768,2	1.940,6
1.07	0,298	10,1	145,4	278,0	2.049,1	1.071,7	1.560,4
1.08	0,297	10,5	144,4	269,0	2.058,9	1.105,2	1.582,0
1.09	0,297	10,3	183,0	923,4	1.622,9	321,6	972,2
1.10	0,298	10,0	397,5	864,0	748,7	344,5	546,6
1.11	0,295	10,6	357,0	885,0	827,4	333,8	580,6
1.12	0,295	10,6	844,0	882,0	349,2	334,2	341,7
1.13	0,292	10,2	310,7	374,0	940,5	781,3	860,9
1.14	0,291	10,3	230,8	439,0	1.261,9	663,4	962,7
1.15	0,289	10,4	162,0	166,0	1.784,1	1.741,1	1.762,6
1.16	0,288	10,5	136,3	143,5	2.111,2	2.005,2	2.058,2
1.17	0,286	10,3	132,7	149,4	2.154,0	1.913,3	2.033,7
1.18	0,283	10,5	179,2	128,7	1.580,9	2.201,2	1.891,1
1.19	0,282	10,1	130,1	149,0	2.170,2	1.894,9	2.032,5
1.20	0,282	10,0	139,0	153,0	2.026,6	1.841,2	1.933,9
1.21	0,282	10,0	155,3	143,5	1.813,9	1.963,1	1.888,5
1.22	0,280	9,6	157,5	156,3	1.780,5	1.794,2	1.787,3
1.23	0,281	9,5	163,7	151,5	1.718,9	1.857,3	1.788,1
1.24	0,282	9,6	144,1	164,8	1.957,1	1.711,3	1.834,2
1.25	0,279	9,5	173,2	200,0	1.609,9	1.394,2	1.502,1
1.26	0,277	9,3	119,0	144,5	2.324,5	1.914,3	2.119,4
1.27	0,275	9,9	139,0	176,2	1.980,8	1.562,6	1.771,7
1.28	0,272	9,8	159,3	189,0	1.708,4	1.440,0	1.574,2
1.29	0,270	9,5	193,0	164,5	1.400,2	1.642,8	1.521,5

Nota:

Pontos com velocidades indicativas de boas condições para reúso.

Tabela 17 - Exemplo (Poste 17) de tabela obtida para avaliação das seções dos postes. Valores de diâmetro, umidade, tempo de propagação das ondas (T1 e T2), respectivas velocidades (V1 e V2) e velocidade radial média no poste 17.

Pontos de medição	Diâmetro (m)	Umidade média (%)	Tempo de propagação da onda ( $\mu\text{s}$ )		Velocidades ( $\text{m.s}^{-1}$ )		
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>média</sub>
1.00	0,250	10,8	98,5	593,0	2.536,8	421,4	1.479,1
1.01	0,246	10,7	114,0	447,0	2.161,2	551,2	1.356,2
1.02	0,247	10,2	110,0	256,0	2.245,5	964,9	1.605,2
1.03	0,245	10,2	154,0	116,0	1.591,5	2.112,9	1.852,2
1.04	0,241	11,2	100,5	109,0	2.397,6	2.210,6	2.304,1
1.05	0,240	12,0	129,0	197,5	1.860,5	1.215,2	1.537,9
1.06	0,239	12,7	102,0	242,5	2.340,5	984,5	1.662,5
1.07	0,239	10,8	127,2	125,2	1.879,3	1.909,4	1.894,3
1.08	0,240	12,3	105,0	254,0	2.282,7	943,7	1.613,2
1.09	0,240	12,1	103,0	104,5	2.333,2	2.299,8	2.316,5
1.10	0,244	12,8	101,2	111,0	2.415,6	2.202,4	2.309,0
1.11	0,238	11,8	94,0	102,1	2.529,5	2.328,9	2.429,2
1.12	0,234	12,6	105,6	111,9	2.218,5	2.093,6	2.156,1
1.13	0,231	12,1	106,0	162,0	2.177,1	1.424,5	1.800,8
1.14	0,229	12,2	104,4	121,0	2.192,2	1.891,4	2.041,8
1.15	0,232	11,9	99,8	127,1	2.321,9	1.823,2	2.072,6
1.16	0,228	11,9	93,5	106,8	2.440,9	2.137,0	2.289,0
1.17	0,225	11,9	91,5	104,5	2.459,5	2.153,5	2.306,5
1.18	0,226	12,6	109,0	129,5	2.070,5	1.742,7	1.906,6
1.19	0,226	12,0	95,5	99,0	2.369,8	2.286,0	2.327,9
1.20	0,224	12,9	94,0	100,1	2.380,6	2.235,5	2.308,0
1.21	0,224	12,5	103,0	97,7	2.178,7	2.296,9	2.237,8
1.22	0,222	12,9	102,6	113,8	2.165,5	1.952,4	2.058,9
1.23	0,219	13,0	95,1	90,9	2.299,5	2.405,7	2.352,6
1.24	0,218	13,2	92,2	92,2	2.368,3	2.368,3	2.368,3
1.25	0,218	12,2	90,5	105,0	2.405,8	2.073,6	2.239,7
1.26	0,215	12,9	93,8	116,0	2.294,0	1.855,0	2.074,5
1.27	0,213	12,6	91,0	102,1	2.336,6	2.082,6	2.209,6

Nota:

 Pontos com velocidades indicativas de boas condições para reúso.

Tabela 18 - Exemplo (Poste 18) de tabela obtida para avaliação das seções dos postes. Valores de diâmetro, umidade, tempo de propagação das ondas (T1 e T2), respectivas velocidades (V1 e V2) e velocidade radial média no poste 18.

Pontos de medição	Diâmetro (m)	Umidade média (%)	Tempo de propagação da onda ( $\mu\text{s}$ )		Velocidades ( $\text{m.s}^{-1}$ )		
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>média</sub>
1.00	0,236	10,2	817,0	713,0	288,3	330,4	309,3
1.01	0,232	10,9	296,0	1.129,0	785,0	205,8	495,4
1.02	0,229	10,2	918,0	1.055,0	249,7	217,2	233,4
1.03	0,229	10,2	846,0	824,0	270,9	278,1	274,5
1.04	0,226	9,9	637,5	1.061,0	354,5	213,0	283,8
1.05	0,224	9,9	219,0	1.315,0	1.024,7	170,7	597,7
1.06	0,224	10,2	238,0	912,0	942,9	246,1	594,5
1.07	0,223	9,6	117,0	427,0	1.904,4	521,8	1.213,1
1.08	0,220	9,5	190,0	793,0	1.156,0	277,0	716,5
1.09	0,216	9,8	512,0	319,0	422,8	678,5	550,6
1.10	0,216	9,9	174,0	451,0	1.244,0	479,9	862,0
1.11	0,216	9,9	119,0	108,0	1.818,9	2.004,2	1.911,5
1.12	0,213	9,7	350,0	356,0	609,3	599,1	604,2
1.13	0,213	9,9	120,5	100,0	1.769,9	2.132,7	1.951,3
1.14	0,213	10,1	129,0	284,0	1.653,2	750,9	1.202,1
1.15	0,210	9,8	109,0	272,0	1.927,4	772,4	1.349,9
1.16	0,207	10,0	85,5	380,0	2.419,9	544,5	1.482,2
1.17	0,208	10,5	242,0	181,0	861,5	1.151,9	1.006,7
1.18	0,213	10,4	166,3	134,0	1.282,4	1.591,5	1.437,0
1.19	0,208	10,5	173,0	135,0	1.205,2	1.544,4	1.374,8
1.20	0,204	10,8	112,5	187,0	1.810,8	1.089,4	1.450,1
1.21	0,202	11,0	102,0	116,0	1.981,6	1.742,5	1.862,1
1.22	0,201	10,9	113,0	260,0	1.774,6	771,3	1.273,0
1.23	0,199	10,6	90,5	131,0	2.198,3	1.518,7	1.858,5
1.24	0,197	10,6	101,0	110,0	1.954,0	1.794,1	1.874,0
1.25	0,194	9,6	101,0	105,0	1.922,5	1.849,2	1.885,8
1.26	0,194	10,2	171,5	182,0	1.132,2	1.066,9	1.099,5
1.27	0,191	9,9	101,0	185,0	1.890,9	1.032,4	1.461,7
1.28	0,191	10,1	85,2	110,0	2.241,6	1.736,2	1.988,9

Nota:

Pontos com velocidades indicativas de boas condições para reúso.

## ANEXO 2

Tabela 1 - Valores de deslocamentos verticais nas extremidades 1 (Flecha 1) e 2 (Flecha 2) para o carregamento nominal (4000 N) e excepcional (5600 N) e valores de carga de ruptura das cruzetas (continua).

Cruzeta	Face ensaiada	Carga nominal (4000 N)		Carga excepcional (5600 N)		Carga de ruptura (N)
		Flecha 1 (mm)	Flecha 2 (mm)	Flecha 1 (mm)	Flecha 2 (mm)	
2.1	1	2,08	5,24	5,82	6,88	10.749
	2	5,64	3,52	6,94	8,30	
	3	2,28	5,82	5,66	6,40	
	4	5,72	3,38	6,42	7,94	
2.2	1	5,63	8,50	9,64	9,50	15.666
	2	5,56	6,70	8,41	9,19	
	3	5,46	6,15	8,00	8,62	
	4	6,21	6,61	7,45	9,18	
4.1	1	4,20	2,50	5,02	3,70	10.013
	2	3,64	3,08	5,46	5,06	
	3	5,40	1,44	6,66	3,42	
	4	4,54	3,60	5,82	5,50	
4.2	1	3,05	4,28	4,53	5,78	23.692
	2	3,55	5,20	5,86	6,00	
	3	2,73	6,55	5,12	7,74	
	4	4,25	5,04	6,90	6,62	
5.1	1	11,65	5,65	14,90	9,65	7.408
	2	9,14	8,09	13,00	10,10	
	3	9,48	9,87	14,55	13,65	
	4	10,32	8,80	13,10	13,05	
6.1	1	12,53	12,35	18,61	14,45	8.635
	2	11,08	14,59	17,24	17,89	
	3	11,75	9,61	17,65	14,49	
	4	14,60	8,40	19,00	13,15	
6.2	1	4,22	5,66	6,91	6,51	15.257
	2	5,04	4,42	6,46	5,94	
	3	6,50	6,43	8,81	8,81	
	4	6,38	6,42	8,88	8,79	
7.1	1	-	-	-	-	2.600
	2	-	-	-	-	
	3	-	-	-	-	
	4	-	-	-	-	
7.2	1	-	-	-	-	1.896
	2	-	-	-	-	
	3	-	-	-	-	
	4	-	-	-	-	

Nota:

-  Cruzetas aprovadas no critério de carga de ruptura mínima.
-  Cruzetas aprovadas no critério de flecha máxima.

Tabela 1 - Valores de deslocamentos verticais nas extremidades 1 (Flecha 1) e 2 (Flecha 2) para o carregamento nominal (4000 N) e excepcional (5600 N) e valores de carga de ruptura das cruzetas (continuação).

Cruzeta	Face ensaiada	Carga nominal (4000 N)		Carga excepcional (5600 N)		Carga de ruptura (N)
		Flecha 1 (mm)	Flecha 2 (mm)	Flecha 1 (mm)	Flecha 2 (mm)	
7.3	1	9,50	8,68	-	-	3.965
	2	-	-	-	-	
	3	-	-	-	-	
	4	-	-	-	-	
7.4	1	-	-	-	-	3.793
	2	-	-	-	-	
	3	-	-	-	-	
	4	-	-	-	-	
9.1	1	10,01	9,72	12,70	13,70	12.482
	2	10,13	10,78	14,84	16,05	
	3	10,48	8,40	13,19	13,73	
	4	10,63	11,10	14,64	15,97	
9.2	1	6,78	8,00	9,66	12,05	17.061
	2	8,43	12,12	11,27	14,42	
	3	6,73	9,13	9,87	11,74	
	4	9,37	6,80	10,84	11,27	
10.1	1	-	-	-	-	3.740
	2	-	-	-	-	
	3	-	-	-	-	
	4	-	-	-	-	
10.2	1	-	-	-	-	2.250
	2	-	-	-	-	
	3	-	-	-	-	
	4	-	-	-	-	
11.1	1	11,15	10,99	15,62	15,85	6.525
	2	11,49	12,67	16,53	19,24	
	3	10,75	12,17	15,30	17,77	
	4	11,14	11,56	16,73	18,27	
11.2	1	11,40	12,41	15,33	28,06	6.096
	2	15,25	12,51	25,80	31,26	
	3	10,50	14,00	16,05	29,86	
	4	15,15	16,05	23,90	22,78	
13.1	1	-	-	-	-	1.666
	2	-	-	-	-	
	3	-	-	-	-	
	4	-	-	-	-	
13.2	1	24,40	18,85	-	-	4.000
	2	-	-	-	-	
	3	-	-	-	-	
	4	-	-	-	-	

Nota:

- Cruzetas aprovadas no critério de carga de ruptura mínima.
- Cruzetas aprovadas no critério de flecha máxima.

Tabela 1 - Valores de deslocamentos verticais nas extremidades 1 (Flecha 1) e 2 (Flecha 2) para o carregamento nominal (4000 N) e excepcional (5600 N) e valores de carga de ruptura das cruzetas (continuação).

Cruzeta	Face ensaiada	Carga nominal (4000 N)		Carga excepcional (5600 N)		Carga de ruptura (N)
		Flecha 1 (mm)	Flecha 2 (mm)	Flecha 1 (mm)	Flecha 2 (mm)	
13.3	1	-	-	-	-	2.851
	2	-	-	-	-	
	3	-	-	-	-	
	4	-	-	-	-	
13.4	1	-	-	-	-	2.999
	2	-	-	-	-	
	3	-	-	-	-	
	4	-	-	-	-	
14.1	1	11,08	9,21	15,62	13,46	9.330
	2	14,04	11,27	18,70	16,39	
	3	12,85	8,91	17,01	12,95	
	4	15,98	10,55	20,95	15,38	
14.2	1	16,05	9,50	20,09	15,88	7.439
	2	14,39	11,30	19,65	17,19	
	3	14,98	11,23	19,91	16,06	
	4	14,55	11,89	20,10	17,71	
14.3	1	11,23	11,50	15,56	16,35	11.220
	2	9,76	7,35	13,50	10,52	
	3	13,18	10,22	17,36	15,82	
	4	5,89	10,27	9,73	12,55	
15.1	1	7,13	12,82	12,42	14,86	14.480
	2	11,28	10,04	12,96	14,20	
	3	9,43	10,73	13,49	15,61	
	4	8,80	11,91	8,51	15,19	
15.2	1	8,50	7,05	11,77	11,27	17.715
	2	8,66	8,28	12,75	12,43	
	3	7,58	7,95	11,21	10,89	
	4	9,73	9,07	10,21	11,55	
15.3	1	7,36	10,04	10,91	13,06	14.567
	2	8,41	11,67	12,14	15,56	
	3	7,51	9,59	9,47	12,50	
	4	9,28	10,64	13,02	13,20	
15.4	1	7,05	9,84	11,25	12,61	16.841
	2	8,56	8,54	12,74	11,47	
	3	8,00	9,29	11,65	8,02	
	4	7,30	9,87	10,65	12,21	
15.5	1	8,90	11,98	13,94	15,37	11.828
	2	9,86	9,81	13,49	14,11	
	3	10,47	9,96	15,82	14,10	
	4	8,41	9,53	13,48	13,28	

Nota:

- Cruzetas aprovadas no critério de carga de ruptura mínima.
- Cruzetas aprovadas no critério de flecha máxima.

Tabela 1 - Valores de deslocamentos verticais nas extremidades 1 (Flecha 1) e 2 (Flecha 2) para o carregamento nominal (4000 N) e excepcional (5600 N) e valores de carga de ruptura das cruzetas (continuação).

Cruzeta	Face ensaiada	Carga nominal (4000 N)		Carga excepcional (5600 N)		Carga de ruptura (N)
		Flecha 1 (mm)	Flecha 2 (mm)	Flecha 1 (mm)	Flecha 2 (mm)	
15.6	1	8,15	12,55	13,01	17,45	10.847
	2	8,14	11,63	12,70	15,35	
	3	7,71	15,78	12,65	19,54	
	4	10,9	9,89	14,71	13,17	
15.7	1	4,29	13,78	11,47	13,64	13.463
	2	8,89	11,83	12,55	16,59	
	3	8,74	9,96	12,26	13,55	
	4	8,15	11,94	13,92	15,26	
15.8	1	7,03	12,68	12,23	14,71	13.111
	2	10,65	10,39	15,23	15,80	
	3	9,99	9,49	13,54	14,28	
	4	9,57	12,32	13,91	16,51	
15.9	1	7,75	7,88	11,01	10,84	14.669
	2	5,17	16,59	10,60	13,14	
	3	7,24	8,46	10,79	11,61	
	4	7,39	10,35	10,86	12,26	
16.1	1	9,77	8,68	13,01	13,76	8.466
	2	7,91	8,21	11,32	11,26	
	3	11,99	8,16	13,75	14,81	
	4	7,83	8,46	11,66	10,94	
16.2	1	5,86	7,41	9,23	10,53	16.120
	2	6,24	8,16	9,47	11,23	
	3	7,47	8,88	10,01	10,16	
	4	7,02	8,29	9,56	11,17	
16.3	1	11,9	11,06	16,50	18,23	7.567
	2	10,72	20,62	14,45	18,46	
	3	15,75	13,25	21,31	29,27	
	4	13,80	10,02	18,20	15,55	
16.4	1	13,95	9,04	18,88	13,28	12.610
	2	12,91	7,30	16,32	11,83	
	3	16,65	8,93	21,15	12,20	
	4	9,70	8,21	13,36	11,81	
16.5	1	6,56	7,19	9,10	10,31	12.329
	2	6,36	12,80	12,78	14,02	
	3	4,60	6,02	7,53	9,00	
	4	8,68	8,84	13,02	12,93	
16.6	1	9,58	7,82	12,13	11,13	12.295
	2	6,97	10,85	11,38	13,56	
	3	8,01	8,56	11,25	12,02	
	4	7,57	9,88	10,96	13,12	

Nota:

-  Cruzetas aprovadas no critério de carga de ruptura mínima.
-  Cruzetas aprovadas no critério de flecha máxima.

Tabela 1 - Valores de deslocamentos verticais nas extremidades 1 (Flecha 1) e 2 (Flecha 2) para o carregamento nominal (4000 N) e excepcional (5600 N) e valores de carga de ruptura das cruzetas (termina).

Cruzeta	Face ensaiada	Carga nominal (4000 N)		Carga excepcional (5600 N)		Carga de ruptura (N)
		Flecha 1 (mm)	Flecha 2 (mm)	Flecha 1 (mm)	Flecha 2 (mm)	
16.7	1	6,31	7,87	9,20	10,76	13.331
	2	4,35	8,28	8,28	11,95	
	3	7,21	7,12	10,72	10,62	
	4	6,21	7,51	9,80	11,57	
17.1	1	3,00	8,61	7,55	11,10	16.718
	2	6,20	7,29	8,91	10,34	
	3	6,05	6,94	8,37	9,91	
	4	7,47	6,69	8,52	10,8	
17.2	1	8,99	3,89	10,97	6,92	16.115
	2	5,27	9,68	9,53	12,20	
	3	4,39	8,25	7,60	10,43	
	4	8,06	7,43	11,23	10,56	
18.1	1	8,78	8,95	12,74	13,61	12.682
	2	10,38	9,58	14,30	14,97	
	3	10,70	7,41	10,01	12,74	
	4	8,37	10,64	12,42	14,48	
18.2	1	9,89	9,37	13,66	13,86	11.690
	2	8,79	8,70	12,37	12,85	
	3	8,37	12,66	12,50	16,44	
	4	8,50	11,20	12,53	13,62	

Nota:

-  Cruzetas reprovadas no critério de carga de ruptura mínima.
-  Cruzetas reprovadas no critério de flecha máxima.

Tabela 2 - Valores de deslocamentos residuais nas extremidades 1 (Flecha residual 1) e 2 (Flecha residual 2) para o carregamento nominal (4000 N) e excepcional (5600 N).

Cruzeta	Face ensaiada	Carga nominal (4000 N)		Carga excepcional (5600 N)	
		Flecha residual 1 (mm)	Flecha residual 2 (mm)	Flecha residual 1 (mm)	Flecha residual 2 (mm)
2.1	1	1,36	0,78	2,82	0,78
	2	0,82	1,20	0,82	1,32
	3	0,56	0,00	1,14	0,60
	4	1,26	1,68	1,26	1,70
2.2	1	0,77	1,45	0,24	0,15
	2	0,76	0,31	0,00	0,24
	3	0,81	0,11	0,12	0,00
	4	1,07	0,00	0,15	0,00
4.1	1	0,18	0,00	0,24	0,06
	2	0,00	0,00	0,00	0,10
	3	1,48	0,00	3,10	1,84
	4	0,20	0,00	2,20	0,10
4.2	1	0,00	0,11	0,20	0,12
	2	0,49	0,37	0,00	0,00
	3	0,39	0,76	0,03	0,05
	4	0,36	0,19	0,32	0,05
5.1	1	1,70	0,00	0,60	0,51
	2	0,06	0,44	0,00	0,21
	3	0,17	0,10	0,20	0,27
	4	1,68	0,08	0,05	0,24
6.1	1	0,63	0,94	0,22	0,32
	2	1,70	2,29	0,89	0,45
	3	0,59	0,00	1,45	0,50
	4	0,39	0,36	0,37	0,23
6.2	1	0,05	0,00	0,05	0,00
	2	0,12	0,44	0,00	0,06
	3	0,00	0,16	0,75	0,13
	4	0,22	0,00	0,06	0,10
7.1	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	-	-	-	-
	4	-	-	-	-
7.2	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	-	-	-	-
	4	-	-	-	-
7.3	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	-	-	-	-
	4	-	-	-	-
7.4	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	-	-	-	-
	4	-	-	-	-
9.1	1	0,39	0,00	0,05	0,11
	2	0,00	0,47	0,06	0,25
	3	1,38	0,00	0,00	0,88
	4	0,35	0,11	0,17	0,20

Tabela 2 - Valores de deslocamentos residuais nas extremidades 1 (Flecha residual 1) e 2 (Flecha residual 2) para o carregamento nominal (4000 N) e excepcional (5600 N).

Cruzeta	Face ensaiada	Carga nominal (4000 N)		Carga excepcional (5600 N)	
		Flecha residual 1 (mm)	Flecha residual 2 (mm)	Flecha residual 1 (mm)	Flecha residual 2 (mm)
9.2	1	0,22	0,00	0,11	0,07
	2	0,44	0,00	0,26	0,00
	3	0,00	0,52	0,08	0,16
	4	1,75	0,00	0,21	0,18
10.1	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	-	-	-	-
	4	-	-	-	-
10.2	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	-	-	-	-
	4	-	-	-	-
11.1	1	0,62	0,00	0,90	0,33
	2	0,29	0,18	0,53	0,40
	3	0,69	0,10	0,35	0,42
	4	0,00	0,72	0,61	0,83
11.2	1	0,18	0,04	0,30	0,23
	2	0,20	0,13	2,07	1,97
	3	0,88	0,98	0,40	1,14
	4	2,12	0,74	1,75	1,25
13.1	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	-	-	-	-
	4	-	-	-	-
13.2	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	-	-	-	-
	4	-	-	-	-
13.3	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	-	-	-	-
	4	-	-	-	-
13.4	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	3	-	-	-	-
	4	-	-	-	-
14.1	1	0,39	0,29	1,09	1,04
	2	0,89	0,51	0,25	0,62
	3	0,62	0,27	0,48	0,08
	4	1,58	0,47	0,00	0,61
14.2	1	2,06	0,24	0,78	0,43
	2	0,85	0,26	1,53	0,51
	3	0,90	0,39	0,43	1,23
	4	0,78	0,38	0,54	1,56
14.3	1	0,35	0,00	0,15	0,10
	2	0,10	0,09	0,30	0,21
	3	1,75	0,40	1,00	0,05
	4	0,23	0,49	0,00	0,72

Tabela 2 - Valores de deslocamentos residuais nas extremidades 1 (Flecha residual 1) e 2 (Flecha residual 2) para o carregamento nominal (4000 N) e excepcional (5600 N).

Cruzeta	Face ensaiada	Carga nominal (4000 N)		Carga excepcional (5600 N)	
		Flecha residual 1 (mm)	Flecha residual 2 (mm)	Flecha residual 1 (mm)	Flecha residual 2 (mm)
15.1	1	0,00	1,37	1,77	0,00
	2	2,33	0,00	0,00	0,36
	3	0,04	0,37	0,08	0,62
	4	0,16	0,03	0,09	0,25
15.2	1	0,17	0,20	0,42	0,00
	2	0,60	0,00	0,01	0,37
	3	0,00	0,52	0,00	0,27
	4	0,30	0,08	0,06	0,12
15.3	1	0,00	0,58	0,00	0,38
	2	0,22	0,38	0,09	0,61
	3	1,34	0,00	0,02	0,00
	4	0,19	0,55	0,18	0,12
15.4	1	0,00	0,90	0,06	0,10
	2	0,52	0,57	0,18	0,28
	3	0,35	0,91	0,10	1,38
	4	0,00	0,82	0,00	0,21
15.5	1	0,00	0,72	0,35	0,00
	2	0,56	0,00	0,05	0,42
	3	0,46	0,43	0,36	0,35
	4	0,22	0,50	0,00	0,55
15.6	1	0,00	0,51	0,40	0,00
	2	0,00	0,85	0,04	0,03
	3	0,00	0,51	0,18	0,56
	4	0,68	0,07	0,19	0,30
15.7	1	0,00	2,30	0,61	0,26
	2	0,60	0,00	0,46	0,21
	3	0,23	0,48	0,24	0,07
	4	0,00	0,98	0,49	0,00
15.8	1	0,00	2,33	0,00	0,45
	2	0,37	0,00	0,17	0,25
	3	0,59	0,00	0,29	0,02
	4	0,08	0,55	0,01	0,62
15.9	1	0,00	0,00	0,19	0,41
	2	0,00	1,96	0,33	0,29
	3	0,00	0,40	0,31	0,57
	4	0,00	0,60	0,31	0,00
16.1	1	1,42	0,00	0,00	0,77
	2	0,00	0,25	0,10	0,17
	3	2,86	0,00	1,80	0,53
	4	0,00	0,80	0,23	0,23
16.2	1	0,00	0,53	0,04	0,11
	2	0,85	0,00	0,00	0,08
	3	0,51	0,00	2,52	0,16
	4	0,00	0,22	0,02	0,60
16.3	1	2,18	0,00	0,00	0,84
	2	0,62	1,84	1,65	1,91
	3	1,71	1,79	3,47	2,53
	4	1,53	0,61	1,20	1,80

Tabela 2 - Valores de deslocamentos residuais nas extremidades 1 (Flecha residual 1) e 2 (Flecha residual 2) para o carregamento nominal (4000 N) e excepcional (5600 N).

Cruzeta	Face ensaiada	Carga nominal (4000 N)		Carga excepcional (5600 N)	
		Flecha residual 1 (mm)	Flecha residual 2 (mm)	Flecha residual 1 (mm)	Flecha residual 2 (mm)
16.4	1	1,62	1,45	0,95	2,24
	2	2,44	0,82	1,33	1,20
	3	1,40	0,63	0,70	0,32
	4	0,57	0,46	0,00	0,92
16.5	1	0,13	0,28	1,16	0,40
	2	0,00	2,84	1,39	0,00
	3	0,00	0,26	0,44	0,00
	4	0,00	0,56	0,47	0,00
16.6	1	0,89	0,35	0,39	0,00
	2	0,00	1,63	0,69	0,84
	3	0,18	0,50	0,17	0,24
	4	0,02	0,74	0,00	0,28
16.7	1	0,00	0,32	0,14	0,47
	2	0,00	0,57	0,00	1,12
	3	1,62	0,50	0,00	1,03
	4	1,45	0,64	0,43	0,74
17.1	1	0,00	1,05	0,00	0,69
	2	0,44	0,27	0,11	0,45
	3	0,31	0,00	0,07	0,23
	4	1,69	0,00	0,11	0,45
17.2	1	0,88	0,00	0,27	0,00
	2	0,00	1,16	0,00	0,59
	3	0,00	0,81	0,33	0,03
	4	0,41	0,10	0,44	0,09
18.1	1	0,28	0,42	0,73	0,08
	2	0,58	0,00	0,09	0,42
	3	2,15	0,00	0,00	1,05
	4	0,42	0,35	0,00	0,34
18.2	1	0,42	0,00	0,23	0,11
	2	0,39	0,00	0,17	0,00
	3	0,12	0,00	0,93	0,00
	4	0,11	0,44	0,42	0,00

## ANEXO 3

Tabela 1 – Cenário 1: Receita anual da produção de cruzetas de madeira (em reais).

<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Total (R\$)</b>
Valor da produção de cruzetas <sup>1 2</sup>	10.783	85,00	916.592,00
Valor venda cruzeta reprovada <sup>3 4</sup>	1.958	15,00	29.376,00
Valor venda atual postes (refere-se ao que a CPFL deixa de ganhar hoje) <sup>5</sup>	4.381	50,00	-219.051,00
<b>Receita anual total (R\$)</b>			<b>726.917,00</b>

Observações:

Cenário 1: Fábrica própria e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

<sup>1</sup> Considerando a reposição de cruzetas por ano igual a 71.890 e a demanda anual de cruzetas de madeira por ano de 10.783 (15% da reposição de cruzetas anual).

<sup>2</sup> Considerando valor de mercado da cruzeta de R\$ 85,00 (segundo orçamento de junho de 2016).

<sup>3</sup> Considerando a venda de 70% das cruzetas reprovadas.

<sup>4</sup> Considerando o valor de venda de cruzetas usadas praticado pela CPFL Serviços igual a R\$15,00 (orçamento de julho de 2016).

<sup>5</sup> Segundo valor de venda informado pela CPFL em julho de 2016.

Tabela 2 - Cenário 1: Despesas e custo total anual da fábrica de cruzetas (em reais).

Descrição	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custos mensais (R\$)	Custo anual (R\$)
<b>Mão-de-obra</b> <sup>1</sup>				
Encarregado	1	6.819,00	6.819,00	90.696,00
Assistente técnico (Ultrassom) <sup>2</sup>	3	4.056,00	12.168,00	161.834,00
Operadores	4	3.410,00	13.638,00	181.392,00
Ajudantes	3	2.273,00	6.819,00	90.696,00
<b>Outros</b>				
Energia <sup>3</sup>	13	427,00	5.534,00	66.404,00
Combustível (Gasolina, gás) <sup>4</sup>	-	-	1.000,00	12.000,00
Depreciação equipamentos (vida útil 10 anos)	-	-	-	49.130,00
Materiais diversos (óleo, graxa)	-	-	500,00	6.000,00
Serviço de ensaio de flexão	-	-	3.000,00	36.000,00
Serviço de contabilidade <sup>4</sup>	-	-	3.000,00	36.000,00
Impostos diversos <sup>4</sup>	-	-	-	58.412,00
Outros (Contingência) <sup>5</sup>	-	-	-	23.657,00
<b>Custo Total Anual (R\$)</b>			<b>812.221,00</b>	

Observações:

Cenário 1: Fábrica própria e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

<sup>1</sup> Estimativas de custo com base em piso salarial da categoria, conforme detalhado no Capítulo 4.7.3.

<sup>2</sup> Considerando a capacidade de inspeção dos postes por ultrassom de 12 postes por dia.

<sup>3</sup> Para cálculo dos custos com energia elétrica foi considerada a potência de 140 CV de consumo do maquinário (equivalente a 13 MWh por mês) e o valor de custo de energia médio, considerando tarifa média da indústria da região Sudeste de 427 R\$/MWh, conforme detalhado no Capítulo 4.7.3.

<sup>4</sup> Custos estimados com base em informações de serraria já existente (impostos estimados em 8% dos custos totais).

<sup>5</sup> Reserva correspondente a 3% dos custos totais destinado para despesas não programadas.

Tabela 3 - Cenário 1: Custos de investimento inicial para a implantação de uma fábrica de cruzetas (em reais).

<b>Equipamentos</b> <sup>1</sup>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Custo total (R\$)</b>
Ultrassom <sup>2</sup>	3	26.000,00	78.000,00
Balança	1	1.500,00	1.500,00
Medidor de umidade	1	500,00	500,00
Motosserra	1	2.300,00	2.300,00
Furadeira para motosserra	1	1.000,00	1.000,00
Conjunto serra-de-fita + transportadores, equipamentos de afiação e manutenção e destopadeira superior manual	1	288.000,00	288.000,00
Empilhadeira	1	120.000,00	120.000,00
<b>Outros</b>			
Barracão (300 m <sup>2</sup> ) <sup>3</sup>	1	300.000,00	300.000,00
Terreno (500 m <sup>2</sup> ) <sup>4</sup>	1	150.000,00	150.000,00
<b>Custo total de investimento inicial (R\$)</b>			<b>941.300,00</b>

Observações:

Cenário 1: Fábrica própria e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

<sup>1</sup> Considerando compra de equipamentos novos, com base em orçamentos recebidos em maio de 2016.

<sup>2</sup> Considerando a capacidade de inspeção dos postes por ultrassom de 12 postes por dia.

<sup>3</sup> Considerando estimativa de custo para construção de uma barracão de R\$1.000 por m<sup>2</sup>.

<sup>4</sup> Considerando estimativa de custo de compra de terreno em área industrial no interior do Estado de São Paulo.

Tabela 4 - Cenário 1: Resumo da análise da rentabilidade econômica.

Receita anual (R\$)	726.917,00
Custo de investimento inicial (R\$)	941.300,00
Custo anual (R\$)	812.221,00
<b>VPL</b> <sup>1</sup>	<b>-1.465.451,00</b>
<b>TIR</b>	<b>0</b>

Observações:

Cenário 1: Fábrica própria e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

<sup>1</sup> Considerando Taxa Mínima de Atratividade de 10%.

Tabela 5 - Cenário 2: Receita anual da produção de cruzetas de madeira (em reais).

Item	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Total (R\$)
Valor de compra cruzeta	10.783	85,00	916.592,00
Valor venda cruzeta reprovada	1.958	15,00	29.376,00
Valor venda atual postes (refere-se ao que a CPFL deixa de ganhar hoje)	4.381	50,00	-219.051,00
<b>Receita anual total (R\$)</b>			<b>726.917,00</b>

Observações:

Cenário 2: Terceirização e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

<sup>1</sup> Considerando a reposição de cruzetas por ano igual a 71.890 e a demanda anual de cruzetas de madeira por ano de 10.783 (15% da reposição de cruzetas anual).

<sup>2</sup> Considerando valor de mercado da cruzeta de R\$ 85,00 (segundo orçamento de junho de 2016).

<sup>3</sup> Considerando a venda de 70% das cruzetas reprovadas.

<sup>4</sup> Considerando o valor de venda de cruzetas usadas praticado pela CPFL Serviços igual a R\$15,00 (orçamento de julho de 2016).

<sup>5</sup> Segundo valor de venda informado pela CPFL em julho de 2016.

Tabela 6 - Cenário 2: Custos fixos e variáveis e custo total (em reais).

Descrição	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custos mensais (R\$)	Custo anual (R\$)
<b>Serviços contratados</b> <sup>1</sup>				
Terceirização de serviço de serraria	4381	100,00		438.102,00
Serviço de ensaio de flexão			3.000,00	36.000,00
<b>Mão de Obra</b> <sup>2</sup>				
Assistente técnico (Ultrassom) <sup>3</sup>	3	4.056,00	12.168,00	162.199,00
Ajudantes	1	2.273,00	2.273,00	30.300,00
<b>Outros</b>				
Depreciação equipamentos (vida útil 6 anos)				16.000,00
Outros (Contingência) <sup>4</sup>				20.478,00
<b>Custo Total Anual (R\$)</b>				<b>703.080,00</b>

Observações:

Cenário 2: Terceirização e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

<sup>1</sup> Estimativa de custo com base em três orçamentos de serrarias na região de Jundiá.

<sup>2</sup> Estimativas de custo com base em piso salarial da categoria, conforme detalhado no Capítulo 4.7.3.

<sup>3</sup> Considerando a capacidade de inspeção dos postes por ultrassom de 12 postes por dia.

<sup>4</sup> Reserva correspondente a 3% dos custos totais destinado para despesas não programadas.

Tabela 7 - Cenário 2: Custos de investimento inicial para a implantação de uma fábrica de cruzetas (em reais).

<b>Equipamentos</b> <sup>1</sup>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Total (R\$)</b>
Ultrassom <sup>2</sup>	3	26.000,00	78.000,00
Balança	1	1.500,00	1.500,00
Medidor de umidade	1	500,00	500,00
<b>Custo Total de investimento inicial (R\$)</b>			<b>80.000,00</b>

Observações:

Cenário 2: Terceirização e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

<sup>1</sup> Considerando compra de equipamentos novos, com base em orçamentos recebidos em maio de 2016.

<sup>2</sup> Considerando a capacidade de inspeção dos postes por ultrassom de 12 postes por dia.

Tabela 8 - Cenário 2: Resumo da análise da rentabilidade econômica.

Receita anual (R\$)	726.917,00
Custo de investimento inicial (R\$)	80.000,00
Custo anual (R\$)	703.080,00
<b>VPL</b> <sup>1</sup>	<b>10.365,00</b>
<b>TIR</b>	<b>15%</b>

Observações:

Cenário 2: Terceirização e demanda de 15% da demanda total de cruzetas.

<sup>1</sup> Considerando Taxa Mínima de Atratividade de 10%.

Tabela 9 - Cenário 3: Receita anual da produção de cruzetas de madeira (em reais).

<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Total (R\$)</b>
Valor da produção de cruzetas <sup>1 2</sup>	15.816	85,00	1.344.336,00
Valor venda cruzeta reprovada <sup>3 4</sup>	2.872	15,00	43.085,00
Valor venda atual postes (refere-se ao que a CPFL deixaria de ganhar em julho de 2016) <sup>5</sup>	6.425	50,00	-321.275,00
<b>Receita anual total (R\$)</b>			<b>1.066.146,00</b>

Observações:

Cenário 3: Fábrica própria e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

<sup>1</sup> Considerando a reposição de cruzetas por ano igual a 71.890 e a demanda anual de cruzetas de madeira por ano de 15.097 (22% da reposição de cruzetas anual).

<sup>2</sup> Considerando valor de mercado da cruzeta de R\$ 85,00 (segundo orçamento de junho de 2016).

<sup>3</sup> Considerando a venda de 70% das cruzetas reprovadas.

<sup>4</sup> Considerando o valor de venda de cruzetas usadas praticado pela CPFL Serviços igual a R\$15,00 (orçamento de julho de 2016).

<sup>5</sup> Segundo valor de venda informado pela CPFL em julho de 2016.

Tabela 10 - Cenário 3: Despesas e custo total anual da fábrica de cruzetas (em reais).

Descrição	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custos mensais (R\$)	Custo anual (R\$)
<b>Mão de obra</b> <sup>1</sup>				
Encarregado	1	6.819,00	6.819,00	90.696,00
Assistente técnico (Ultrassom) <sup>2</sup>	4	4.056,00	16.224,00	215.779,00
Operadores	4	3.410,00	13.638,00	181.392,00
Ajudantes	3	2.273,00	6.819,00	90.696,00
<b>Outros</b>				
Energia <sup>3</sup>	13	427,00	5.534,00	66.404,00
Combustível (Gasolina, gás) <sup>4</sup>			1.000,00	12.000,00
Depreciação equipamentos (vida útil 9 anos)				57.478,00
Materiais diversos (óleo, graxa)			500,00	6.000,00
Serviço de ensaio de flexão			3.000,00	36.000,00
Serviço de contabilidade <sup>4</sup>			3.000,00	36.000,00
Impostos diversos <sup>4</sup>				63.396,00
Outros (Contingência) <sup>5</sup>				25.675,00
<b>Custo Total Anual (R\$)</b>				<b>881.515,00</b>

Observações:

Cenário 3: Fábrica própria e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

<sup>1</sup> Estimativas de custo com base em piso salarial da categoria, conforme detalhado no Capítulo 4.7.3.

<sup>2</sup> Considerando a capacidade de inspeção dos postes por ultrassom de 12 postes por dia.

<sup>3</sup> Para cálculo dos custos com energia elétrica foi considerada a potência de 140 CV de consumo do maquinário (equivalente a 13 MWh por mês) e o valor de custo de energia médio, considerando tarifa média da indústria da região Sudeste de 427 R\$/MWh, conforme detalhado no Capítulo 4.7.3.

<sup>4</sup> Custos estimados com base em informações de serraria já existente (impostos estimados em 8% dos custos totais).

<sup>5</sup> Reserva correspondente a 3% dos custos totais destinado para despesas não programadas.

Tabela 11 - Cenário 3: Custos de investimento inicial para a implantação de uma fábrica de cruzetas (em reais).

<b>Equipamentos</b> <sup>1</sup>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Custo total (R\$)</b>
Ultrassom <sup>2</sup>	4	26.000,00	104.000,00
Balança	1	1.500,00	1.500,00
Medidor de umidade	1	500,00	500,00
Motosserra	1	2.300,00	2.300,00
Furadeira para motosserra	1	1.000,00	1.000,00
Conjunto serra-de-fita + transportadores, equipamentos de afiação e manutenção e destopadeira superior manual	1	288.000,00	288.000,00
Empilhadeira	1	120.000,00	120.000,00
<b>Outros</b>			
Barracão (300 m <sup>2</sup> ) <sup>3</sup>	1	300.000,00	300.000,00
Terreno (500 m <sup>2</sup> ) <sup>4</sup>	1	150.000,00	150.000,00
<b>Custo total de investimento inicial (R\$)</b>			<b>967.300,00</b>

Observações:

Cenário 3: Fábrica própria e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

<sup>1</sup> Considerando compra de equipamentos novos, com base em orçamentos recebidos em maio de 2016.

<sup>2</sup> Considerando a capacidade de inspeção dos postes por ultrassom de 12 postes por dia.

<sup>3</sup> Considerando estimativa de custo para construção de uma barracão de R\$1.000 por m<sup>2</sup>.

<sup>4</sup> Considerando estimativa de custo de compra de terreno em área industrial no interior do Estado de São Paulo.

Tabela 12 - Cenário 3: Resumo da análise da rentabilidade econômica.

Receita anual (R\$)	1.066.146,00
Custo de investimento inicial (R\$)	967.300,00
Custo anual (R\$)	881.515,00
<b>VPL</b> <sup>1</sup>	<b>95.992,00</b>
<b>TIR</b>	<b>12%</b>

Observações:

Cenário 3: Fábrica própria e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

<sup>1</sup> Considerando Taxa Mínima de Atratividade de 10%.

Tabela 13 - Cenário 4: Receita anual da produção de cruzetas de madeira (em reais).

Item	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Total (R\$)
Valor de compra cruzeta	15.816	85,00	1.344.336,00
Valor venda cruzeta reprovada	2.872	15,00	43.085,00
Valor venda atual postes (refere-se ao que a CPFL deixa de ganhar hoje)	6.425	50,00	-321.275,00
<b>Receita anual total (R\$)</b>			<b>1.066.146,00</b>

Observações:

Cenário 4: Terceirização e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

<sup>1</sup> Considerando a reposição de cruzetas por ano igual 71.890 e a demanda anual de cruzetas de madeira por ano de 15.097 (22 a% da reposição de cruzetas anual).

<sup>2</sup> Considerando valor de mercado da cruzeta de R\$ 85,00 (segundo orçamento de junho de 2016).

<sup>3</sup> Considerando a venda de 70% das cruzetas reprovadas.

<sup>4</sup> Considerando o valor de venda de cruzetas usadas praticado pela CPFL Serviços igual a R\$15,00 (orçamento de julho de 2016).

<sup>5</sup> Segundo valor de venda informado pela CPFL em julho de 2016.

Tabela 14 - Cenário 4: Custos fixos e variáveis e custo total (em reais).

Descrição	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custos mensais (R\$)	Custo anual (R\$)
<b>Serviços contratados <sup>1</sup></b>				
Terceirização de serviço de serraria	6425	100,00		642.549,00
Serviço de ensaio de flexão			3.000,00	36.000,00
<b>Mão de Obra <sup>2</sup></b>				
Assistente técnico (Ultrassom) <sup>3</sup>	4	4.056,00	16.224,00	216.266,00
Ajudantes	1	2.273,00	3.031,00	40.400,00
<b>Outros</b>				
Depreciação equipamentos (vida útil 3 anos)				35.333,00
Outros (Contingência) <sup>4</sup>				29.116,00
<b>Custo Total Anual (R\$)</b>				<b>999.665,00</b>

Observações:

Cenário 4: Terceirização e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

<sup>1</sup> Estimativa de custo com base em três orçamentos de serrarias na região de Jundiá.

<sup>2</sup> Estimativas de custo com base em piso salarial da categoria, conforme detalhado no Capítulo 4.7.3.

<sup>3</sup> Considerando a capacidade de inspeção dos postes por ultrassom de 12 postes por dia.

<sup>4</sup> Reserva correspondente a 3% dos custos totais destinado para despesas não programadas.

Tabela 15 - Cenário 4: Custos de investimento inicial para a implantação de uma fábrica de cruzetas (em reais).

<b>Equipamentos</b> <sup>1</sup>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo unitário (R\$)</b>	<b>Total (R\$)</b>
Ultrassom <sup>2</sup>	4	26.000,00	104.000,00
Balança	1	1.500,00	1.500,00
Medidor de umidade	1	500,00	500,00
<b>Custo Total de investimento inicial (R\$)</b>			<b>106.000,00</b>

Observações:

Cenário 4: Terceirização e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

<sup>1</sup> Considerando compra de equipamentos novos, com base em orçamentos recebidos em maio de 2016.

<sup>2</sup> Considerando a capacidade de inspeção dos postes por ultrassom de 12 postes por dia.

Tabela 16 - Cenário 4: Resumo da análise da rentabilidade econômica.

Receita anual (R\$)	1.066.146,00
Custo de investimento inicial (R\$)	106.000,00
Custo anual (R\$)	999.665,00
<b>VPL</b> <sup>1</sup>	<b>59.327,00</b>
<b>TIR</b>	<b>40%</b>

Observações:

Cenário 4: Terceirização e demanda de 22% da demanda total de cruzetas.

<sup>1</sup> Considerando Taxa Mínima de Atratividade de 10%.